

A multi-story building with a central tower, surrounded by dense green trees and a hazy background. The building has a light-colored facade and multiple balconies. The surrounding area is lush with greenery, including palm trees and other tropical plants. In the background, there are more buildings and hills, partially obscured by a light mist or haze.

BAB III
IKATAN KRISTAL

MATERI : IKATAN KRISTAL

- 3.1. Ikatan Van der Waals-London.
 - 3.1.1. energi kohesi
 - 3.1.2. energi potensial Lenard-Jones.
 - 3.1.3. konstanta kisi
- 3.2. Ikatan ion
 - 3.2.1. energi kisi
 - 3.2.2. energi Madelung
 - 3.2.3. tetapan Madelung.
- 3.3. Ikatan kovalen
- 3.4. Ikatan logam
- 3.5. Ikatan Hidrogen.

INDIKATOR

Mahasiswa harus dapat :

- mendefinisikan energi kohesi.
- menghitung energi kohesi dengan menggunakan potensial Lenard-Jones.
- menghitung tetapan kisi pada keadaan setimbang.
- mendefinisikan energi kisi.
- menghitung energi kisi.
- menghitung energi Madelung.
- menghitung tetapan Madelung.
- menjelaskan ikatan kovalen.
- menjelaskan ikatan logam.
- menjelaskan ikatan hidrogen

Apa yang menyebabkan
Sebuah KRISTAL Tetap
BERSATU ??

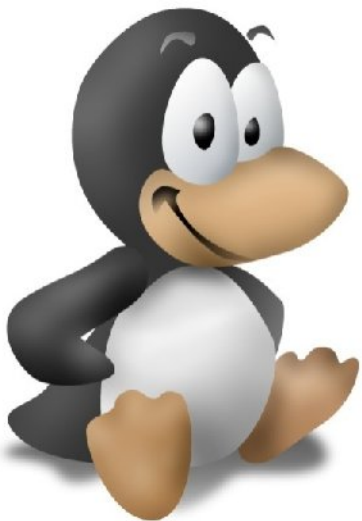
Apa yaaa....



Jawab: Gaya Elektrostatik tarik menarik antara muatan negatif elektron dan muatan positif inti atom.

menyebabkan

Energi Kohesif yaitu energi yang harus diberikan pada kristal untuk memisahkan komponen-komponennya menjadi atom-atom bebas yang netral pada keadaan diam dan pada jarak tak hingga



IKATAN KRISTAL

I.GAS INERT

II.IONIK

III.LOGAM

IV.HIDROGEN

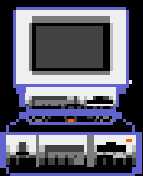
V.KOVALEN

VI.CAMPURAN

I. IKATAN KRISTAL GAS INERT

Gas-gas inert (He, Ne, Ar, dst) dapat membentuk kristal-kristal sederhana

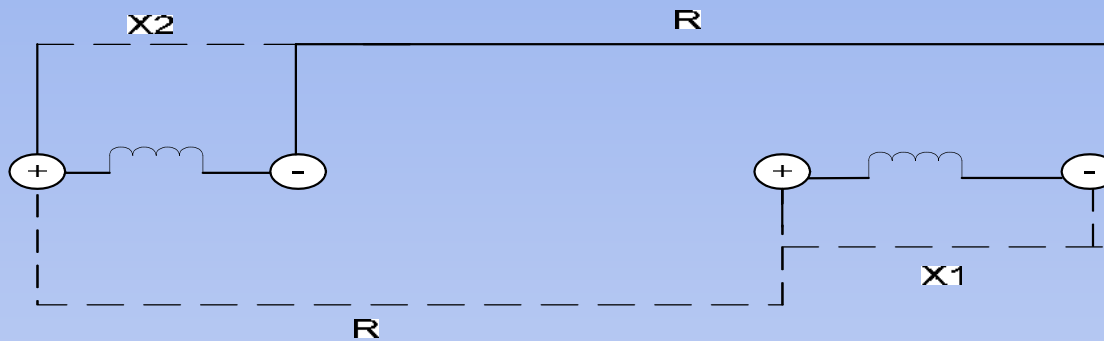
1. Interaksi Van der Waals-London.
2. Interaksi Refulsif
3. Konstanta Kesetimbangan kisi
4. Energi Kohesif



