

BAGIAN 1

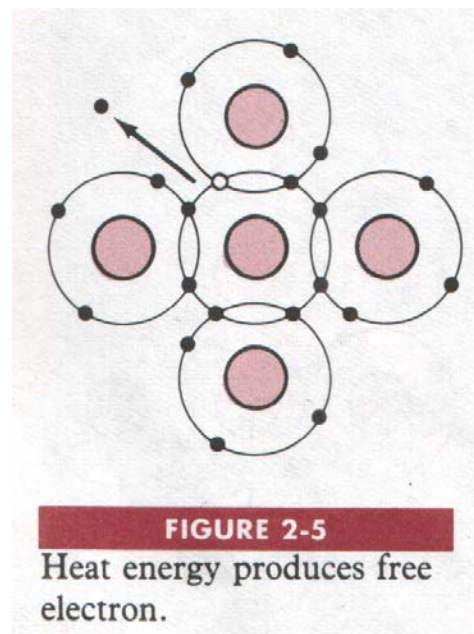
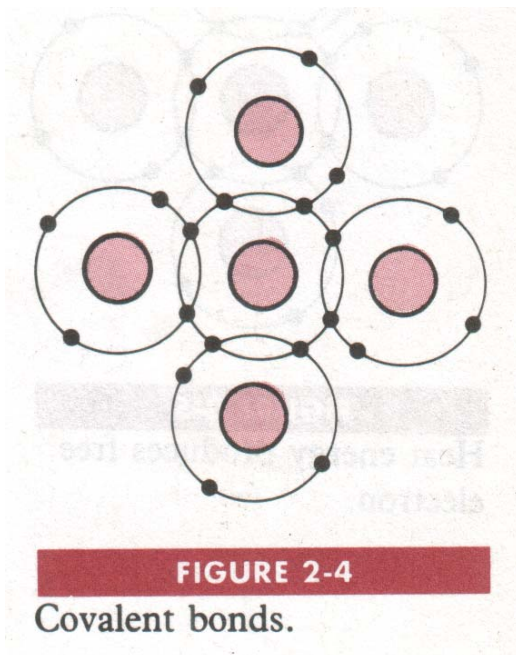
PITA ENERGI DALAM ZAT PADAT

1.1. Partikel bermuatan

- Muatan elektron : $-1,6 \times 10^{-19}$ C
- Massa elektron : $9,11 \times 10^{-31}$ kg
- Jumlah elektron dalam setiap Coulomb sekitar 6×10^{18} buah (resiprokal dari muatan elektron)

(Hitung jumlah elektron yang mengalir pada arus sebesar 1 pA !)

- Besar muatan ion positif merupakan kelipatan bulat dari muatan elektron, dengan tanda yang berlawanan.
- Massa atom dihitung berdasarkan perbandingan terhadap massa atom oksigen (bilangan massa 16). Satu satuan massa atom adalah 1/16 massa satu atom oksigen, yaitu $1,66 \times 10^{-27}$ kg.
- Radius elektron diperkirakan 10^{-15} m dan radius atom sekitar 10^{-10} m.
- Di dalam kristal semikonduktor seperti silikon terbentuk *ikatan kovalen*, yang menimbulkan proses pemakaian elektron bersama. Dalam keadaan tertentu, elektron yang digunakan bersama ini bisa hilang dan menimbulkan *hole* dalam ikatan. *Hole* ini akan bergerak dalam ikatan kovalen dan menimbulkan fenomena gerakan muatan positif.



1.2. Intensitas Medan, Potensial, Energi

- Definisi :

Gaya \mathbf{f} (newton) pada satu unit muatan positif yang berada dalam medan listrik merupakan intensitas medan listrik ε (volt per meter) di titik itu.

$$\mathbf{f} = q\varepsilon = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad (1.1)$$

(Perhatikan hubungan dengan hukum Newton-2)

- Definisi :

Potensial V (volt) pada titik B relatif terhadap titik A adalah usaha yang diperlukan untuk menggerakkan satu unit muatan positif dari A menuju B melawan medan.

Definisi di atas berlaku juga untuk medan tiga dimensi. Ekspresi untuk satu dimensi, dengan A pada x_0 dan B pada x :

$$V = - \int_{x_0}^x \varepsilon dx \quad (1.2)$$

Diferensiasi terhadap (1.2) akan menghasilkan :

$$\varepsilon = - \frac{dV}{dx} \quad (1.3)$$

Tanda minus menunjukkan bahwa medan listrik mengarah dari potensial tinggi ke potensial rendah.

