

BAB II

DASAR TEORI

2.1. SINAR-X

Sinar-X ditemukan oleh Roentgen pada tahun 1895 ketika ia mempelajari nyala gas. Roentgen menggunakan suatu tabung sinar katoda, seperti tabung gambar pada pesawat televisi dengan beda potensial antara katoda dan anoda beberapa puluh kilovolt (Sutrisno, 1989).

Roentgen mendapatkan bahwa garam berium, nyala atau berfluoresensi bila didekatkan pada tabung sinar katoda tersebut, walaupun tabung tak mengeluarkan sinar tampak. Fluoresensi tetap terjadi walaupun tabung sinar katoda dibungkus dengan kardus hitam. Roentgen segera menyimpulkan bahwa penyebab fluoresensi ini berasal dari titik dimana berkas elektron yang dipercepat oleh medan listrik menumbuk dinding gelas tabung. Karena tak diketahui hakekatnya, sinar ini disebutnya sinar-X. Selanjutnya ditemukan pula bahwa sinar-X ini dapat menyebabkan penghitaman pada pelat fotografi, menetralkan elektroskop yang bermuatan, disamping menyebabkan fluoresensi pada berbagai bahan. Juga didapatkan bahwa sinar-X dapat menembus lapisan tebal terbuat dari bahan bernomor atom rendah, sedang bahan dengan nomor atom tinggi tak tembus sinar-X. Beberapa bulan setelah penemuan sinar-X, sifat ini digunakan oleh para ahli bedah dalam pemotretan (radiografi) sinar-X untuk tulang dalam badan.

Roentgen mengambil langkah pertama dalam menentukan hakekat sinar-X, yaitu dengan menunjukkan bahwa sinar-X ini bergerak pada garis lurus, dan tak bermuatan. Selanjutnya pada tahun 1899 Huga dan Wind mencoba eksperimen difraksi sinar-X dengan satu celah, dan menyimpulkan bahwa sinar-X merupakan suatu gelombang. Dari ukuran pola difraksi disimpulkan bahwa panjang gelombang sinar-X adalah sekitar 1 Å. Pada tahun 1906 Barkla membuktikan bahwa sinar-X adalah gelombang transversal, karena dapat dipolarisasikan dengan menghamburkannya pada berbagai bahan.

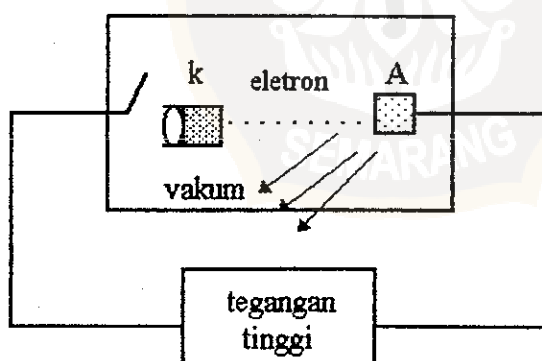
Pada zaman sekarang hakekat sinar-X sudah jelas diketahui orang. Sinar-X adalah gelombang elektromagnet seperti halnya cahaya tampak, hanya panjang gelombangnya sekitar 1 Å. Hal ini sudah diramalkan oleh Thomson, sebelum semua sifat sinar-X diketahui orang. Thomson menyatakan bahwa sinar-X haruslah berupa gelombang elektromagnet, sebab radiasi semacam ini harus terjadi karena elektron berenergi tinggi menumbuk dinding gelas, dan diperlambat. Menurut teori elektromagnet, gelombang elektromagnet haruslah dipancarkan. Akan kita lihat bahwa pandangan ini memang sebagian benar.

2.2 PEMBANGKITAN SINAR-X

Pada zaman sekarang sinar-X dihasilkan dengan tabung sinar-X. Elektron yang dipercepat dalam beda potensial beberapa puluh kilovolt ditumbukkan pada sasaran logam. Dari logam sasaran (anoda) keluarlah sinar-X.