1. INTERAKSI VAN DER WAALS-LONDON

Osilator Harmonis I

Osilator Harmonis II



$$H_0 = \frac{P_1^2}{2m} + \frac{1}{2}C(X_1)^2 + \frac{P_2^2}{2m} + \frac{1}{2}C(X_2)^2$$

$$H_1 = \frac{e^2}{R} + \frac{e^2}{R + X_1 - X_2} - \frac{e^2}{R - X_2} - \frac{e^2}{R + X_1} \cong -2 \frac{e^2 X_1 X_2}{R^3}$$

$$\left. \begin{aligned} X_s &= \frac{1}{\sqrt{2}}(X_1 + X_2) \\ X_a &= \frac{1}{\sqrt{2}}(X_1 - X_2) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} X_1 &= \frac{1}{\sqrt{2}}(X_s + X_a) \\ X_2 &= \frac{1}{\sqrt{2}}(X_s - X_a) \end{aligned} \Rightarrow \dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} P_s &= \frac{1}{\sqrt{2}}(P_1 + P_2) \\ P_a &= \frac{1}{\sqrt{2}}(P_1 - P_2) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} P_1 &= \frac{1}{\sqrt{2}}(P_s + P_a) \\ P_2 &= \frac{1}{\sqrt{2}}(P_s - P_a) \end{aligned} \Rightarrow \dots (2)$$

$$H = H_0 + H_1$$

$$H = \frac{P_1^2}{2m} + \frac{1}{2}CX_1^2 + \frac{P_2^2}{2m} + \frac{1}{2}CX_2^2 - 2 \frac{e^2 X_1 X_2}{R^3}$$

$$H = \frac{P_s^2}{2m} + \frac{1}{2} \left(C - 2 \frac{e^2}{R^3} \right) X_s^2 + \frac{P_a^2}{2m} + \frac{1}{2} \left(C + 2 \frac{e^2}{R^3} \right) X_a^2$$

$$\omega_s = \sqrt{\frac{(C - 2 \frac{e^2}{R^3})}{m}}$$

$$\omega_a = \sqrt{\frac{(C + 2 \frac{e^2}{R^3})}{m}}$$

$$\omega_{sa} = \left(\frac{C}{m} \right)^{1/2} \left(1 \mp \frac{2e^2}{CR^3} \right)^{1/2} = \omega_0 \left[1 \mp \frac{1}{2} \left(\frac{2e^2}{CR^3} \right) \right] - \frac{1}{8} \left(\frac{2e^2}{CR^3} \right)^2 + \dots$$

dengan

$$H_0 = \hbar \omega_0 = 2 \frac{1}{2} \hbar \omega_0$$

$$\left[1 \pm X \right]^{1/2} = \left(1 \pm \frac{X}{2} - \frac{1}{8} X^2 + \dots \right)$$

