

Ikatan Kristal

Kardiawarman, Ph.D.



PENDAHULUAN

Modul 1 pada mata kuliah Fisika Zat Padat ini berisikan materi-materi yang terdiri dari ikatan Van der Waals, ikatan ion, ikatan kovalen, dan ikatan logam, serta ikatan hidrogen.

Pada ikatan Van der Waals akan diuraikan lagi menjadi beberapa subpokok bahasan, yakni energi kohesi, potensial Lennard-Jones, dan konstanta kisi; sedangkan subpokok bahasan pada ikatan ion terdiri dari energi kisi, Madelung, dan konstanta Madelung.

Oleh karena itu, setelah Anda mempelajari Modul 1 ini secara umum diharapkan dapat, menentukan jenis padatan berdasarkan jenis ikatan dan ketentuan atom pembentuknya dan secara khusus diharapkan dapat:

1. mendefinisikan energi kohesi;
2. menghitung energi dengan menggunakan potensial Lennard-Jones;
3. menghitung konstanta kisi pada keadaan setimbang;
4. mendefinisikan energi kisi;
5. menghitung energi kisi;
6. menghitung energi Madelung;
7. menghitung konstanta Madelung;
8. menjelaskan ikatan kovalen;
9. memberikan contoh ikatan kovalen;
10. menjelaskan ikatan logam;
11. menjelaskan ikatan hidrogen.

Masing-masing kegiatan belajar dari modul ini berisi penjelasan, definisi, formulasi dengan ilustrasi dan bahan deskriptif lainnya.

Di akhir setiap sajian materi akan diberikan contoh soal, rangkuman, latihan dan tes formatif dengan harapan mahasiswa dapat memahami materi secara lebih mendalam.

Selamat Belajar, semoga berhasil!

KEGIATAN BELAJAR 1

Ikatan Van Der Walls

A. POTENSIAL LENNARD-JONES

Gas-gas lantan merupakan bentuk kristal yang paling sederhana. Distribusi elektron-elektron dari atom-atom bebas adalah sangat rapat. Sifat ini berada pada suhu mutlak nol seperti pada Tabel 1.2.

Kristal-kristal tersebut merupakan insulator yang transparan dan terikat lemah dengan temperatur lebur rendah. Kulit-kulit elektron terluar dari atom terisi dengan sempurna dan distribusi muatan elektron bebas dalam atom adalah simetri bola. Dalam kristal, atom-atom gas lantan tersebut tersusun sangat rapat sehingga struktur kristalnya merupakan FCC (*cubic close packed*) kecuali He³ dan He⁴.

Gerakan atom-atom pada titik-nol (energi kinetik pada suhu mutlak nol) memberikan suatu efek kuantum yang memegang suatu peranan penting dalam He³ dan He⁴, misalkan tidak mengeras pada tekanan dan suhu mutlak nol. Rata-rata pada suhu 0K sebuah atom He dari posisi setimbangnya berada 30–40% jarak tetangga terdekatnya. Namun, pada atom-atom berat efek titik nol tersebut kurang penting.

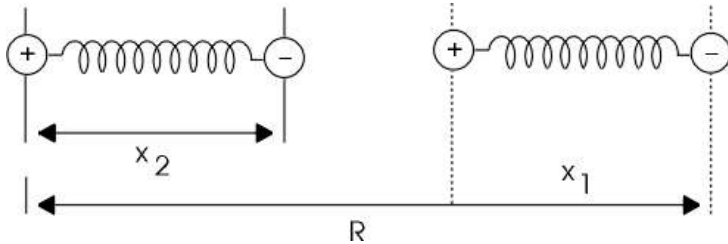
Jika kita mengabaikan gerak titik nol maka dapat dihitung suatu volume molar dari helium padat sebesar 9 cm³mol⁻¹ dan 27,5 cm³mol⁻¹, serta 36,8 cm³mol⁻¹ masing-masing untuk He⁴ dan He³ cair. Dalam keadaan tingkat terendah dari helium kita harus memperhatikan gerak titik nol dari atom-atom tersebut.

Distribusi elektron dalam kristal tak dapat diubah dari distribusi elektron di sekeliling atom bebas karena energi kohesi suatu atom dalam kristal kurang dibandingkan energi ionisasi dari suatu elektron atom. Jadi tidak cukup energi yang dapat merubah distribusi muatan atom bebas. Hal ini dapat dijelaskan dalam interaksi Van Der Walls.

Dua atom gas lantan yang identik berada pada jarak R yang lebih besar dibandingkan dengan jari-jari atom. Jika distribusi muatan pada atom-atom adalah rigid maka interaksi antara atom-atom itu akan nol.

Dengan demikian atom-atom gas lantan dapat memperlihatkan ketidakkohesian dan tak dapat memadat, tetapi atom-atom itu menginduksi momen

dipole atom lainnya sehingga menyebabkan suatu interaksi tarik menarik antara atom-atom.



Gambar 1.1.
Dua Osilator Harmonik Linear

Sebagai model kita pertimbangkan dua osilator harmonik linear yang identik 1 dan 2 yang terpisah pada jarak R. Masing-masing osilator membawa muatan $\pm e$ dengan jarak x_1 dan x_2 seperti gambar 1.1.

Partikel-partikel beresilasi sepanjang sumbu x. Misalkan p_1 dan p_2 sebagai momentum dan C sebagai konstanta gaya maka hamiltonian dari sistem ini adalah:

$$H_0 = \frac{1}{2m} p_1^2 + \frac{1}{2} C x_1^2 + \frac{1}{2m} p_2^2 + \frac{1}{2} C x_2^2 \quad (1.1)$$

Tiap osilasi tak berpasangan mempunyai frekuensi resonansi $\omega_o = \sqrt{\frac{C}{m}}$ sesuai dengan osilator harmonik sederhana. Misalnya, H_1 adalah energi interaksi coulomb dari dua osilator dan R merupakan koordinasi antara inti maka

$$H_1 = \frac{e^2}{R} + \frac{e^2}{R + x_1 - x_2} - \frac{e^2}{R + x_1} + \frac{e^2}{R - x_2} \quad (1.2)$$

Oleh karena $x_1, x_2 \ll R$ maka kita dapat mengembangkan persamaan (1.2) pada orde yang paling rendah yakni,

$$H_1 = -\frac{2e^2 x_1 x_2}{R^3} \quad (1.3)$$

Total Hamilton H_1 dapat didiagonalisasikan dengan transformasi normal.

$$x_s = \frac{1}{\sqrt{2}}(x_1 + x_2); \quad x_a = \frac{1}{\sqrt{2}}(x_1 - x_2) \quad (1.4)$$

atau

$$x_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(x_s + x_a); \quad x_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(x_s - x_a) \quad (1.5)$$

subskrip s dan a merupakan model simetrik dan antisimetrik gerak. Selanjutnya, momentum p_s dan p_a dihubungkan dengan dua model tersebut menjadi,

$$p_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(p_s + p_a) \quad \text{dan} \quad p_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(p_s - p_a) \quad (1.6)$$

Total Hamilton $H_0 + H_1$ setelah transformasi (1.5) dan (1.6) adalah:

$$H = \left[\frac{1}{2m} p_s^2 + \frac{1}{2} \left(C - \frac{2e^2}{R^3} \right) x_s^2 \right] + \left[\frac{1}{2m} p_a^2 + \frac{1}{2} \left(C + \frac{2e^2}{R^3} \right) x_a^2 \right] \quad (1.7)$$

Frekuensi osilatornya adalah

$$\omega = \frac{1}{m} \left(C \pm \frac{2e^2}{R^3} \right) = \omega_0 \left[1 \pm \frac{1}{2} \left(\frac{2e^2}{CR^3} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{2e^2}{CR^3} \right)^2 + \dots \right] \quad (1.8)$$

dengan $\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{m}}$

Energi pada titik nol dari sistem adalah $\frac{1}{2} \hbar (\omega_s + \omega_a)$ karena penjumlahan interaksi lebih rendah dari $2x \left(\frac{1}{2} \right) \hbar \omega_0$ dengan

$$\Delta U = \frac{1}{2} \hbar (\Delta \omega_s + \Delta \omega_a) = -\hbar \omega_0 \cdot \frac{1}{8} \left(\frac{2e^2}{CR^3} \right)^2 = -\frac{A}{R^6} \quad (1.9)$$

Ini merupakan suatu interaksi tarik menarik yang bervariasi sebagai minus pangkat enam dari jarak (R) dua osilator. Interaksi ini dinamakan interaksi Van Der Walls yang juga dikenal sebagai interaksi London atau interaksi induksi dipole-dipole. Hal ini merupakan interaksi tarik-menarik yang paling penting dalam kristal gas-gas lamban dan dalam kristal molekul-molekul organik.