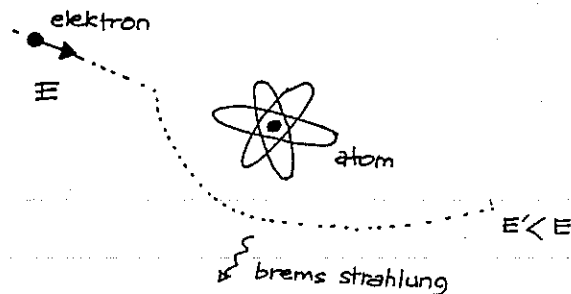
Berkas elektron dihasilkan oleh katoda yang dipanaskan dengan filamen, seperti halnya tabung radio. Tabung dibuat hampa udara. Bahan target adalah logam dengan temperatur lebih tinggi, dan bernomor atom tinggi. Bahan target biasanya menjadi panas (bertemperatur tinggi), sehingga harus didinginkan dengan minyak khusus. Target ini berlaku sebagai anoda yang berpotensi positif terhadap katoda. Disamping tabung sinar-X itu sendiri, juga diperlukan suatu sumber tegangan tinggi, untuk mempercepat berkas elektron. Ini biasanya dihasilkan oleh transformator tegangan tinggi. Tegangan ac dari transformator tegangan tinggi dibuat searah dengan dioda, dan dikatakan dengan kapasitor filter. Potensial yang digunakan adalah dari 10 kV samapai 100 kV.

Sinar-X dibangkitkan dalam tabung sinar-X. Lihat gambar 2-1. Elektron keluar dari katoda lalu dipercepat oleh sumber tegangan tinggi didalam vakum anod berupa logam ; setelah ditumbuk elektron mengeluarkan sinar-X. Dua hal terjadi didalam atom logam anod (Cu, Fe, atau Ni) itu.



Gb. 2.1 Gambar alat pembangkit sinar-X

Terjadinya radiasi yang dikenal sebagai 'bremstrahlung'. Elektron yang mendekati anod, berinteraksi dengan atom-atom bahan anod, tepatnya dengan elektron luar atom itu. Ia mengalami perlambatan, dan karenanya mengeluarkan radiasi.



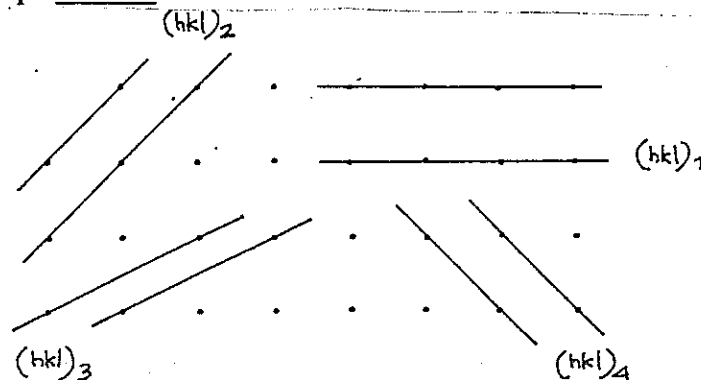
Gb. 2.2. Gambar tumbukan elektron dengan anoda

Menurut teori $e = m$: Setiap muatan yang mengalami percepatan atau perlambatan mengeluarkan radiasi. Radiasi ini beraneka ragam panjang gelombangnya, karena proses bremsstrahlung dapat dialami elektron berulang kali. Maka spektrum radiasi ini bersifat kontinyu.

2.3 RELASI BRAGG .

Dengan hukum $2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda$ ini kita dapat menentukan d_{hkl} , dengan mendapatkan sudut θ dari percobaan. Adapun penurunannya sebaga berikut :

Kristal terdiri atas pusat-pusat jhamburan yang duduk pada titik-titik kisi. Pusat hamburan ini berupa elektron.

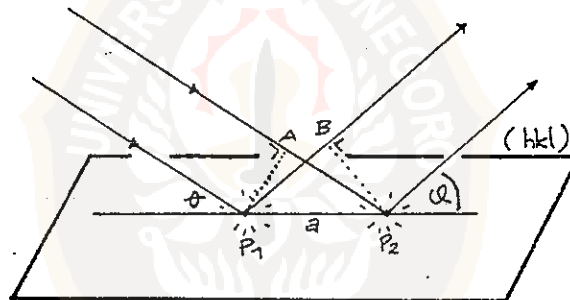


Gb. 2.3. Gambar kristal yang kita lihat sebagai bidang-bidang kristal

Dalam menurunkan hukum ini adalah menguntungkan apabila kristal tidak kita lihat sebagai kumpulan titik, melainkan sebagai bidang-bidang kristal.