- Definisi :

Energi potensial U (joule) adalah potensial dikalikan dengan muatan q yang sedang dipengaruhi potensial tersebut.

$$U = qV \quad (1.4)$$

- Hukum kekekalan energi :

Jumlah energi (W), yang merupakan jumlah dari energi kinetik dan energi potensial, bersifat konstan di setiap titik.

$$W = U + \frac{1}{2} mv^2 \quad (1.5)$$

Perhatikan ilustrasi berikut ini :
 (Ingat : $V_B = -V_d$ dan muatan elektron $q_e = -q$)

$$W = \frac{1}{2}mv_o^2 = \frac{1}{2}mv^2 + qV_d \quad (1-6)$$

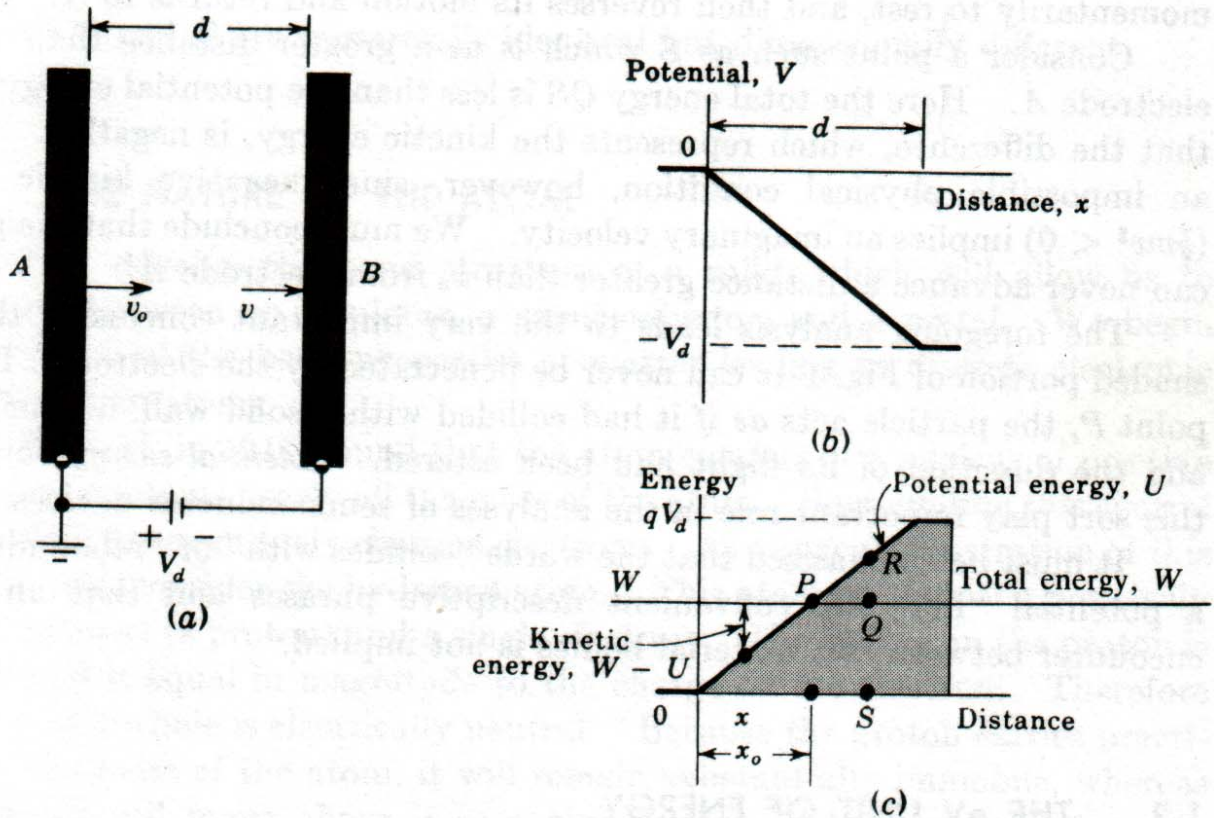


Fig. 1-1 (a) An electron leaves electrode A with an initial speed v_o and moves in a retarding field toward plate B; (b) the potential; (c) the potential-energy barrier between electrodes.

- Dari ilustrasi di atas, dapat digambarkan adanya *potential-energy barrier*, dimana suatu partikel tidak bisa berada pada suatu tempat karena dibatasi oleh energi potensial.

1.3. Satuan energi eV (elektron volt)

- Satuan Joule terlalu besar untuk digunakan dalam perhitungan energi elektron. Untuk itu digunakan satuan lain, yaitu : eV (elektron Volt).