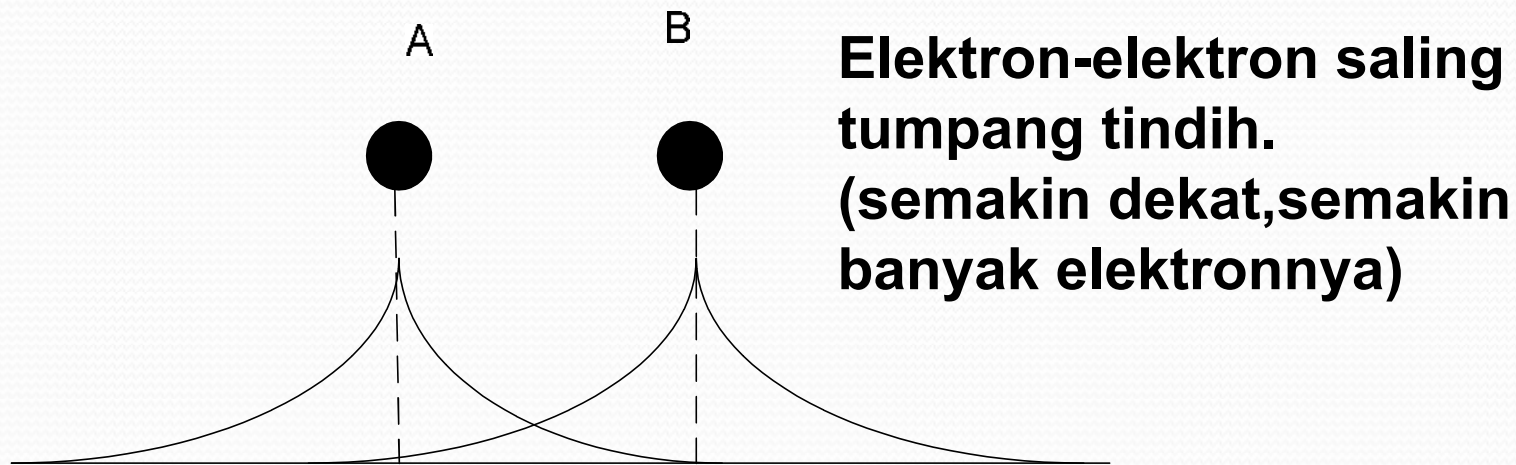
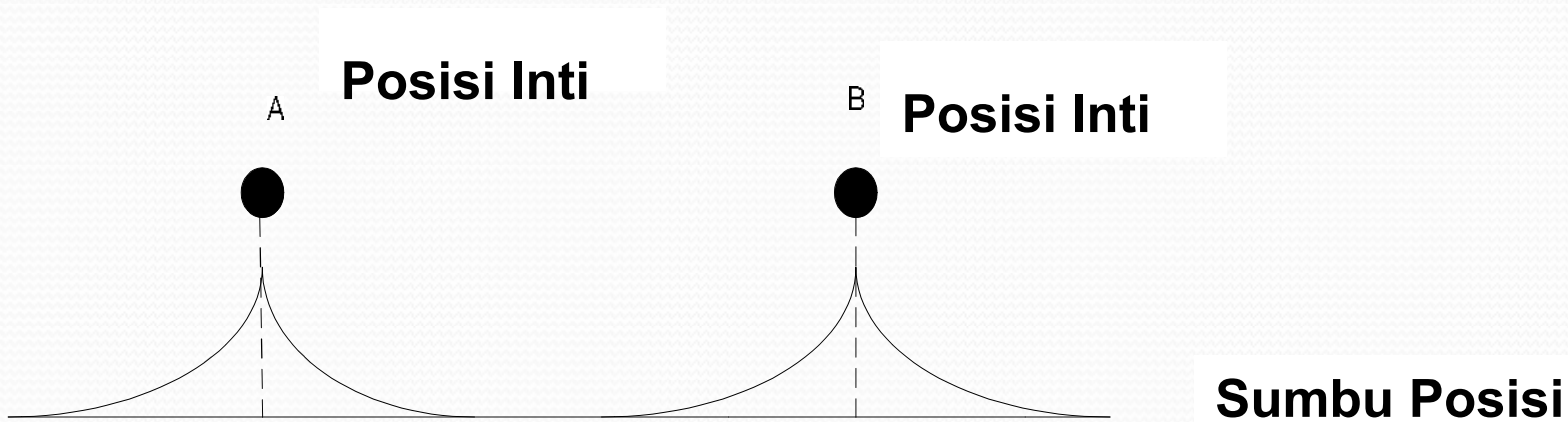
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{m}}$$