Interaksi ini merupakan suatu efek kuantum, dalam pengertian bahwa $\Delta U \rightarrow 0$ karena $h \rightarrow 0$. Jadi energi titik nol sistem ditentukan oleh pasangan dipole-dipole dari persamaan (1.3).

Oleh karena dua atom terbawa bersamaan, distribusi muatannya lama-kelamaan menjadi overlap seperti Gambar 1.2 dengan cara merubah energi elektrostatik sistem.

Pada jarak yang cukup dekat, energi yang overlap tersebut adalah tolak menolak karena adanya prinsip larangan Pauli, yakni bahwa dua elektron tidak dapat mempunyai bilangan kuantum sama.

Ketika distribusi-distribusi muatan dua atom overlap akan ada suatu kecenderungan elektron-elektron dari atom B menempati state atom A yang telah ditempati oleh elektron-elektron atom A atau sebaliknya.

Prinsip Pauli mencegah adanya penempatan ganda, dan distribusi elektron dari atom dengan kulit-kulit berdekatan dapat overlap hanya jika disertai dengan kenaikan sebagian elektron-elektron ke keadaan energi yang tinggi yang belum terisi dari atom-atom.

Jadi elektron-elektron overlap tersebut menambah energi total sistem dan memberikan suatu kontribusi tolak menolak untuk berinteraksi.

Data eksperimen pada gas-gas lamban dapat disesuaikan dengan seluruh hasil empiris potensial tolak menolak dalam bentuk B/R^2 , dalam hal ini B merupakan konstanta positif bila digunakan bersama dengan potensial tarik menarik pada persamaan (1.9). Konstanta A dan B merupakan parameter empiris yang ditentukan dari pengukuran yang independen dalam fase gas.

Energi total dua atom pada jarak R pada umumnya dinyatakan dengan,

$$U(R) = 4\varepsilon \left[\left(\frac{\sigma}{R} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{R} \right)^6 \right] \quad (1.10)$$

Dalam hal ini, ε dan σ sebagai parameter baru dengan, $4\varepsilon\sigma^6 = A$ dan $4\varepsilon\sigma^{12} = B$. Persamaan (1.10) dinamakan potensial Lennard-Jones,

sedangkan gaya antara dua atom sama dengan $F = -dU/dR$. Nilai ε dan σ diberikan pada Tabel 1.3 yang diperoleh dari data fase gas sehingga perhitungan sifat-sifat zat padat tidak melibatkan satu pun parameter-parameter yang tersedia.

B. KONSTANTA KISI

Jika kita mengabaikan energi kinetik atom gas lamban maka energi kohesinya diberikan oleh potensial Lennard-Jones yang meliputi semua pasangan atom dalam kristal. Jika ada N atom dalam kristal maka energi potensial totalnya adalah:

$$U_{total} = \frac{1}{2} N (4\varepsilon) \left[\sum_j \left(\frac{\sigma}{p_{ij}R} \right)^{12} - \sum_j \left(\frac{\sigma}{p_{ij}R} \right)^6 \right] \quad (1.11)$$

dalam hal ini, $p_{ij}R =$ jarak antara atom acuan i dan atom lain j pada jarak terdekat R .

Faktor (1/2) dimaksudkan untuk mencegah penghitungan dua kali pasangan atom-atom.

Setelah dihitung dan untuk struktur FCC diperoleh,

$$\sum_j p_{ij}^{-12} = 12,13188; \quad \sum_j p_{ij}^{-6} = 14,45392 \quad (1.12)$$

Jika kita mengambil U_{total} pada persamaan (1.11) sebagai energi total kristal maka $\partial U_{total} / \partial R = 0$

$$0 = 2N\varepsilon [(12)(12,13)\sigma^{12}/p^{13} - (6)(14,45)\sigma^6/p^7] \quad (1.13)$$

Anda dapat menghitung untuk $R = R_o$, dalam hal ini

$$R_o/\sigma = 1,09 \quad (1.14)$$

yang sama untuk semua elemen dengan struktur FCC.

Berdasarkan Tabel 1.3, Anda dapat menghitung (R_o/σ) untuk Ne, Ar, Kr dan Xe.

C. ENERGI KOHESI

Energi kohesi kristal gas lamban pada suhu mutlak, tekanan nol diperoleh dengan mensubstitusikan persamaan (1.12) dan (1.14) ke persamaan (1.11) yakni,

$$U_{total}(R) = 2N\varepsilon \left[(12,13) \left(\frac{\sigma}{R} \right)^{12} - (14,45) \left(\frac{\sigma}{R} \right)^6 \right] \quad (1.15)$$

dan untuk $R = R_o$ persamaan 1.15 menjadi,

$$U_{total}(R) = -(2,15)(4N\varepsilon) \quad (1.16)$$

Hal yang sama untuk semua gas-gas lamban. Ini merupakan energi kohesif yang diperoleh jika energi kinetik nol.

Tabel 1.2.
Energi Ionisasi

Energi total yang dibutuhkan untuk menghapus dua elektron pertama merupakan potensial ionisasi pertama dan kedua
Sumber: National Brown of Standards Circular 467

H 13.595	Energi total yang dibutuhkan untuk menghapus dua elektron pertama merupakan potensial ionisasi pertama dan kedua Sumber: National Brown of Standards Circular 467																He 24.58 78.98																																											
Li 5.39 81.01	Be 9.32 27.53											B 8.30 33.45	C 11.26 35.64	N 14.54 44.14	O 13.61 48.76	F 17.42 52.40	Ne 21.56 62.63																																											
Na 5.14 52.43	Mg 7.64 22.67	← Energi untuk menghapus satu elektron, in eV →										Al 5.98 24.80	Si 8.15 24.49	P 10.55 30.20	S 10.36 34.0	Cl 13.01 36.81	Ar 15.76 43.36																																											
← Energi untuk menghapus dua elektron, in eV →		K 4.34 36.15	Ca 6.11 17.98	Sc 6.56 19.45	Ti 6.83 20.46	V 6.74 21.39	Cr 6.76 23.25	Mn 7.43 23.07	Fe 7.90 24.08	Co 7.86 24.91	Ni 7.63 25.78	Cu 7.72 27.93	Zn 9.39 27.35	Ga 6.00 26.51	Ge 7.88 23.81	As 9.81 30.0	Se 9.75 31.2	Br 11.84 33.4	Kr 14.00 38.56																																									
Rb 4.18 31.7	Sr 5.69 16.72	Y 6.5 18.9	Zr 6.95 20.98	Nb 6.77 21.22	Mo 7.18 23.25	Tc 7.28 22.54	Ru 7.36 24.12	Rh 7.46 25.53	Pd 8.33 27.75	Ag 7.57 29.05	Cd 8.99 25.89	In 5.78 24.64	Sn 7.34 21.97	Sb 8.64 25.1	Te 9.01 27.6	I 10.45 29.54	Xe 12.13 33.3																																											
Cs 3.89 29.0	Ba 5.21 15.21	La 5.61 17.04	Hf 7. 22.	Ta 7.88 24.1	W 7.98 25.7	Re 7.87 24.5	Os 8.7 26.	Ir 9. 27.52	Pt 8.96 29.7	Au 9.22 29.18	Hg 10.43 26.53	Tl 6.11 22.44	Pb 7.41 23.97	Bi 7.29 23.97	Po 8.43	At	Rn 10.74																																											
Fr	Ra 5.28 15.42	Ac 6.9 19.0	<table border="1"> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>6.91</td><td>5.76</td><td>6.31</td><td></td><td>5.65</td><td>6.7</td><td>6.16</td><td>6.74</td><td>6.82</td><td></td><td></td><td></td><td>6.25</td><td>5.0</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U 4.</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> </table>																Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	6.91	5.76	6.31		5.65	6.7	6.16	6.74	6.82				6.25	5.0	Th	Pa	U 4.	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																															
6.91	5.76	6.31		5.65	6.7	6.16	6.74	6.82				6.25	5.0																																															
Th	Pa	U 4.	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																															