Kita tentukan dahulu syarat interferensi maximum untuk 2 sinar hamburan berasal dari pusat hamburan yang sebidang (hkl). Interferensi maximum kalau beda jalan $AP_2 - P_1B = 0$ atau $n\lambda a(\cos \theta - \cos \varphi) = 0$, maka $\varphi = \theta$. Ini adalah hukum pantulan snellius.

Jadi semua sinar yang direflesi dalam arah $\varphi = \theta$ (sudut masuk) oleh pusat-pusat hamburan suatu bidang (hkl), saling memperkuat berarti sefasa.



Gb. 2.4. Gambar Interferensi sinar pada sebidang kristal

Berkat daya tembus sinar-X yang besar, perlu kita perhatikan pula sinar-sinar yang direfleksikan oleh bidang-bidang kristal yang letaknya lebih dalam.

Syarat bahwa sinar refleksi a dan b saling memperkuat :

beda jalan = $n\lambda$ atau $CB + BD = n\lambda$ atau

$$2 d_{hkl} \sin \theta = n\lambda$$

Bilangan bulat $n = 1, 2, 3, \dots$ menentukan ordo refleksi Bragg.

Artinya : Kalau n diambil 1, maka $\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{2 d_{hkl}}$ adalah sudut dimana bidang

(hkl) memberi intensitas maximum ordo ke 1. Kalau n diambil 2, maka $\sin \theta_2 = \frac{\lambda}{2 d_{hkl}}$

adalah sudut dimana bidang (hkl) tersebut memberi intensitas minimum ordo ke 2.

Namun demikian, demi kemudahan menghitung dan menginterpretasikan hasil percobaan, n selalu diambil 1 sebagai berikut :

$2 \frac{d_{hkl}}{n} \sin \theta = n\lambda$ atau $2 \frac{d_{hkl}}{n} \sin \theta = \lambda$, menjadi $2 d_{hkl} \sin \theta = \lambda$.

Ini boleh dan mengandung arti berikut :

Misalkan $n = 3$:

Refleksi ordo ke-3 bidang (hkl) adalah $2 d_{hkl} \sin \theta^o = 3 \lambda$. Tetapi refleksi ordo ke-1

bidang dengan jarak pisah $\frac{d_{hkl}}{3}$ adalah $2 \frac{d_{hkl}}{3} \sin \theta'_o = \lambda$. Jelas bahwa $\theta_o = \theta_o$.

Catatan : bidang yang jarak pisahnya d_{hkl} , berindek Miller (hkl). Tetapi bidang yang

jarak pisahnya $\frac{d_{hkl}}{3}$, berindek Miller (3h, 3k, 3l).

Dari uraian diatas dapat disimpulkan :

Refleksi ordo ke-n oleh bidang (hkl) = refleksi ordo ke-1 oleh bidang (h, nk, nl).

Berkat daya tembus sinar-X yang besar, hingga lapisan permukaan, lapisan-lapisan dibawahnya juga ikut berinterferensi, maka sinar-sinar demikian saling memadamkan.

Jadi yang saling memperkuat hanyalah yang memenuhi hukum Bragg dengan sudut yang

tepat $\theta = \theta_B$. Misalkan $\theta = \theta_B + 2^\circ$ dalam arah ini terdapat padam total.

$$\frac{180^\circ}{2^\circ} = 90$$

Sinar refleksi bidang ke 1 dan bidang ke 91 berlawanan fasa hingga saling memadamkan. demikian pula sinar dari bidang ke 2 dan ke 92, sinar bidang ke 3 dan bidang ke 93 dan seterusnya . dapat disimpulkan bahwa hanya dalam arah-arah $\theta = \theta_B$ tepat, didapatkan intensitas maximum. Selain dari itu padam.

2.4 DIFRAKSI SINAR-X

Mata manusia peka terhadap cahaya, yang berpanjang gelombang rata-rata $\lambda = 600\text{-nm}$. Panjang gelombang ini jauh lebih besar daripada jarak tetangga terdekat atau jarak pisah rata-rata $j \approx 2\text{\AA}$ didalam kristal yang ordenya $(1-10)\text{\AA}$ atau $(0,1-1)\text{nm}$ itu.

Maka mata tidak dapat meresolusikan (= melihat secara terpisah) kedua atom itu. Agar dua atom bertetangga dapat diresolusikan haruslah $\lambda \approx j$, berarti panjang gelombang yang digunakan harus dalam ordo atmosfer \AA , (Kittel. C, 1986).