$$T = 0K = \frac{1}{2} \hbar (\omega_s + \omega_a)$$

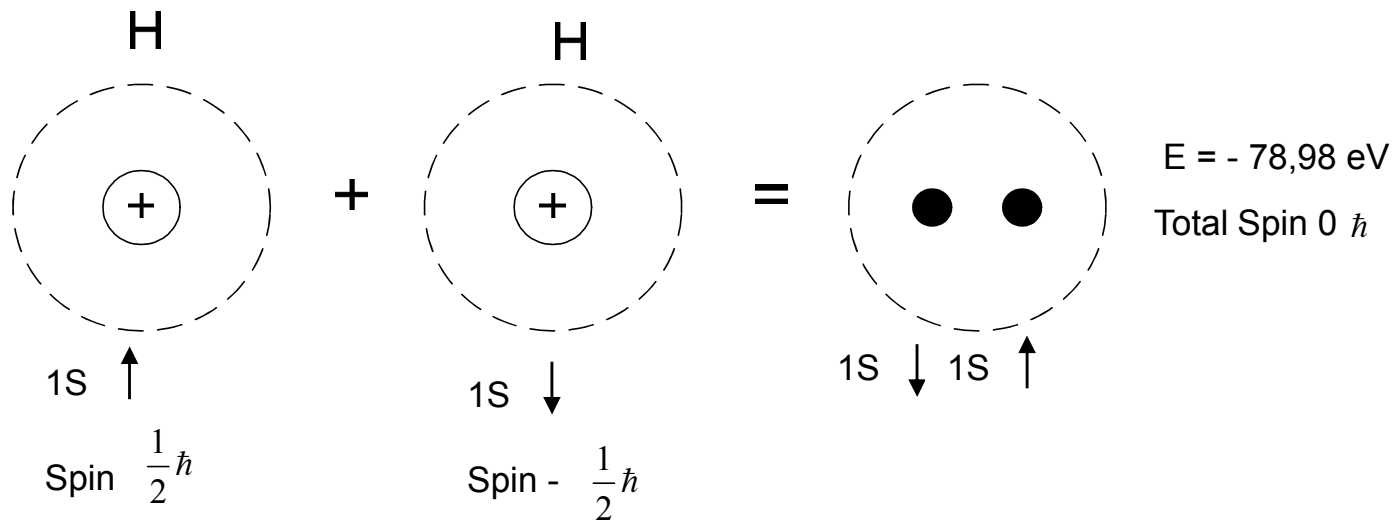
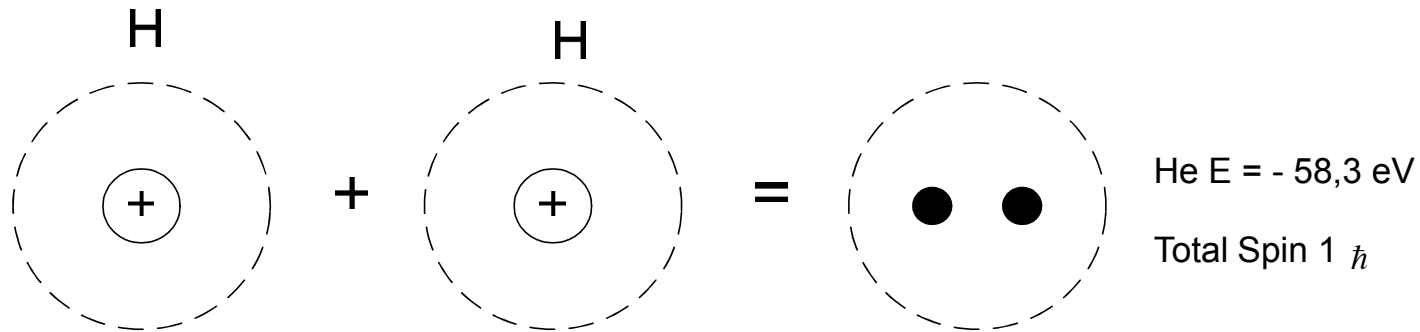
$$\Delta U = -\frac{A}{R^6} \approx A = \frac{\hbar \omega_0}{8} \left(\frac{2e^2}{C} \right)^2$$

$$\Delta U = U_{akhir} - U_0 = -\hbar \omega_0 \left[\frac{1}{8} \left(\frac{2e^2}{CR^3} \right)^2 \right]$$

$$\Delta U = -\frac{A}{R^6} \approx A = \frac{\hbar\omega_0}{8} \left(\frac{2e^2}{C}\right)^2$$



2.GAYA REPULSIF



Energi dari interaksi tolak-menolak (tolak-menolak hanya terjadi pada atom-atom yang berdekatan)

$$U = \frac{B}{R^{12}}$$



$$w = 4 \epsilon \left\{ \left(\frac{\tau}{R} \right)^{12} - \left(\frac{\tau}{R} \right)^6 \right\}$$