Tabel 1.3.
Sifat-sifat Krisatal Gas Lamban
(Ekstrapolasi pada 0 K dan tekanan 0)

Jarak terdekat antara atom A^0	Energi Kohesif Hasil Eksperimen			Titik Lebur	Potensial Ionisasi Atom bebas eV	Parameter Potensial Lennard-Jones Eq. 10	
	KJ/mol	eV/atom				ϵ in 10^{-16} erg	σ in A
He	(Tekanan nol pada keadaan cair)			24	21.58	14	2.56
Ne					21.56	50	2.74
Ar	3.13	1.88	0.02	84	15.76	167	3.40
Kr	3.76	7.74	0.080	117	14.00	225	3.65
Xe	4.01	11.2	0.116	161	12.13	320	3.98
	4.35	16.0	0.17				

Contoh soal:

1. Tentukan nilai konstanta kisi kristal (R_0 / σ) dari unsur Ne.

Jawab:

Berdasarkan Tabel 1.3, nilai $\sigma_{Ne} = 2,74 \text{ \AA}$ dan jarak tetangga terdekat antara atom (R_0) $Ne = 3,13 \text{ \AA}$. Besar konstanta kisinya = R_0 / σ

$$= 3.13 / 2.74$$

$$= 1.14$$

2. Tentukan bentuk persamaan potensial Lennard-Jones jika jumlah kisi pada struktur bcc adalah: $\sum_j p_{ij}^{-12} = 9,1142$ dan $\sum_j p_{ij}^{-6} = 12,2533$.

Jawab:

Energi potensial untuk N atom dan p_{ij} merupakan jarak antara atom acuan (i) dengan atom lainnya (j) seperti tersebut di atas adalah

$$U = 2N\epsilon \left[(9,1142) \left(\frac{\sigma}{R} \right)^{-12} - (12,2533) \left(\frac{\sigma}{R} \right)^{-6} \right]$$



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Hitunglah besar konstanta kisi dari kristal gas lamban Xe yang mempunyai struktur FCC!
- 2) Tentukan persamaan energi kohesif dari kristal gas lamban Ne pada suhu mutlak nol dan tekanan nol!
- 3) Hitunglah energi potensial Lennard – Jones dari kristal gas lamban Xe!
- 4) Berapa besar jarak terdekat antara atom dalam kristal Ne?
- 5) Berapa besar energi kohesif antara 2 atom dalam kristal gas lamban Ar?

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Apabila Anda dalam mengerjakan soal latihan tersebut di atas ada kesulitan maka gunakanlah petunjuk di bawah ini.
- 2) Gunakan Tabel 1.3 dan Anda hitung konstanta kisinya dengan rumusan (R_0 / σ) .
- 3) Anda gunakan persamaan (1.15) dan $R_0 / \sigma (Ne) = 1,14$.
- 4) Anda gunakan persamaan (1.10) dan Tabel 1.3.
- 5) Anda hitung konstanta kisi kristal Ne dan Anda cari nilai σ pada Tabel 1.3.
- 6) Anda gunakan persamaan (1.16) dan Anda cari nilai ε pada Tabel 1.3.



RANGKUMAN

Energi potensial Lennard-Jones dinyatakan dengan persamaan:

$$U(r) = 4\varepsilon \left[\left(\frac{\sigma}{R} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{R} \right)^6 \right]$$

Energi kohesi kristal gas lamban dinyatakan dengan persamaan:

$$U_{tot} = 2N\varepsilon \left[\sum \left(\frac{\sigma}{p_{ij}R} \right)^{12} - \sum \left(\frac{\sigma}{p_{ij}R} \right)^6 \right], \text{ pada struktur kristal FCC:}$$

$\sum p_{ij}^{-12} = 12,13188$ dan $\sum p_{ij}^{-6} = 14.45392$. Sedangkan pada struktur kristal FCC dinyatakan dengan persamaan $\sum p_{ij}^{-12} = 9.1142$ dan $\sum p_{ij}^{-6} = 12.2533$.

Energi kohesi untuk $r = R_0$ dan struktur kristal FCC dinyatakan dengan persamaan $U_{tot}(R_0) = -(2,15)(4N\varepsilon)$. Konstanta kisi diperoleh bila energi total kristal mencapai minimum terhadap variasi jarak tetangga terdekat, yakni $dU_{tot}/dr = 0$ sehingga untuk $r = R_0$ didapatkan nilai konstanta kisi (R_0/σ) .



TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Energi kohesif didefinisikan sebagai
 - A. energi yang diperlukan untuk memisahkan atom-atom dalam kristal agar menjadi atom-atom bebas
 - B. energi yang diperlukan untuk memisahkan ikatan dua atom agar menjadi atom bebas
 - C. energi yang diperlukan untuk memisahkan ion-ion dalam kristal agar menjadi ion netral
 - D. energi yang diperlukan untuk memisahkan suatu ikatan ionik

- 2) Energi potensial dua atom pada jarak R dinyatakan dengan persamaan....
 - A. $U(R) = 4\sigma \left[\left(\frac{\varepsilon}{R} \right)^{12} - \left(\frac{\varepsilon}{R} \right)^6 \right]$
 - B. $U(R) = 4\varepsilon \left[\left(\frac{\sigma}{R} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{R} \right)^6 \right]$
 - C. $U(R) = 4\sigma \left[\left(\frac{R}{\varepsilon} \right)^{12} - \left(\frac{R}{\varepsilon} \right)^6 \right]$
 - D. $U(R) = 4\varepsilon \left[\left(\frac{R}{\sigma} \right)^{12} - \left(\frac{R}{\sigma} \right)^6 \right]$

- 3) Energi kohesi pada struktur kristal FCC gas lamban Ne yang terdiri dari N buah atom adalah....
- $-606,4 \cdot 10^{-16} (N) \text{erg}$
 - $-404,6 \cdot 10^{-16} (N) \text{erg}$
 - $404,6 \cdot 10^{-16} (N) \text{erg}$
 - $606,4 \cdot 10^{-16} (N) \text{erg}$
- 4) Jumlah kisi dari struktur BCC adalah $\sum p_{ij}^{-12} = 9,1142$ dan $\sum p_{ij}^{-6} = 12,2533$. Besar energi kohesi kristal neon pada struktur ini untuk N atom adalah
- $-663,8 \cdot 10^{-16} (N) \text{erg}$
 - $-366,8 \cdot 10^{-16} (N) \text{erg}$
 - $366,8 \cdot 10^{-16} (N) \text{erg}$
 - $663,8 \cdot 10^{-16} (N) \text{erg}$
- 5) Jika $R = R_0$ dan konstanta kisi $(R_0/\sigma) = 1,09$ maka energi kohesi $[U_{tot}(R_0)]$ struktur kristal fcc adalah
- $-8,6 N \varepsilon$
 - $-6,8 N \varepsilon$
 - $6,8 N \varepsilon$
 - $8,6 N \varepsilon$
- 6) Nilai konstanta kisi pada keadaan setimbang dari kristal gas lamban Kr adalah
- 1,01
 - 1,10
 - 1,14
 - 1,41
- 7) Dari hasil penghitungan nilai konstanta kisi kristal-kristal gas lamban maka
- konstanta kisi Xe > konstanta kisi Ne
 - konstanta kisi Kr < konstanta kisi Ne

