

MATERI II

TINGKAT TENAGA DAN PITA TENAGA

A. Tujuan

1. Tujuan Umum

Mahasiswa memahami konsep tingkat tenaga dan pita tenaga untuk menerangkan perbedaan daya hantar listrik.

2. Tujuan Khusus

- a. Mahasiswa dapat menjelaskan model atom Bohr
- b. Mahasiswa dapat menghitung besarnya tingkat tenaga yang mungkin pada atom Bohr.
- c. Mahasiswa dapat menjelaskan rasionalisasi terjadinya pita tenaga pada zat padat.
- d. Mahasiswa dapat menerangkan sebab terjadinya perbedaan daya hantar jenis zat padat.

B. Materi

1. Pokok bahasan : Tingkat tenaga dan pita tenaga.

Sub Pokok Bahasan :

- a. Model atom Bohr
- b. Tingkat tenaga
- c. Pita tenaga

2. Uraian materi

a. Model Atom Bohr

Menurut Rutherford atom terdiri dari inti yang bermuatan positif yang mempunyai massa hampir sama dengan massa atom. Inti sebagai pusat dikelilingi oleh elektron-elektron yang bermuatan negatif yang mengorbit pada lintasan yang berbentuk lingkaran seperti halnya planet-planet mengitari matahari. Sebagai ilustrasi dipandang atom hidrogen. Atom ini terdiri dari inti satu proton yang bermuatan positif dan satu elektron yang bermuatan negatif. Karena muatan

proton sama dengan muatan elektron dan besarnya yang coulomb antara proton dan elektron sama dengan besarnya gaya sentrifugal gerakan mengorbit elektron, maka berlakulah persamaan :

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (\text{II.1})$$

ϵ_0 = permisivitas ruang hampa

r = orbit elektron

m = massa elektron

v = kecepatan tangensial elektron

Energi kinetik elektron adalah $\frac{1}{2} m \cdot v^2$ sedang energi potensialnya $-\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$ maka energi totalnya

$$E_n = \frac{1}{2} m \cdot v^2 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (\text{II.2})$$

Jika persamaan (1) disubstitusikan persamaan (2) maka diperoleh

$$E = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad (\text{II.3})$$

Tanda negatif menunjukkan bahwa referensi diambil $E = 0$ untuk $r = \infty$

Model atom ini ternyata tidak sesuai dengan hukum elektromagnetik klasik dan hasil percobaan. Menurut hukum ini jika elektron dipercepat maka akan memancarkan energi sehingga makin lama energinya makin kecil yang mengakibatkan jari-jari orbit makin mengecil sehingga elektron masuk dalam inti. Hal yang bertentangan dengan kenyataan. Demikian pula energi yang dipancarkan tersebut sebanding dengan frekuensi edar. Karena frekuensi edar bergantung pada jari-jari orbit, sedang jari-jari orbit mengecil secara kontinue, maka frekuensi yang dipancarkan akan mempunyai spektrum kontinue. Ini bertentangan dengan hasil percobaan yang mendapatkan spektrum garis (diskrit).

Adanya kelemahan model atom Rutherford ini mendorong Bohr untuk mengajukan tiga postulat dasar sebagai berikut :

- 1) Atom hanya dapat mempunyai tenaga-tenaga tertentu (diskrit). Pada keadaan tenaga yang tertentu tersebut elektron tidak memancarkan energi dan disebut dalam keadaan stationer (non radiating).
- 2) Jika Elektron berpindah dari keadaan stationer yang satu dengan tenaga E_2 yang lebih tinggi ke keadaan stationer dengan tenaga E_1 yang lebih rendah, maka akan dipancarkan tenaga dengan frekuensi :

$$f = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad h = \text{konstante planck}$$

- 3) Keadaan stationer terjadi jika momentum sudut Elektron merupakan kelipatan bulat dari $\frac{h}{2\pi}$

$$\text{Jadi } mvr = \frac{nh}{2\pi} \quad (\text{II.3})$$

Dari persamaan (II.1) dan (II.3) maka akan diperoleh

$$r = \frac{n^2 h^2 \Sigma_0}{\pi m a^2} \quad (\text{II.4})$$

Substitusi persamaan (II.4) ke dalam persamaan (II.3) akan diperoleh

$$E_n = -\frac{me^4}{8\Sigma_0^2 n^2 h^2} \quad (\text{II.5})$$

Dengan memasukkan harga-harga berikut :

$$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ JS}$$

$$\Sigma_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$$

$$L \text{ ev} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Pada persamaan (II.5) maka akan diperoleh :