$$A = 4 \epsilon \tau^6, B = 4 \epsilon \tau^{12}$$

Energi tolak-menolak Energi Tarik-menarik



$U, R =$ Energi Potensial Lennard - Jones



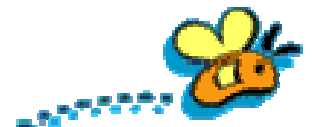
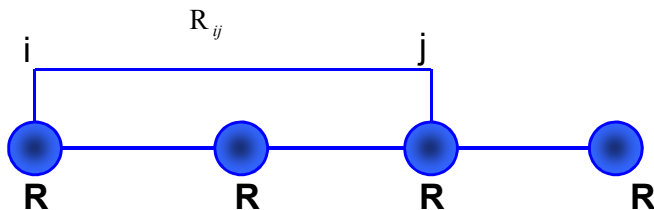
$$U = \lambda \exp \left(\frac{-R}{\rho} \right)$$



$$U (R) = \frac{1}{2} N (4 \epsilon) \left\{ \left(\frac{\tau}{R} \right)^{12} - \left(\frac{\tau}{R} \right)^6 \right\}$$



$$P_{ij} = \sum_j P_{ij} R$$



3. Konstanta kesetimbangan kisi

$$U(N) = \frac{1}{2} N \left[4 \epsilon \left[\sum_j \left(\frac{\tau}{\rho_{ij} R} \right)^{12} - \left(\sum_j \left(\frac{\tau}{\rho_{ij} R} \right)^6 \right) \right] \right] \dots (2)$$

Untuk FCC

$$\sum_{ij} \rho_{ij}^{-12} = 12.13188; \sum_{ij} \rho_{ij}^{-6} = 14,45392$$

Untuk hCP

$$\sum_{ij} \rho_{ij}^{-12} = 12.13229; \sum_{ij} \rho_{ij}^{-6} = 14,45481$$


Untuk keadaan equilibrium: $R = R_0$

$$\frac{dU_t(R)}{dR} = 0$$



$$\frac{dU_t(R)}{dR} = -2N \epsilon \left[(12)(12,13) \left(\frac{\tau^{12}}{R_0^{13}} \right) - (6)(14,45) \left(\frac{\tau^6}{R_0^7} \right) \right]$$




$$\left(\frac{\tau}{R_0}\right)^6 = \frac{14,45}{24,26} \rightarrow \left(\frac{\tau}{R_0}\right) = \frac{1}{1,09} \rightarrow R = R_0$$


$$\frac{R_0}{\tau} = 1,09 \Rightarrow \text{Untuk keadaan equilibriu m}$$

R_0 = jarak terdekat



4. ENERGI KOHESIF

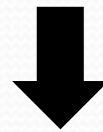
Energi Kohesi pada 0 K

$$U_t(R) = 2N \in \left[(12,13) \left(\frac{\tau}{R_0} \right)^{12} - (14,45) \left(\frac{\tau}{R_0} \right)^6 \right]$$

$$\frac{R_0}{\tau} = 1,09$$



$$U_t(R_0) 2N \in \left[(12,13)(1,09)^{-12} - (14,45)(1,09)^{-6} \right]$$



$$(2,15)(4N \in) \Rightarrow \text{Energi Kohesi pada 0 K}$$



II. IKATAN KRISTAL IONIK

Interaksi antar atom i (atom acuan) dengan atom-atom j yang lain (ij) biasa dinyatakan dengan energi interaksi $\equiv U_i$

$$U_i = \sum U_{ij}$$

$$U_{ij} = \lambda e^{\frac{-R}{\rho}} \pm \frac{q^2}{R_{ij}}$$

Energi tolak menolak hanya terjadi antar ion acuan dengan ion tetangga terdekat

$$R_{ij} = \rho_{ij} R \quad \longrightarrow \quad \text{Untuk interaksi tolak-menolak}$$

Jarak antara dua ion yang berdekatan.

$$R_{ij} = R$$

$$U_{ij} = \lambda e^{\frac{-R}{\rho}} - \frac{q^2}{R}$$

$$U_{total} = NU_i = N \sum_j U_{ij} = N \left[\sum_j \lambda e^{\frac{-R}{\rho}} - \sum_j \pm \frac{q^2}{\rho_{ij} R} \right]$$

$$U_{total} = NU_i = N \sum_j U_{ij}$$

$$U_i = Z \lambda e^{\frac{-R}{\rho}} - \sum_j \pm \frac{q^2}{\rho_{ij} R}$$

$$U_i = Z\lambda e^{\frac{-R}{\rho}} - \sum_j \pm \frac{q^2}{\rho_{ij} R}$$

Z adalah jumlah atom terdekat

$$\alpha = \sum_j \pm \frac{1}{\rho_{ij}}$$

$$U_i = Z\lambda e^{\frac{-R}{\rho}} - \sum_j \pm \frac{q^2}{\rho_{ij} R}$$

$$U_{total} = NU_i = N \left(Z\lambda e^{\frac{-R}{\rho}} - \alpha \frac{q^2}{R} \right)$$