- C. konstanta kisi Ar = konstanta kisi Xe
 D. konstanta kisi Kr = konstanta kisi Ar
- 8) Energi potensial Lennard – Jones untuk atom-atom Ar adalah
- A. $-165,5 \cdot 10^{-16} \text{ erg}$
 B. $-156,5 \cdot 10^{-16} \text{ erg}$
 C. $156,5 \cdot 10^{-16} \text{ erg}$
 D. $165,5 \cdot 10^{-16} \text{ erg}$
- 9) Persamaan energi kohesi dari struktur kristal BCC yang jumlah kisi $\sum p_{ij}^{-12} = 9,1142$ dan $\sum p_{ij}^{-6} = 12,2533$ akan mempunyai konstanta kisi
- A. 1,02
 B. 1,07
 C. 1,20
 D. 1,70
- 10) Energi kohesi yang mempunyai jumlah kisi $\sum p_{ij}^{-12}$ sebesar 9,1142 dan $\sum p_{ij}^{-6}$ sebesar 12,2533 pada $R = R_0$ adalah
- A. $-(5,20)(4N\varepsilon)$
 B. $-(4,12)(4N\varepsilon)$
 C. $-(2,60)(4N\varepsilon)$
 D. $-(2,06)(4N\varepsilon)$

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$
--

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

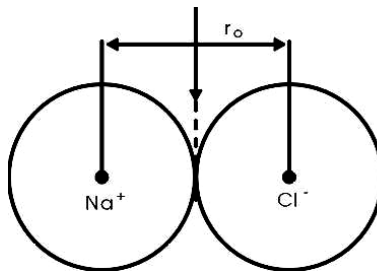
KEGIATAN BELAJAR 2

Ikatan Ion

A. ENERGI KISI

Barangkali ikatan ionik atau heteropolar merupakan bentuk ikatan yang paling sederhana. Hal ini terjadi antara elemen-elemen elektropositif dan elektronegatif. Suatu bentuk sederhana dari ikatan ionik adalah ikatan antara ion sodiun positif dan ion negatif chlorine dalam sodiun chloride.

Atom Na energi ionisasi yang rendah sehingga mudah kehilangan elektron dan atom chlorine, mempunyai afinitas elektron yang kuat tinggi serta mempunyai kecenderungan yang kuat menerima elektron. Adapun reaksinya dapat dituliskan, $Na + Cl \rightarrow Na^+ + Cl^- \rightarrow NaCl$



Gambar 1.2.
Molekul Ionik

Energi yang diperlukan untuk mengeluarkan elektron dari atom Na sehingga menjadi ion Na^+ adalah 5,1 eV. Oleh karena itu, $Na + 5,1 eV \rightarrow Na^+ + e^-$. Sedangkan afinitas dari chlorine adalah 3,6 eV,



Jadi, energi nettoanya = 5,1 eV - 3,6 eV = 1,5 eV.

dan persamaannya, $Na + Cl + 1,5 eV \rightarrow Na^+ + Cl^-$

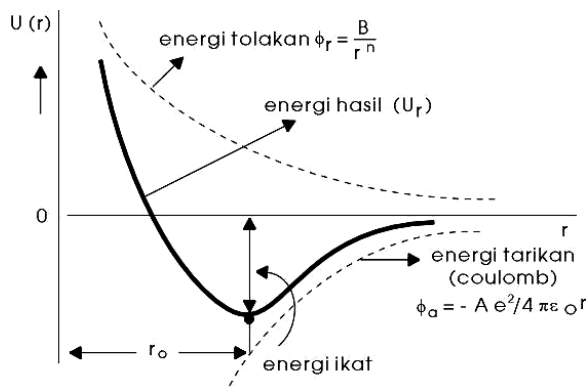
Pada keadaan setimbang energi potensial akan menjadi minimum dan pembebasan energi dalam pembentukan molekul NaCl dinamakan energi

ikat, yakni $V = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0}$ Bila Anda masukan nilai-nilai dari besaran e , ϵ_0 dan r_0 maka Anda mendapatkan harga $V = -6$ eV, Dalam hal ini r_0 sebagai jarak antara ion Na^+ dan Cl^- dalam keadaan setimbang yakni $2,4 \text{ \AA}$.

Jadi, energi yang dibebaskan dalam pembentukan molekul NaCl yang dimulai dari atom netral Na dan Cl adalah $(5,1 - 3,6 - 6) = -4,5$ eV. Ini berarti untuk memisahkan sebuah molekul NaCl menjadi ion Na dan Cl diperlukan energi sebesar 4,5 eV.

Energi kisi suatu kristal ionik akan berbeda dengan energi ikat dua atom karena pembentukan molekul ionik merupakan interaksi lebih dari dua ion. Energi ikat suatu kristal merupakan energi yang harus diberikan pada kristal untuk memisahkan komponen-komponennya menjadi atom-atom bebas yang netral pada jarak tak berhingga dengan konfigurasi elektron yang sama. Sedangkan energi kisi digunakan untuk kristal ionik, yaitu energi yang harus diberikan pada kristal untuk memisahkan ion-ion komponennya menjadi ion-ion bebas pada jarak tak terhingga.

Sebagai contoh adalah kristal NaCl. Kristal ini terikat sangat kuat dengan energi ikat lebih kurang 5–10 eV. Ini merupakan energi yang diperlukan untuk membebaskan kisi menjadi ion positif dan negatif pada jarak tak terhingga.



Gambar 1.3.
Grafik Energi Kisi NaCl

Untuk menghitung energi ikat kristal ionik diperlukan pemahaman gaya-gaya yang bekerja antar partikel.

Kestabilan sebuah kristal ionik tergantung pada kesetimbangan gaya-gaya, yakni gaya elektrostatis atau coulomb dan gaya tolak antar ion serta gaya Van Der Walls (biasanya diabaikan).

Oleh karena gaya Van Der Walls relatif kecil dibandingkan dengan gaya tarik dan tolak sehingga kita dapat menentukan gaya resultan yang bekerja pada kristal ionik tersebut. Kita mengetahui bahwa posisi kesetimbangan akan tercapai jika besar gaya tolak sama dengan gaya tarik.

Muatan dari dua ion Z_1e dan Z_2e yang dipisahkan pada suatu jarak r maka besar energi tariknya $-Z_1Z_2e^2/(4\pi\epsilon_0r)$, sedangkan energi yang besarnya $-e^2/(4\pi\epsilon_0r)$, $-4e^2/(4\pi\epsilon_0r)$, dan $9e^2/(4\pi\epsilon_0r)$ apabila dua atom tersebut masing-masing bersifat monovalen, divalen dan trivalen. Oleh karena itu, energi potensial Coulomb untuk kristal tersebut dapat dituliskan sebagai $-Z_1Z_2e^2/(4\pi\epsilon_0r)$.

Tanda minus menunjukkan bahwa energi tersebut tarik menarik. Untuk mencegah kisi dari tumbukan maka harus ada gaya-gaya tolak antar ion-ion. Besar energi tolakan ini berbanding terbalik dengan pangkat n jarak antar ion, yakni B/r^n .