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ ev} \quad (\text{II.6})$$

b. Tingkat tenaga

Dari persamaan (II.6) jika $n = 1, 2, 3, 4, 5$ maka berturut-turut :

$$E_1 = \frac{-13,6}{1} \text{ eV} = -13,60 \text{ eV}$$

$$E_2 = \frac{-13,6}{4} \text{ eV} = -3,41 \text{ eV}$$

$$E_3 = \frac{-13,6}{9} \text{ eV} = -1,53 \text{ eV}$$

$$E_4 = \frac{-13,6}{16} \text{ eV} = -0,87 \text{ eV}$$

$$E_5 = \frac{-13,6}{25} \text{ eV} = -0,56 \text{ eV}$$

$$E_{\infty} = \frac{-13,6}{\infty} \text{ eV} = 0 \text{ eV}$$

Jika untuk setiap bilangan kuantum n tersebut ditarik satu garis horizontal dan garis-garis dengan n yang berbeda tersebut disusun vertikal sesuai harga numerik tenaga yang bersesuaian, maka penyajian ini disebut diagram tingkat tenaga. Gambar II.1 menunjukkan diagram tingkat untuk atom hidrogen. Dalam gambar hanya ditunjukkan lima tingkat tenaga dan satu tingkat ionisasi ($n=\infty$). Sebenarnya secara teoritis untuk setiap atom banyaknya tingkatan ini ∞ , tetapi dalam gambar hanya ditunjukkan untuk enam harga n . Pada gambar sumbu x masih belum mempunyai arti sebab yang dipandang adalah atom gas yang terionisasi.

Dari postulat 2) tersebut terdapat selisih E_2-E_1 . karena muncul selisih maka tingkat tenaga yang paling rendah dipandang sebagai tingkat nol. Referensi demikian dapat dilihat pada gambar bagian paling kanan. Keadaan tenaga yang paling rendah ini disebut tingkat dasar (tingkat normal).

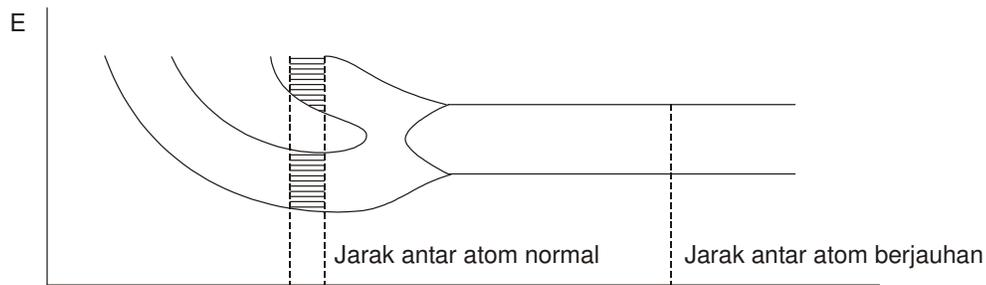
Gambar II-I Tingkat Tenaga Atom

Jika Elektron mendapat tambahan energi, misalnya dari tumbukan dengan Elektron yang dipercepat, maka Elektron bisa menduduki tingkat tenaga di atasnya. Jika ini terjadi maka dikatakan atom dalam keadaan eksitasi (kritis = resonansi). Keadaan eksitasi ini berlangsung selama $\sim 10^{-8}$ detik. Setelah itu akan kembali ke keadaan normalnya dengan memancarkan tenaga yang frekuensinya sesuai postulat 2) tersebut. Jika tenaga yang diperoleh cukup besar, minimal sama dengan tenaga untuk $n \sim$ maka dikatakan atom dalam keadaan terionisasi. Untuk atom H tenaga ini sebesar 13,6 eV.

c. Pita Tenaga

Berbeda dengan pada gas, atom-atom zat padat mempunyai jarak berdekatan satu sama lain sehingga atom-atom tidak dapat dipandang terisolasi. Untuk logam dan bahan semikonduktor atom-atom tersebut membentuk kristal. Kristal adalah susunan atom-atom molekul dalam ruang yang dibangun dengan mengadakan pengulangan struktur satuan dasar dalam tiga dimensi.

Karena jarak antar atom dalam zat padat berdekatan satu sama lain maka antara atom yang satu dengan yang lain terjadi interaksi. Akibatnya keadaan tingkat tenaga akan berbeda dengan keadaan tingkat tenaga atom terisolasi. Untuk atom-atom yang membentuk kristal ternyata tingkat tenaga dari elektron-elektron pada kulit dalam tidak berubah, tetapi tingkat tenaga Elektron pada kulit terluar berubah karena Elektron-Elektron tersebut menjadi milik bersama lebih dari satu atom dalam kristal. Tingkat tenaga Elektron pada kulit terluar tersebut berubah menjadi pita. Keadaan ini bisa diterangkan dengan mekanika gelombang yang tidak dibahas disini. Sebagai gambaran kualitatif diperlihatkan pada gambar II-2.



d. Jarak antar atom

Gambar II-2 Tingkat Tenaga dan Pita Tenaga pada Kristal.