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Joule}$$

1.4. Sifat Atom

Model Atom Rutherford (1911)

- Atom memiliki inti (nukleus) bermuatan positif, dimana hampir seluruh massa atom terpusat padanya.
- Elektron bergerak mengelilingi inti, sehingga terjadi keseimbangan antara gaya tarik elektrostatis dan gaya sentrifugal.

$$\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad (1-8)$$

Furthermore, the potential energy of the electron at a distance r from the nucleus is $-q^2/4\pi\epsilon_0 r$, and its kinetic energy is $\frac{1}{2}mv^2$. Then, according to the conservation of energy,

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (1-9)$$

where the energy is in joules. Combining this expression with (1-8) produces

$$W = -\frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad (1-10)$$

- Masalah pada model atom Rutherford :
Pada saat bergerak, elektron yang mengalami percepatan (sentrifugal) selalu memancarkan (radiasi) energi. Ini akan mengakibatkan berkurangnya energi elektron secara terus menerus, sehingga radius orbitnya akan semakin mengecil dan suatu waktu akan tertarik oleh inti, karena kehabisan energi.

Model atom Bohr (1913)

- Tiga postulat Bohr :

1. Tidak seluruh tingkat energi atom dapat ditempati elektron. Pada posisi orbit yang diizinkan, tidak terjadi radiasi energi dari elektron, dan elektron dikatakan berada dalam keadaan *stasioner*.
2. Jika elektron mengalami transisi dari satu kondisi stasioner ke kondisi stasioner lain, akan terjadi emisi radiasi, dengan frekuensi sbb. :

$$f = \frac{W_2 - W_1}{h} \quad (1.11)$$

h adalah konstanta Planck (joule-detik), W dalam joule, dan f dalam hertz (cycle per detik).

3. Kondisi stasioner didefinisikan sebagai momentum angular elektron yang besarnya merupakan kelipatan bulat dari $h/2\pi$.

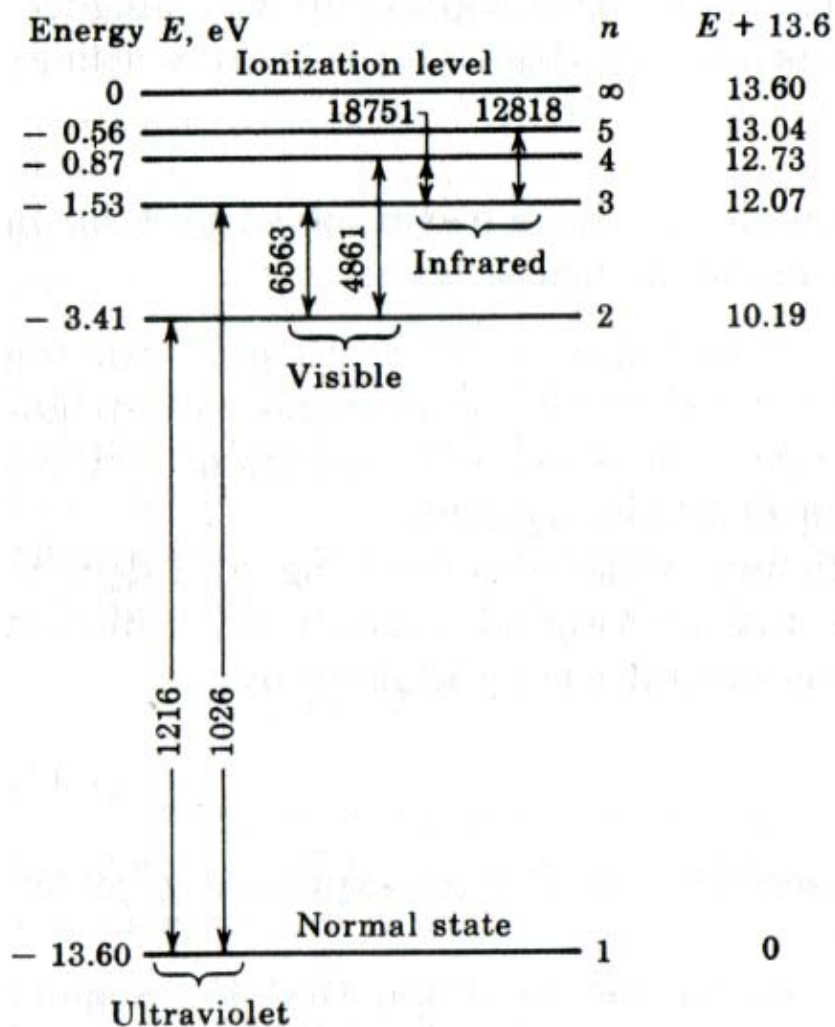
$$mvr = \frac{nh}{2\pi} \quad (1.12)$$

dengan n merupakan bilangan bulat

Tingkat energi di setiap kondisi stasioner dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$W_n = - \frac{mq^4}{8h^2\epsilon_0^2} \frac{1}{n^2} \quad (1.13)$$