Oleh karena itu, energi totalnya

$$U(r) = \frac{-Z_1Z_2e^2}{4\pi\epsilon_0r} + \frac{B}{r^n} \quad (1.17)$$

Untuk univalen,

$$U(r) = \frac{-Ae^2}{4\pi\epsilon_0r} + \frac{B}{r^n} \quad (1.18)$$

Energi total per kmol dari kristal adalah

$$U(r) = N_A \left[\frac{B}{r^n} - \frac{Ae^2}{4\pi\epsilon_0r} \right] \quad (1.19)$$

Energi potensial akan minimum pada ruang kesetimbangan r_0 jadi,

$$\left(\frac{\partial U}{\partial r}\right)_{r=r_0} = N_A \left[\frac{Ae^2}{4\pi\epsilon_0 r_0^2} - \frac{Bn}{r_0^{n+1}} \right] \quad (1.20)$$

atau

$$\frac{Ae^2}{4\pi\epsilon_0 r_0^2} = \frac{Bn}{r_0^{n+1}}$$

$$\frac{r_0^{n+1}}{r_0^2} = \frac{4\pi\epsilon_0 Bn}{Ae^2}$$

$$B = \frac{Ae^2 r_0^{n-1}}{4\pi\epsilon_0 n} \quad (1.21)$$

Jika disubstitusikan persamaan (1.21) ke (1.19) dan diambil $r = r_0$ maka akan didapatkan energi kesetimbangan total per kmol dari kristal.

$$[U]_{r=r_0} = U_0 = \frac{-N_A Ae^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} + \frac{N_A Ae^2 r_0^{n-1}}{4\pi\epsilon_0 n r_0^n}$$

atau

$$U_0 = -U_1 + U_2 \quad (1.22)$$

dalam hal ini U_1 dan U_2 menyatakan energi tarik Coulomb dan Potensial tolak, dapat pula dituliskan,

$$U_0 = \frac{-Ae^2 N_A}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r_0} - \frac{r_0^{n-1}}{nr_0 r_0^{n-1}} \right]$$

$$= -\frac{Ae^2 N_A}{4\pi\epsilon_0 r_0} \left[\frac{n-1}{n} \right] \quad (1.23)$$

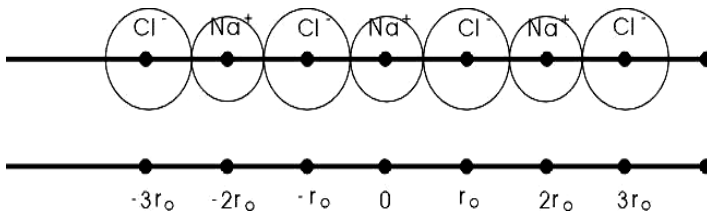
Energi kesetimbangan U_0 ini dinamakan energi kisi.

B. ENERGI DAN KONSTANTA MADELUNG

Deretan interaksi antara ion positif dan negatif merupakan interaksi elektrostatik tarik – menarik antara ion-ion yang berbeda muatan dan tolak-menolak antara ion-ion sejenis. Ion-ion tersebut menata sendiri dalam struktur kristal apapun yang memberikan interaksi tarikan paling kuat sesuai dengan interaksi tolakan pada jarak pendek antara inti-inti ion.

Interaksi tolakan antara ion-ion dengan konfigurasi gas lamban adalah serupa dengan interaksi tolakan atom-atom gas lamban. Interaksi tolakan dari Van Der Walls memberikan kontribusi yang relatif kecil untuk energi kohesi dalam kristal ionik. Kontribusi utama untuk energi ikat dari kristal ionik adalah elektrostatik dan dinamakan *energi Madelung*.

Perhatikanlah suatu rantai linear dari ion-ion yang berselang-seling tanda seperti pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4.
Kisi NaCl Satu Dimensi

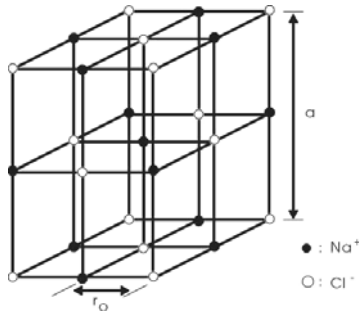
Sebagai acuan, misalnya diambil sebuah ion positif dan r_0 sebagai jarak terpendek antar ion-ion. Kita mengetahui bahwa energi tarikan Coulomb untuk tetangga terdekat adalah,

$$\frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} + \left(-\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} \right) = \frac{-2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0}$$

Sedangkan energi tolakan untuk dua muatan ion sejenis pada jarak $2r_0$ adalah, $2e^2/(4\pi\epsilon_0 2r_0)$ dan energi tarikan untuk dua ion tetangga berikutnya pada jarak $3r_0$ sebesar $-2e^2/(4\pi\epsilon_0 3r_0)$.

Apabila kita jumlahkan energi untuk semua ion-ion dalam susunan linear maka besarnya adalah:

$$\begin{aligned}
 & \frac{-2e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} + \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 2r_0} - \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 3r_0} + \dots \\
 &= \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} \left[2 \left(1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \dots \right) \right] \\
 &= \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} (2 \log 2) \tag{1.24}
 \end{aligned}$$



Gambar 1.5.
Struktur Kristal 3 Dimensi

Konstanta sebesar $2 \log 2$ dinamakan *konstanta Madelung per molekul ion kristal* atau $2 N_A \log 2$ per kmol.

Pada bentuk tiga dimensi susunannya menjadi lebih sulit dan tidak mungkin menjumlahkan seperti dalam kasus kisi satu dimensi. Kita lihat kembali struktur kisi NaCl seperti gambar 1.5. Energi potensial keseluruhan diperoleh dengan menambahkan semua energi tarikan dan tolakan antar ion-ion.

Ion Na⁺ pada titik A di kelilingi oleh 6 ion-ion Cl⁻ pada jarak r_0 . Oleh karena itu, energi potensial tarikan dari ion Na⁺ pada titik A adalah, $6e^2 / (4\pi\epsilon_0 r_0)$. Dengan cara yang sama 12 ion-ion Na⁺ pada jarak $r_0 \sqrt{2}$ dan 6 ion-ion Na⁺ pada jarak $2r_0$ masing-masing memberikan kontribusi

$12e^2 / (4\pi\epsilon_0 r_0 \sqrt{2})$ dan $6e^2 / (4\pi\epsilon_0 2r_0)$. Kita dapat menjumlahkan energi Coulomb dari ion Na^+ pada titik A, yakni:

$$U = \frac{-6e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} + \frac{12e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0 \sqrt{2}} - \frac{8e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0 \sqrt{3}} + \frac{6e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0 \sqrt{4}} - \dots$$

atau

$$U = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} \left[6 - \frac{12}{\sqrt{2}} + \frac{8}{\sqrt{3}} - \frac{6}{\sqrt{4}} + \dots \right]$$

Untuk k mol dari kristal maka energi Coulomb total,

$$U = \frac{-N_A e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} \left[6 - \frac{12}{\sqrt{2}} + \frac{8}{\sqrt{3}} - \frac{6}{\sqrt{4}} + \dots \right]$$

atau

$$U = \frac{-N_A e^2 A}{4\pi\epsilon_0 r_0} \quad (1.25)$$

Konstanta A dinamakan juga konstanta tiga dimensi untuk struktur NaCl, dalam hal ini $A = 1,75$.

Konstanta Madelung merupakan efek dari bentuk susunan ion-ion pada energi potensial elektrostatik. Konstanta yang dimiliki struktur kristal ini tergantung pada parameter kisi, jarak anion – kation atau volume molekuler kristal.

Persamaan (1.25) harus digunakan untuk monovalen seperti sodium klorid.

Contoh beberapa konstanta Madelung

No	Struktur	Å
1.	Sodium klorid (NaCl)	1,747558
2.	Cesium klorid (CsCl)	1,762675
3.	Zinc blende (ZnS)	1,638100

Contoh soal:

1. Berapa energi Coulomb kristal NaCl yang memiliki konstanta Madelung 1,748 dan jarak antar ion 0,4 nm?

Jawab:

$$V = 1,748 \frac{e^2}{4\pi\epsilon r} \text{ dalam hal ini } e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C. dan } 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9$$

Nm²C⁻² serta

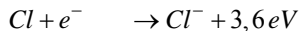
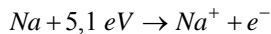
$$r = 0,4 \cdot 10^{-9} \text{ m.}$$

$$V = 1,748 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2 / (0,4 \cdot 10^{-9}) \text{ J.}$$

$$V = 6,3 \text{ eV.}$$

2. Energi ionisasi atom Na sebesar 5,1 eV dan afinitas elektron Cl adalah 3,6 eV. Molekul NaCl berada pada jarak kesetimbangan 2,4 Å⁰. Berapa energi yang dibebaskan dalam pembentukan molekul NaCl?