Pada jarak seimbang (equilibrium) ($R = R_{ij}$) \rightarrow T=0 K

$$\frac{dU_{total}}{dR} = 0 = N \frac{dU_i}{dR} \rightarrow 0 = N \left(-\frac{Z\lambda}{\rho} e^{\frac{-R}{\rho}} + \alpha \frac{q^2}{R^2} \right) \text{ dengan } R = R_0$$

$$R_0^2 e^{\frac{-R_0}{\rho}} = \frac{\alpha \rho q^2}{Z\lambda} \rightarrow Z\lambda e^{\frac{-R}{\rho}} = \frac{\alpha \rho q^2}{R_0^2}$$

Pada $T = 0$ K

$$U_{total} = NU_i = N \left(Z\lambda e^{\frac{-R}{\rho}} - \alpha \frac{q^2}{R} \right)$$

$$U_i = N \left(\frac{\alpha \rho q^2}{R_0^2} - \frac{\alpha q^2}{R_0} \right) = N \left(\frac{\alpha q^2}{R_0} \right) \left(\frac{\rho}{R_0} - 1 \right)$$

Nilai energi ionik:

$$U_i = 2 \ln(2) \frac{Nq^2}{R_0} \left(1 - \frac{\rho}{R_0} \right)$$



$T = 0$ K

$$\text{Energi Madelung} : -\frac{N\alpha q^2}{R_0}$$

Konstanta Madelung

$$\alpha = \sum_j \pm \frac{i}{\rho_{ij}}$$

$$R_{ij} = \rho_{ij} R \rightarrow \rho_{ij} = \frac{R_{ij}}{R}$$

$$\alpha = \sum_{ij} \pm \frac{R}{R_{ij}} \rightarrow \frac{\alpha}{R} = \sum_j \frac{1}{R_{ij}} \rightarrow \frac{\alpha}{R} = 2 \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{2R} + \frac{1}{3R} - \frac{1}{4R} + \dots \right)$$

$$\alpha = 2 \left(1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \dots \right)$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\ln 2}$

$$\ln(1+X) = \left(X - \frac{X^2}{2} + \frac{X^2}{3} - \frac{X^2}{4} + \frac{X^2}{5} - \dots \right)$$

$$\text{Untuk } x=2 \rightarrow \ln(2) = \left(1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \frac{1}{5} - \dots \right)$$

$$\alpha = 2 \ln(2)$$

$$U_i = 2 \ln(2) \frac{Nq^2}{R_0} \left(1 - \frac{\rho}{R_0} \right) \rightarrow T = 0 \text{ K}$$

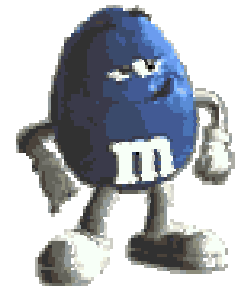
1. IKATAN KRISTAL KOVALEN

Pengertian

Karakteristik

Proses

Contoh



Pengertian

Ikatan kovalen terjadi karena adanya pemakaian sebuah elektron secara bersama-sama oleh kedua atom yang berikatan satu sama lain, misalnya ikatan antara dua buah atom hidrogen. Dalam pembentukan ikatan kovalen tidak berlaku pemindahan elektron.