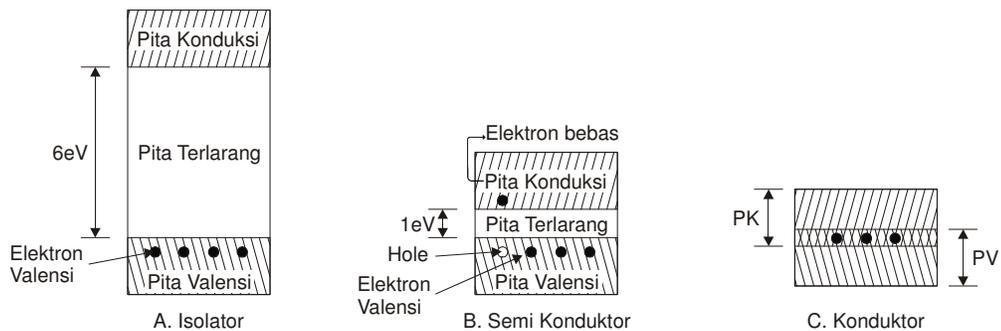
Jika seandainya kita bisa merubah jarak antar atom-atom, maka untuk jarak antar atom berjauhan (atom terisolasi) tingkat tenaga pada kulit terluar Berbentuk garis-garis. Artinya tingkat-tingkat tenaga atom yang satu dengan yang lian sama (berimpit). Tetapi jika jarak antar atom diperkecil, sistem elektron dalam kulit terluar dari atom-atom harus mengikuti azas Pauli yaitu tidak ada dua elektron atau lebih yang mempunyai keadaan (state) yang persis sama, sehingga tingkat-tingkat tenaga tidak berimpit tetapi tersusun pada jarak yang sangat kecil (selisih tenaga sangat kecil). Ini berarti terjadi pita tenaga seperti ditunjukkan pada gambar II-2. pada jarak normal antar atom dalam kristal, ternyata ada pemisahan pita tenaga sehingga terdapat tiga pita tenaga, masing-masing disebut pita valensi, pita terlarang, dan pita konduksi. Elektron yang mempunyai tenaga pada daerah pita valensi tetap terlihat pada inti, sedang elektron yang mempunyai tenaga pada daerah pita konduksi menjadi elektron bebas. Tidak ada elektron yang mempunyai tenaga pada daerah pita terlarang.

Dengan konsep pita tenaga ini maka dapat diterangkan mengapa suatu zat mempunyai perbedaan daya hantar listrik. Perbedaan daya hantar listrik disebabkan oleh perbedaan lebar pita terlarang (energy gap). Pada isolator lebar pita terlarang ini besar ≈ 6 eV sehingga sulit untuk terjadi elektron pada pita valensi pindah ke pita konduksi, walaupun diberi tenaga medan listrik luar. Karena tidak ada

elektron pada pita konduksi, maka tidak ada elektron bebas sehingga tidak bisa menghantarkan listrik.

Pada semi konduktor lebar pita terlarang kecil ≈ 1 eV, sehingga pada suhu rendah (0°K) tidak ada elektron pada pita konduksi, tetapi pada suhu kamar ada elektron yang bisa meloncat dari pita valensi ke pita konduksi menjadi elektron bebas. Dengan demikian bahan semi konduktor pada suhu rendah tidak bisa menghantarkan arus listrik, pada suhu tinggi dapat menghantarkan arus listrik.

Pada konduktor pita valensi dan pita konduksi bertumpang tindih, sehingga tidak terdapat pita terlarang. Dengan demikian elektron valensi mudah bergerak dalam pita konduksi, sehingga mudah menghantarkan arus listrik. Gambar II-3 berikut menunjukkan perbedaan pita terlarang ketiga bahan tersebut.



Gambar II-3 perbedaan pita terlarang isolator, semi konduktor dan konduktor

3. Sumber belajar

- a. Millman, J., Halkias. Integrated Electronics. Tokyo : Mc Grwa Hill Kagakusha, Ltd, 1979.
- b. Theraja, B.L., Basic Electronics. New Delhi : S. Chand & Company, Ltd, 1982.

C. Kegiatan Belajar Mengajar

1. Pendekatan/metode
 - a. Metode ceramah

Ceramah tentang Model Atom bohr, Tingkat Tenaga dan Pita Tenaga

b. Metode demonstrasi

Demonstrasi perbedaan daya hantar listrik bahan.

2. Alat/bahan

a. Alat-alat untuk demonstrasi

1. Multitester

2. Bahan isolator, komduktor, dan semi konduktor

b. OHP untuk penyampaian kuliah

3. Tugas terstruktur

Tugas mengerjakan soal-soal pada penelitian di bawah

D. Penilaian

1. Buktikan bahwa postulat 3) dari Bohr tersebut sesuai dengan teori gelombang.
2. Tentukan frekuensi radiasi dari suatu elektron atom Hidrogen yang tereksitasi jika elektron meloncat dari orbit $n = 3$ ke orbit $n = 2$.
3. Jelaskan mengapa diagram tingkat energi pada zat padat tidak berupa garis, tetapi berupa pita.
4. a. Apakah yang menyebabkan perbedaan daya hantar listrik bahan ?
Jelaskan.
b. Sebutkan masing-masing paling sedikit 4 ciri dari isolator semikonduktor dan konduktor.