Garis-garis pada gambar berikut ini menggambarkan tingkat energi pada atom



Transisi elektron antar tingkat energi akan menimbulkan emisi radiasi dengan panjang gelombang sbb. :

$$\lambda = \frac{12,400}{E_2 - E_1} \quad (1.14)$$

- Atom bisa mendapatkan tambahan energi jika ditembak dengan elektron. Akibat dari penembakan ini dapat berupa eksitasi elektron atau ionisasi atom (menghasilkan dua elektron dan satu ion positif)
- Atom bisa mendapatkan tambahan energi dari tembakan foton (partikel cahaya).
- Tembakan foton dengan energi yang besar, dapat menimbulkan efek *photoionization* (ionisasi foton).
- De Broglie menyatakan bahwa *dualisme gelombang-partikel* tidak hanya berlaku pada radiasi saja, namun juga pada elektron. Ia menyatakan bahwa partikel dengan momentum $p = mv$ akan memiliki panjang gelombang :

$$\lambda = h / p \quad (1.15)$$

Karena elektron beredar pada lingkaran, maka berlaku :

$$2\pi r = n\lambda = nh/mv \quad (1.16)$$

1.5. Struktur Elektron

Solusi persamaan Schrödinger memerlukan 4 bilangan kuantum

- Nomor kulit : $n = 1, 2, 3, \dots$
 Nomor subkulit : $l = 0, 1, 2, \dots (n - 1)$
 Magnetik : $m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \pm l$
 Spin : $m_s = \pm \frac{1}{2}$

Larangan Pauli :

Tidak ada dua elektron dalam orbit yang memiliki bilangan kuantum yang persis sama

TABLE 1-3 Electronic configuration in Group IVA

Element	Atomic number	Configuration
C	6	$1s^2 2s^2 2p^2$
Si	14	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
Ge	32	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$
Sn	50	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^2$

TABLE 1-2 Electron shells and subshells

Shell.....	K		L			M			N			
n	1		2			3			4			
l	0	0	1	0	1	2	0	1	2	3		
Subshell...	s	s	p	s	p	d	s	p	d	f		
m_l	0	0	$0, \pm 1$	0	$0, \pm 1$	$0, \pm 1, \pm 2$	0	$0, \pm 1$	$0, \pm 1, \pm 2$	$0, \dots, \pm 3$		
Number of electrons	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14		
	2	8		18			32					