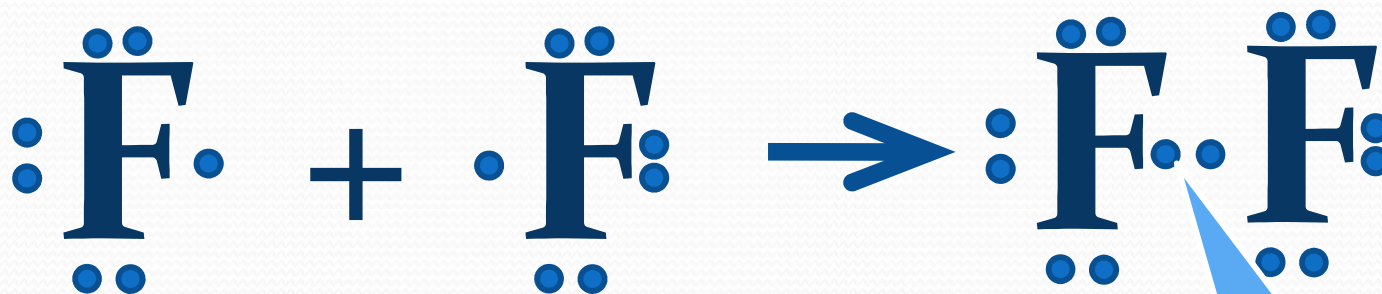
Karakteristik

- ★ **Memiliki energi ikat yang besar sehingga sangat keras dan tembus cahaya**
- ★ **Titik leleh tinggi**
- ★ **Tidak larut dalam zat cair biasa dan dalam hampir semua pelarut.**
- ★ **Energi kohesif 16 sampai 12 eV**



Proses

Fluorin (F)



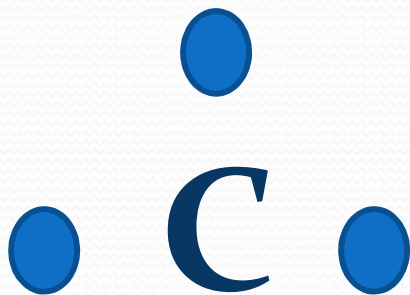
**Ikatan
kovalen**

Melukis struktur Lewis bagi ion karbonat CO_3^{2-}

1. Jumlahkan elektron valensi

1 atom karbon ($2s^2 2p^2$)	=	1 × 4 = 4
3 atom oksigen ($2s^2 2p^4$)	=	3 × 6 = 18
Bilangan cas ion (2^-)	=	+2-
Jumlah elektron valensi	=	24

2. Gambar struktur rangka



3. Letakkan pasangan elektron ikatan antara atom pusat dengan setiap atom penghujung.



Contoh

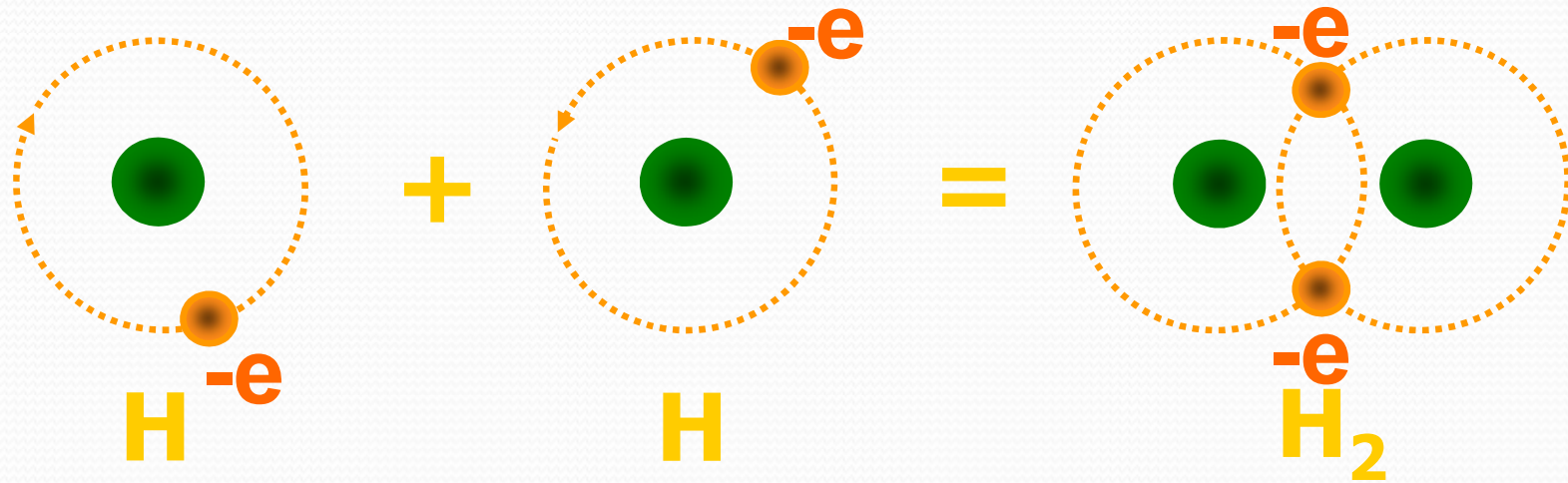
● Atom hidrogen (H)