Jawab:



$$\begin{aligned} \text{Energi netto nya} &= 5,1 - 3,6 \\ &= 1,5 \text{ eV} \end{aligned}$$

Molekul NaCl berada pada keadaan setimbang $r_0 = 2,4 \text{ \AA}$

$$\text{maka } V = -e^2 / (4\pi\epsilon_0 r_0)$$

$$= -6 \text{ eV}$$

$$\begin{aligned} \text{Energi yang dibebaskan} &= (5,1 - 3,6 - 6) \text{ eV} \\ &= -4,5 \text{ eV} \end{aligned}$$



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Tentukan besar energi Madelung (dua dimensi) apabila jarak kesetimbangannya 0,281 nm!
- 2) Berapa besar energi Coulomb permol apabila jarak kesetimbangannya 0,281 nm pada kristal NaCl?

- 3) Tentukan energi kisi permol kristal NaCl pada jarak kesetimbangan 0,281 nm dan $n = 9$!
- 4) Hitunglah energi potensial apabila jarak kesetimbangan antara ion Na^+ dan Cl^- 2,4 Å!
- 5) Energi ionisasi kalium 4,34 eV dan afinitas elektron klorin 3,16 eV serta pada jarak 0,314 nm. Hitunglah energi yang dibebaskan dalam pembentukan molekul KCl!

Petunjuk Jawaban Latihan

Jika Anda mengalami kesulitan dalam mengerjakan soal tersebut di atas maka perhatikan petunjuk penyelesaian untuk masing-masing soal.

- 1) Gunakan persamaan (1.24) masukkan nilai muatan elektrostatik $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ dan jarak kesetimbangan sebesar $0,281 \text{ nm} = 0,281 \cdot 10^{-9} \text{ m}$.
- 2) Gunakan persamaan (1.25) dalam hal $N_A = 1$ dan konstanta Madelung NaCl $A = 1,75$ serta $r_0 = 0,281 \text{ nm}$.
- 3) Gunakan persamaan (1.23) untuk $N_A = 1$ dan $r_0 = 0,281 \text{ nm}$ serta $n = 9$.
- 4) Gunakan persamaan $V = -e^2 / (4\pi\epsilon_0 r_0)$. Dalam hal ini nilai $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2}$; $r = 2,9 \cdot 10^{-10} \text{ m}$
- 5) Energi pembentukan KCl merupakan jumlah dari energi ionisasi, afinitas elektron, dan energi potensial molekul KCl.



RANGKUMAN

Energi yang dibebaskan dalam pembentukan molekul ionik merupakan penjumlahan energi ionisasi, afinitas elektron, dan potensial elektrostatik.

Persamaan energi kisi per kmol, $U_0 = \frac{-Ae^2 N_A}{4\pi\epsilon_0 r_0} \left(\frac{n-1}{n} \right)$ Energi

Madelung (dua dimensi) $U = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} (2 \log 2)$. Untuk tiga dimensi

$U = \frac{-Ae^2}{4\pi\epsilon_0 r_0}$ dan A sebagai konstanta Madelung.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Energi kisi didefinisikan sebagai....
 - A. energi yang harus diberikan pada kristal untuk memisahkan ion-ion komponennya menjadi ion-ion bebas
 - B. energi yang harus diberikan pada kristal untuk memisahkan atom-atom komponennya menjadi atom-atom bebas
 - C. energi yang harus diberikan pada kristal untuk memisahkan molekul-molekul komponennya menjadi molekul-molekul bebas
 - D. energi yang harus diberikan pada kristal untuk memisahkan atom-atom komponennya menjadi molekul-molekul bebas

- 2) Energi kisi pada Kmol suatu kristal dinyatakan dengan persamaan
 - A. $U_0 = \frac{-Ae^2 N_A}{4\pi\epsilon_0 r_0} (n-1)n$
 - B. $U_0 = \frac{-Ae^2 N_A}{4\pi\epsilon_0 r_0} \left(\frac{n-1}{n} \right)$
 - C. $U_0 = \frac{-Ae^2 N_A}{4\pi\epsilon_0 r_0} \left(\frac{n}{n-1} \right)$
 - D. $U_0 = \frac{-Ae^2 N_A}{4\pi\epsilon_0 r_0} \left(\frac{1-n}{n} \right)$

- 3) Pada kristal NaCl jarak ion-ion $r_0 = 0,281$ nm dan harga $n = 9$ serta konstanta Madelung $A = 1,748$. Besar energi kisi untuk $N_A = 1$ adalah
 - A. 6,97 eV
 - B. 7,96 eV
 - C. 9,67 eV
 - D. 9,76 eV

- 4) Persamaan energi Madelung untuk Kmol suatu kristal adalah
 - A. $U = -N_A e^2 A / (4\pi\epsilon_0 r_0)$
 - B. $U = -N_A e^2 / (4\pi\epsilon_0 r_0 A)$

C. $U = -e^2 / (N_A 4\pi\epsilon_0 r_0 A)$

D. $U = -A e^2 / (N_A 4\pi\epsilon_0 r_0)$

- 5) Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan nilai konstanta Madelung
- Sodium Chlorid (NaCl) > Cesium Chloride (CsCl)
 - Cesium Chloride (CsCl) > Zinc Blende (ZnS)
 - Zinc Blende (ZnS) > Sodium Chlorid (NaCl)
 - Sodium Chlorid (NaCl) = Cesium Chloride (CsCl)
- 6) Energi Ionisasi Na adalah 5,14 eV dan afinitas elektron Cl sebesar 3,61 eV. Pada jarak berapakah molekul NaCl akan memperoleh cukup energi Coulomb 1,53 eV
- 0,941 nm
 - 1,63 nm
 - 3,51 nm
 - 4,15 nm
- 7) Sifat kristal ionik adalah
- titik lebur tinggi, larut dalam cairan polar
 - titik lebur tinggi, larut dalam cairan kovalen
 - titik lebur rendah, larut dalam cairan polar
 - titik lebur rendah, larut dalam cairan kovalen
- 8) Energi kohesi total ion-ion suatu kristal adalah $-7,96$ eV. Besar konstanta Madelung jika $n = 9$ dan $r_0 = 0,281 \text{ \AA}$ adalah
- 1,48
 - 1,57
 - 1,75
 - 1,84
- 9) Gaya repulsif dari larangan Pauli adalah
- sebanding dengan r^n
 - sebanding dengan r^{n-1}
 - berbanding terbalik dengan r^{n-1}
 - berbanding terbalik dengan r^n

- 10) Energi disosiasi terjadi pada saat
- A. energi Coulomb > energi repulsif
 - B. energi Coulomb < energi repulsif
 - C. energi Coulomb = energi repulsif
 - D. energi Coulomb \approx energi repulsif

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 3. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 3

Ikatan Kovalen Logam dan Hidrogen

A. IKATAN KOVALEN

Ikatan kovalen terjadi apabila dua atom atau lebih saling memberikan elektronnya dan akan membentuk elektron urunan (*sharing electron*). Kita telah mengetahui bahwa tiap-tiap elektron beredar mengelilingi intinya maka pada elektron urunan tersebut di atas beredar bersama-sama di antara atom-atom dan menghasilkan gaya tarikan antara elektron dengan atom induknya. Sebagai contoh molekul hidrogen H_2 , elektron-elektron urunannya menjadi milik kedua proton. Dalam hal ini gaya tarik yang dilakukan oleh elektron urunan dan proton lebih besar dari gaya tolak di antara elektron maupun proton. Akan tetapi bila kedua proton saling mendekat maka gaya tolak akan meningkat.

Pada kedudukan setimbang, energi total molekul H_2 adalah $-4,5$ eV. Berarti untuk memecahkan molekul tersebut menjadi dua atom diperlukan energi $4,5$ eV.