Maka kalau $\lambda \gg j$ Terjadi peristiwa pantulan cermin objek tidak teresolusi (tidak terpisahkan jelas).

Kalau $\lambda \approx j$ terjadi peristiwa hamburan, objek teresolusi.

Jadi agar kita dapat 'melihat' susunan atom didalam kristal, haruslah kita menggunakan partikel yang panjang gelombang de Broglie-nya $\approx 1\text{\AA}$. Untuk mendapatkan partikel-partikel tersebut :

- (i) Dapat digunakan neutron, yang dibangkitkan dalam reaktor, (cabang ilmu pengetahuan yang mengkaji ini dikenal sebagai difraksi neutron). Untuk keperluan ini harus digunakan neutron dengan energi

$$\epsilon = \frac{1}{2} \frac{P_n^2}{m_n} = \frac{1}{2 m_n} \frac{h^2}{\lambda^2}$$

Untuk $\lambda = 1 \text{ \AA}$, diperoleh $\epsilon \simeq \frac{1}{2 \times (1,67 \times 10^{-27} \text{ kg})^2} \times \frac{(6,6 \times 10^{-34} \text{ js})^2}{(10^{-10} \text{ m})^2} \times \frac{1}{1,6 \times 10^{-19} \text{ c}}$

$$\simeq 0,08 \text{ eV.}$$

- (ii) Dapat digunakan elektron, seperti dalam mikroskop elektron. Energi elektron tersebut haruslah

$$\epsilon = \frac{1}{2 m_n} P_e^2 = \frac{1}{2 m_n} \frac{h^2}{\lambda^2} \text{ untuk } \lambda = 1 \text{ \AA}, \text{ diperoleh } \epsilon = 144 \text{ eV.}$$

- (iii) Apabila digunakan gelombang elektromagnetik (=foton), maka gelombang elektromagnetik dengan $\lambda \leq 1 \text{ \AA}$ adalah sinar-X.

$$\text{Energi foton sinar-X: } \epsilon = hv \geq \frac{hc}{\lambda = 1 \text{ \AA}} \geq 12,3 \text{ KeV.}$$

Maka untuk menyelidiki struktural kristal dengan penyinaran gelombang elektromagnetik, harus dipakai sinar-X berenergi puluhan KeV.

2.5. SPEKTRUM SINAR-X

Bila sinar-X yang keluar dari tabung sinar-X diselidiki dengan spektrometer sinar-X. Seperti telah dibahas di depan, sinar-X dipancarkan anoda logam yang dihujani elektron berenergi tinggi. Berkas elektron ini dikeluarkan oleh katoda yang dipanaskan, dan dipercepat oleh anoda yang mempunyai potensial beberapa puluh kilo volt diatas katoda. Berkas elektron ini menumbuk anoda. Sebagian besar elektron ini masuk ke dalam logam, bertumbukan dengan atom dalam bahan anoda, makin lama kehabisan energi. Sebagian besar energi ini menjadi energi dalam bahan anoda, sehingga anoda menjadi panas. Energi yang hilang ini sebagian juga menjadi radiasi elektromagnet, karena elektron terus diperlambat atau direm. Radiasi ini ada dalam daerah sinar-X dan disebut bremsstrahlung. Radiasi bremsstrahlung ini memberikan bagian sinambung pada spektrum sinar-X. Panjang gelombang terpendek λ_m , ditimbulkan oleh elektron yang menghabiskan seluruh energinya dalam bentuk radiasi sinar-X. Jelas bahwa energi foton untuk panjang gelombang ini dapat dihitung dari, (Beiser, 1963).

$$h\nu_m = \frac{hc}{\lambda_m} = E = eV \quad (2)$$

Dimana :

e = muatan elektron

V = potensial anoda terhadap katoda

h = tetapan Planck

c = laju cahaya

Spektrum garis K_{α} dan K_{β} dapat diterangkan sebagai berikut. Tingkat-tingkat energi untuk atom berat, bila elektron dipercepat dengan beda potensial diatas 20 kV, jika ada elektron dalam berkas ini menumbuk atom, elektron yang berada pada cangkang $n=1$ (cangkang K) akan terionisasi. Kekosongan cangkang K ini segera diisi oleh elektron dari cangkang diatasnya. Bila elektron dari cangkang L mengisi pada kekosongan pada cangkang K, terpecahlah radiasi sinar-X dengan energi foton $h\nu_{K_{\alpha}} = E_L - E_K$. Radiasi ini disebut radiasi karakteristik K_{α} . Bila yang mengisi kekosongan pada cangkang K adalah elektron pada cangkang M, radiasi karakteristik yang keluar disebut K_{β} .