1.6. Teori Pita-Energi pada Kristal

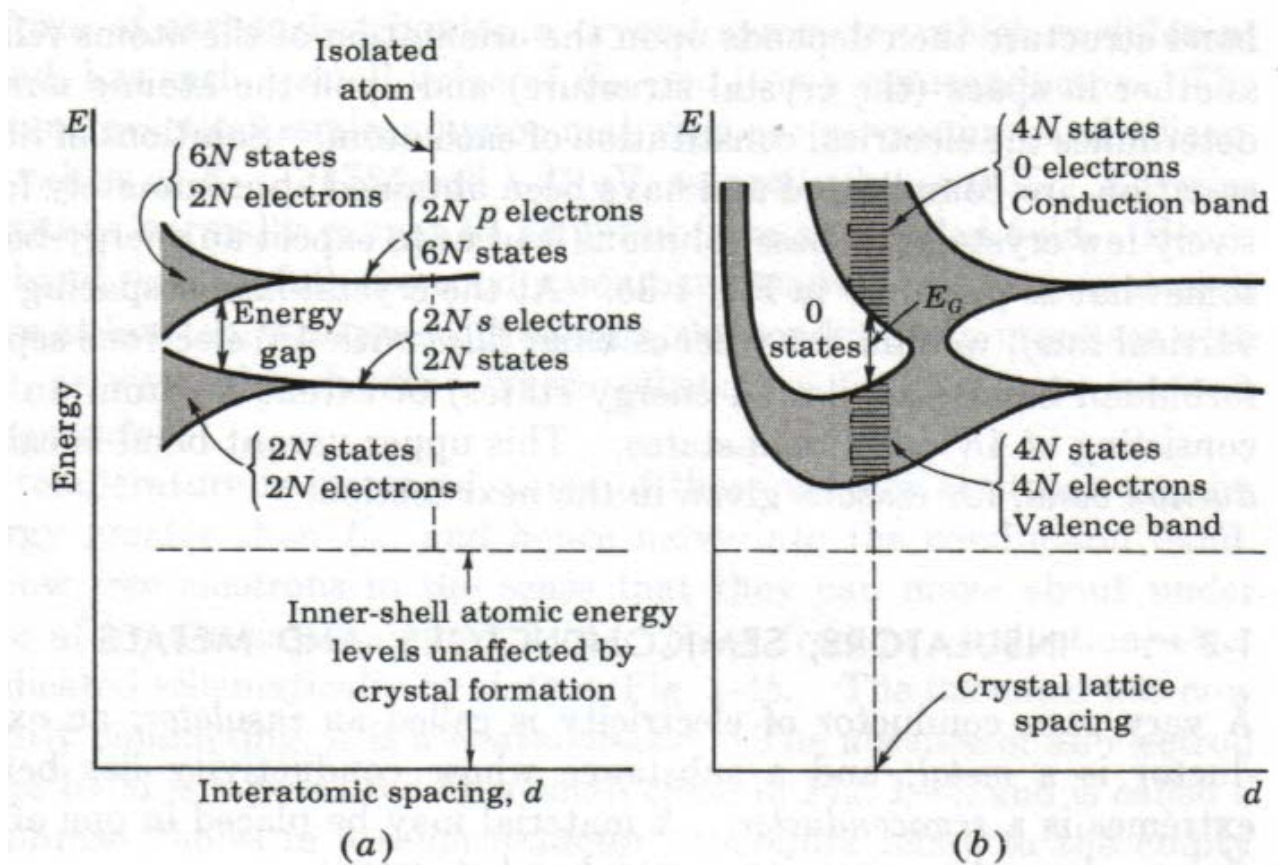


Fig. 1-3 Illustrating how the energy levels of isolated atoms are split into energy bands when these atoms are brought into close proximity to form a crystal.

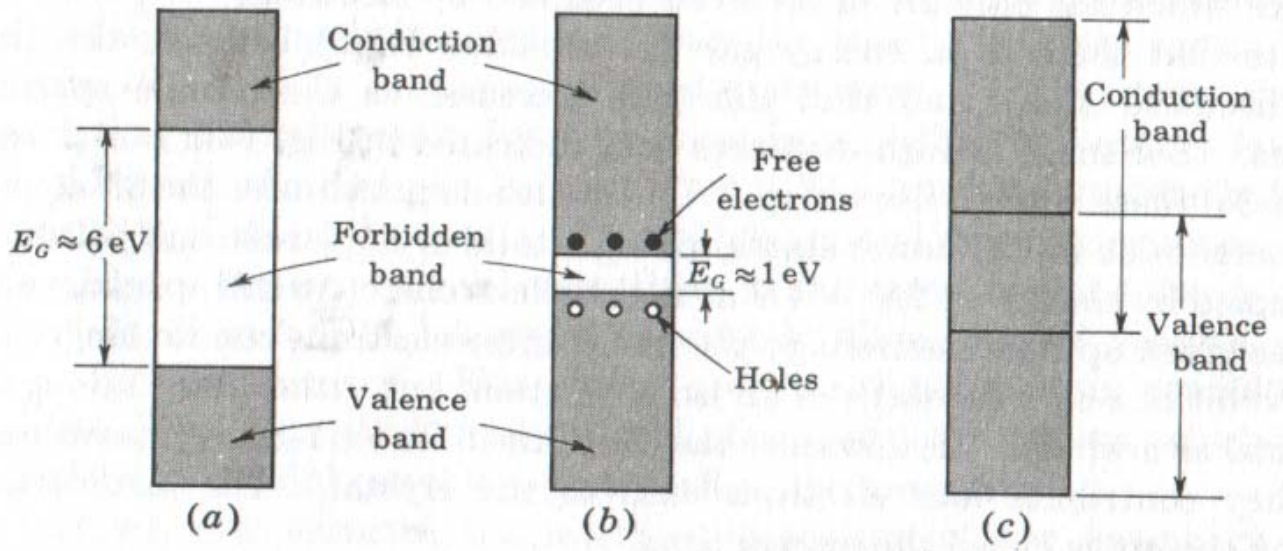


Fig. 1-4 Energy-band structure of (a) an insulator, (b) a semiconductor, and (c) a metal.