Di samping itu gaya tolak antara dua atom dapat muncul dari prinsip larangan Pauli. Dalam hal ini, suatu sistem tidak boleh dua elektron dalam tingkat kuantum yang sama sehingga beberapa elektron dipaksa ke tingkat energi yang lebih tinggi dari pada yang ditempatinya semula.

Akibatnya, sistem tersebut akan memiliki energi yang lebih besar daripada sebelumnya dan menjadi tidak stabil. Dengan kata lain elektron-elektron akan lari menjauh satu dengan yang lainnya untuk menghindari pembentukan sistem tunggal.

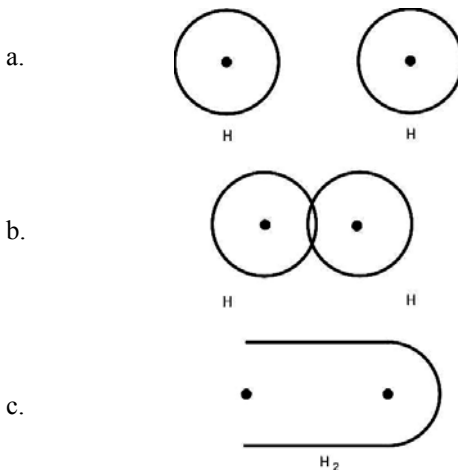
Keadaan fisis ikatan kovalen dalam zat padat sama seperti dalam molekul. Telah diuraikan di atas gaya tariknya berasal dari konsentrasi muatan elektron sepanjang garis yang menghubungkan inti berurutan, sedangkan gaya tolaknya berasal dari prinsip larangan Pauli.

Beberapa kristal yang memiliki ikatan kovalen adalah intan, silikon, germanium dan timah putih.

Tabel 1.4.
Zat Padat Kovalen

Krital	Jarak tetangga Terdekat (nm)	Energi (eV) kohesif
ZnS	0,235	6,32
C (intan)	0,154	7,37
Si	0,234	4,63
Ge	0,244	3,85
Sn	0,280	3,14
SiC	0,189	12,30

Ikatan kovalen hidrogen dapat dilukiskan seperti gambar 1. Penggabungan dua orbit atom ke dalam suatu orbit molekuler (dua elektron mengikat dua inti atom).



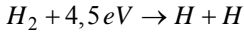
Gambar 1.6.

a) dua orbit atom terisolasi b) penggabungan dua elektron c) orbit molekuler H₂ Suatu ikatan kovalen biasanya ditunjukkan dengan memperlihatkan dua elektron di antara simbol atom-atom.



Dalam hal ini, simbol titik (dot) merupakan elektron dari atom sebelah kiri sedangkan simbol bintang merupakan elektron dari atom sebelah kanan.

Kesetimbangan antara gaya tarik dan repulsif dalam molekul hidrogen terjadi pada jarak $0,74 \text{ \AA}$ dan energi yang diperlukan untuk memisahkan $4,5 \text{ eV}$, jadi dapat dituliskan:



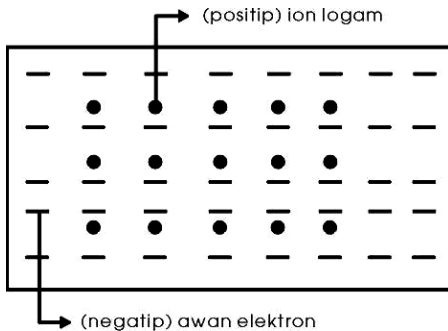
Sifat ikatan kovalen pada umumnya berupa gas dan cair. Selain itu, kristal kovalen cenderung keras dan mudah rusak serta memiliki titik lebur dan titik didih yang rendah.

B. IKATAN LOGAM

Elemen-elemen logam mempunyai energi ionisasi yang rendah dan dalam ikatan ini atom-atom dari elemen sejenis memberikan elektron valensinya membentuk suatu *awan elektron* atau *gas elektron* pada seluruh ruangan yang diduduki oleh atom-atom.

Dengan pemberian elektron valensinya maka atom-atom akan menjadi ion-ion positif.

Ion-ion ini mengikat bersama dengan gaya yang serupa dengan ikatan ionik. Ikatan antara ion-ion positif dengan elektron-elektron (negatif) disajikan seperti pada Gambar 1.7.



Gambar 1.7.
Ikatan Logam

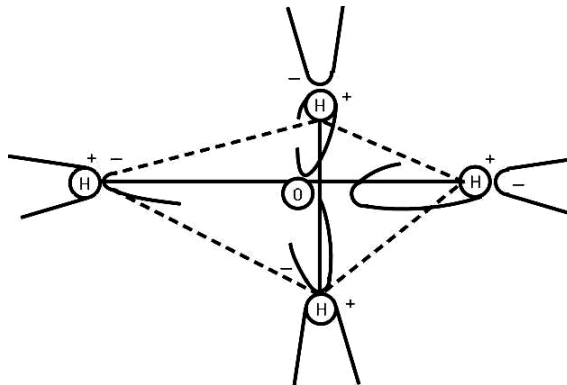
Tidak seperti kristal-kristal lainnya maka logam mudah dibentuk tanpa rusak atau pecah. Hal ini disebabkan adanya awan elektron yang berfungsi sebagai pelumas sehingga memudahkan atom-atom untuk bergeser.

Pemberian beda potensial pada ujung-ujung keping logam, akan menyebabkan gas elektron mengalir dari bagian negatif ke bagian positif dan membentuk arus listrik.

C. IKATAN HIDROGEN

Ikatan ini merupakan ikatan Van der Waals yang mengandung hidrogen. Dalam hal ini atom hidrogen yang hanya memiliki satu elektron cenderung menyerahkan muatan negatifnya pada atom induk molekul tersebut. Dengan demikian, pada atom hidrogen tinggal proton tanpa kulit, yang cenderung bersifat positif. Sedangkan pada atom induk menjadi bermuatan negatif.

Pada ikatan hidrogen molekul H_2O menggandeng empat molekul H_2O lainnya membentuk susunan tetrahedral. Dalam hal ini, atom hidrogen menempati dua puncak tetrahedral dan bersifat positif sedangkan dua puncak lainnya tidak berisi hidrogen dan bersifat negatif seperti Gambar 1.8.



Gambar 1.8.
Ikatan Hidrogen

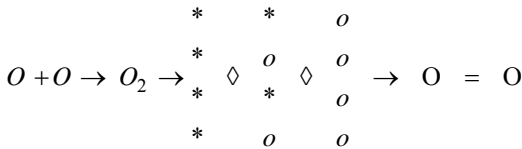
Struktur ini menyebabkan kristal es mempunyai pola heksagonal.

Contoh soal:

1. Tentukan jumlah pasangan elektron urunan pada ikatan kovalen O_2 ?

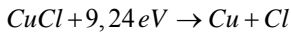
Jawab:

Oksigen mempunyai 6 elektron valensi (N) maka menurut kesetimbangan oktet, jumlah pasangan elektron urunan = $8 - N$
 $= 8 - 6$
 $= 2$ pasang



2. Berapa besar usaha yang diperlukan untuk memecahkan molekul $CuCl$ yang mempunyai energi kohesif 9,24 eV, pada jarak kesetimbangan 0,236 nm?

Jawab:



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Tentukan bilangan koordinasi ikatan kovalen untuk atom Cl?
- 2) Manakah di antara molekul-molekul ini (C, Al, Ge, Na, Si, ZnS, Cu) yang merupakan ikatan logam?
- 3) Jenis ikatan apakah yang dibentuk oleh gaya tarik antara inti-inti ion dengan hantaran elektron gas?
- 4) Manakah di antara molekul-molekul H_2 , HCl, F_2H , CH_4 yang merupakan ikatan hidrogen?
- 5) Manakah ikatan yang mempunyai konduktivitas listrik yang paling baik?