Demikian juga bila yang terionisasi elektron pada cangkang L, radiasi karakteristik yang keluar disebut L_{α} , L_{β} dan seterusnya

Elektron yang mendekati atom didalam anod berinteraksi dengan elektron dalam (misalnya elektron kulit K) atom tersebut, berupa tumbukan tak kenyal sempurna, dengan akibat elektron -K terlepas dari kulitnya. Atom tertinggal dalam keadaan bereksitasi, yang tidak merupakan keadaan yang stabil.

Maka terjadilah (dalam waktu sekitar 10^{-8} detik) pengisian kekosongan itu oleh elektron dari kulit-kulit yang paling luar. Perpindahan elektron dari kulit luar ke kulit yang paling dalam disertai pancaran radiasi dengan panjang gelombang tertentu : radiasi diskret. Pancaran ini harus sesuai dengan kaidah.

Seleksi (untuk radiasi dipol listrik) :

$$\Delta n > 1$$

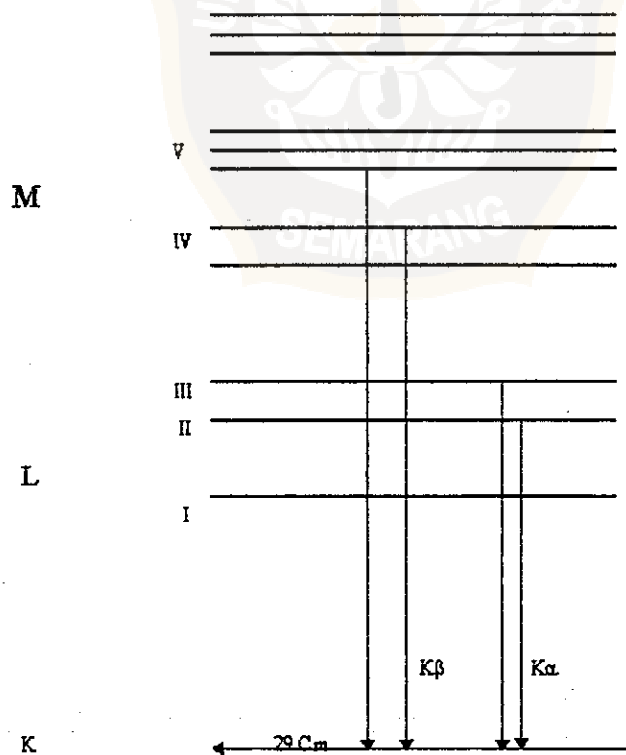
$$\Delta l = + 1$$

$$\Delta j = 0 \text{ atau } + 1$$

Sebagai ilustrasi, perhatikan skema tingkatan energi atom Cu sebagai bahan anod. Menurut aturan seleksi diatas dapat terjadi transisi dari tingkat $2p_{1/2} \rightarrow 1s_{1/2}$, dan dari tingkat $2p_{3/2} \rightarrow 1s_{1/2}$. Radiasi yang dikeluarkan disebut $K\alpha_1$ dan $K\alpha_2$ dengan panjang gelombang dihitung dari rumus :

$$\Delta \epsilon = \frac{hc}{\lambda}$$

$\lambda = 1,54 \text{ \AA}$. (radiasi $K\lambda$). Radiasi yang dihasilkan dari transaksi kulit M ke kulit K disebut K_β (ada $K_{\beta 1}$ dan $K_{\beta 2}$).



Gb. 2.5 Gambar Spektrum sinar-X

Kedua radiasi $K\alpha$ dan $K\beta$ inilah yang merupakan spektrum sinar-X bersifat bergaris. Intensitas radiasi bergantung pada kemungkinan transisi yang bersangkutan dapat terjadi makin besar kemungkinannya, makin besar intensitas. Sedangkan kemungkinan transisi ditentukan oleh besarnya 'loncatan' dalam satuan energi : makin besar perubahan energi pada transisi, makin kecil kemungkinannya karena itu :

$$I_{K\alpha} > I_{K\beta}.$$

Dalam difraksi sinar-X biasanya dipakai radiasi monokromatik yakni $K\alpha$. Radiasi monokromatik dapat diperoleh dengan menggunakan sistem penapis yang sesuai.