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Atom Cl mempunyai elektron valensi (N) = 7. Bilangan koordinasinya

$$= (8 - N)$$

$$= (8 - 7)$$

$$= 1.$$
- 2) Molekul yang merupakan ikatan logam adalah Al, Na, Cu.
- 3) Ikatan logam terbentuk oleh gaya tarik antara inti-inti ion dengan awan elektron atau elektron gas.
- 4) Molekul yang merupakan ikatan hidrogen adalah F₂H.
- 5) Ikatan logam mempunyai sifat konduktivitas listrik dan termal yang baik.

**RANGKUMAN**

Ikatan kovalen merupakan ikatan yang dibentuk oleh atom-atom yang saling memberikan elektron valensinya untuk membentuk elektron urunan.

Jumlah elektron yang diperlukan untuk mendapatkan kestabilan oktet adalah (8 – N). Hal ini disebut pula sebagai bilangan koordinasi dalam ikatan kovalen dengan N sebagai jumlah elektron valensi.

Ikatan logam merupakan ikatan yang dibentuk oleh ion-ion dengan awan elektron atau elektron gas.

Ikatan hidrogen merupakan ikatan dipol yang molekul-molekul di ujungnya berupa hidrogen.

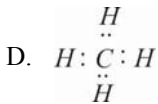
**TES FORMATIF 3**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Ikatan kovalen dibentuk oleh dua atom atau lebih yang saling memberikan
 - A. elektronnya membentuk awan elektron
 - B. elektronnya membentuk elektron urunan
 - C. elektron valensinya membentuk elektron urunan
 - D. elektron valensinya membentuk awan elektron

- 2) Keseimbangan antara gaya tarikan dan tolakan terjadi pada jarak 0,234 nm. Pada kedudukan energi kohesif molekul Si sebesar 4,63 eV. Untuk memecahkan molekul Si menjadi dua atom Si harus dilakukan usaha sebesar
- 2,31 eV
 - 4,63 eV
 - 6,94 eV
 - 9,25 eV

- 3) Ikatan kovalen CH_4 dapat dinyatakan
- $\text{H} : \text{H} : \text{C} : \text{H} : \text{H}$
 - $\text{H} : \text{C} : \text{H} : \text{H} : \text{H}$
 - $\text{C} : \text{H} : \text{H} : \text{H} : \text{H}$



- 4) Jumlah pasangan elektron urunan pada ikatan kovalen molekul N_2 adalah
- satu pasang
 - dua pasang
 - tiga pasang
 - empat pasang
- 5) Pada ikatan logam
- atom-atom sejenis maupun tidak sejenis memberikan elektronnya membentuk elektron urunan
 - ion-ion sejenis maupun tak sejenis memberikan elektronnya membentuk elektron urunan
 - atom-atom sejenis maupun tidak sejenis memberikan elektron valensinya membentuk awan elektron
 - ion-ion sejenis maupun tidak sejenis memberikan elektron valensinya membentuk awan elektron
- 6) Ikatan hidrogen merupakan suatu bentuk khusus dari ikatan
- ionik yang molekul-molekul di antaranya berupa atom hidrogen
 - logam yang molekul-molekul di antaranya berupa atom hidrogen
 - kovalen yang molekul-molekul di antaranya berupa atom hidrogen
 - Van der Walls yang molekul-molekul di antaranya berupa atom hidrogen

- 7) Sifat dari kristal logam adalah titik lebur
- A. tinggi, konduktivitas listrik dan termal tinggi
 - B. rendah, konduktivitas listrik dan termal tinggi
 - C. tinggi, konduktivitas listrik dan termal rendah
 - D. rendah, konduktivitas listrik dan termal rendah
- 8) Ikatan metalik terjadi karena tarikan ion positif dengan
- A. awan elektron melebihi penolakan bersama elektron-elektron gas
 - B. awan elektron lebih kecil penolakan bersama elektron-elektron gas
 - C. ion negatif melebihi penolakan bersama elektron-elektron gas
 - D. ion negatif lebih kecil penolakan bersama elektron-elektron
- 9) Jumlah pasangan elektron urunan pada ikatan kovalen O₂ adalah....
- A. satu pasang
 - B. dua pasang
 - C. tiga pasang
 - D. empat pasang
- 10) Pada ikatan kovalen SiCl masing-masing memberikan....
- A. satu elektron valensi
 - B. dua elektron valensi
 - C. tiga elektron valensi
 - D. empat elektron valensi

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 3 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 3, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) A. Energi kohesif merupakan energi yang diperlukan untuk memisahkan atom-atom dalam kristal agar menjadi atom-atom bebas.
- 2) B. Dapat dilihat persamaan (1.10).
- 3) B. Gunakan persamaan (1.16).
- 4) B. Gunakan persamaan (1.15) dan tabel (1.3).
- 5) A. Gunakan persamaan (1.15).
- 6) B. Gunakan persamaan untuk konstanta kisi $= R_0/\sigma$ dan Tabel (1.3).
- 7) B. Gunakan persamaan konstanta kisi $= R_0/\sigma$ untuk gas Xe, Kr, Ar, dan Ne serta tabel (1.3).
- 8) A. Gunakan persamaan (1.10) dan tabel (1.3) untuk gas Ar.
- 9) B. Gunakan persamaan (1.11) dan turunkan persamaannya terhadap variabel R ($\partial U/\partial R=0$) serta hitung nilai $= R_0/\sigma$ nya.
- 10) A. Gunakan persamaan (1.15) dan masukkan besaran-besaran yang telah diketahui.

Tes Formatif 2

- 1) A. Energi kisi merupakan energi yang harus diberikan pada kristal untuk memisahkan ion-ion komponennya menjadi ion-ion bebas.
- 2) B. Gunakan persamaan (1.23).
- 3) B. Gunakan persamaan (1.23) dan masukkan besaran R_0 , n , dan A serta $N_A = 1$.
- 4) A. Lihat persamaan (1.23).
- 5) B. Lihat harga konstanta Madelung.
- 6) A. Gunakan persamaan $V = e^2/(4\pi\epsilon_0 r_0)$. Dengan $V = 1,53$ eV, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.
- 7) A. Kristal ionik mempunyai sifat titik lebur tinggi dan mudah larut dalam cairan polar.
- 8) C. Gunakan persamaan (1.23) dengan $N_A = 1$.
- 9) D. Lihat grafik pada Gambar (1.3).
- 10) C. Energi disosiasi terjadi pada saat energi Coulomb sama dengan energi repulsif.

Tes Formatif 3

- 1) C. Ikatan kovalen dibentuk oleh dua atom atau lebih yang saling memberikan elektron valensinya membentuk elektron urunan.
- 2) B. Untuk memecah molekul Si diperlukan energi minimal sama dengan energi kohesinya.
- 3) D. Elektron valensi atom C berjumlah empat buah maka diperlukan 3 pasangan agar menjadi molekul N_2 .
- 4) C. Elektron valensi atom N berjumlah lima buah maka diperlukan 3 pasangan agar menjadi molekul N_2 .
- 5) C. Pada ikatan logam atom-atom sejenis maupun tidak sejenis memberikan elektron valensinya untuk membentuk awan elektron.
- 6) D. Ikatan hidrogen merupakan bentuk khusus dari ikatan Van der Waals yang molekul-molekul di antaranya berupa atom hidrogen.
- 7) A. Kristal logam mempunyai titik lebur tinggi, konduktivitas listrik dan termal yang tinggi pula.
- 8) A. Tarikan positif dan awan elektron melebihi penolakan bersama elektron-elektron gas.
- 9) B. Elektron valensi atom oksigen berjumlah enam buah maka dua buah elektronnya membentuk pasangan dengan atom oksigen lainnya.
- 10) A. Atom Cl hanya memerlukan satu elektron untuk stabil.

Daftar Pustaka

Kittel, C. (1986). *Introduction to Solid State Physics*. 6th ed. New York: John Wiley & Sons.

Nyoman Suwitra. (1989). *Pengantar Fisika Zat Padat*. Jakarta: DepDikBud. Dikti.

Pillai S.O. (1992). *Solid State Electronic Engineering Materials*. New Dalhi: Wiley Eastern Limited.