● Karbon (Grafit)

● Intan

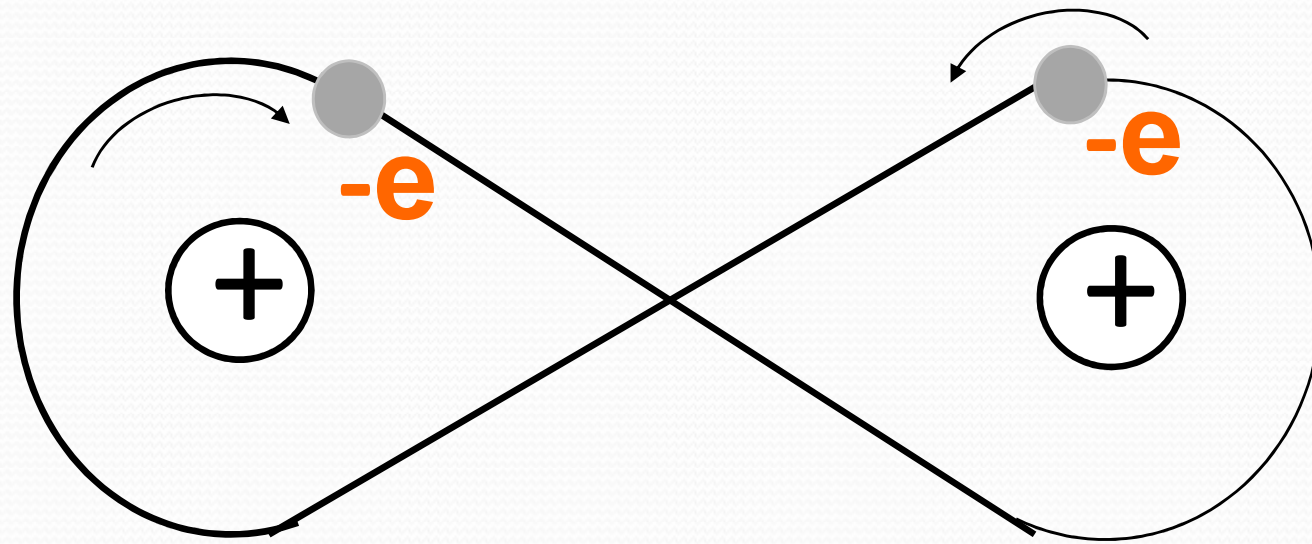
● Diamond

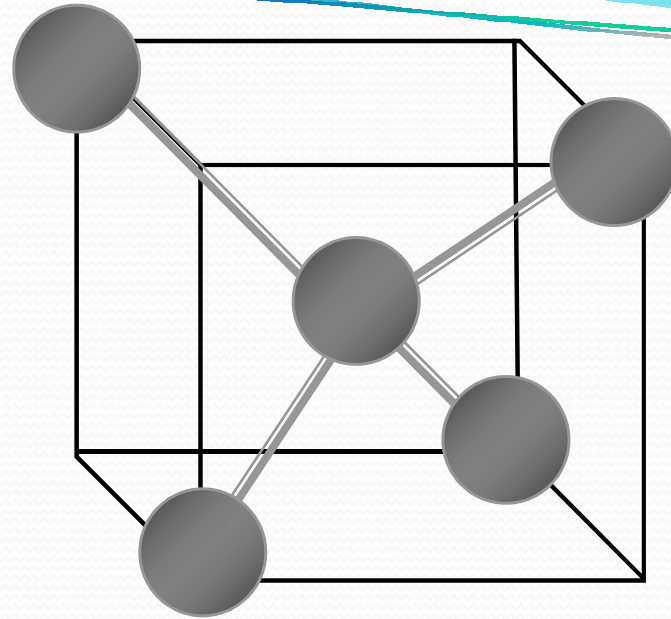
Contoh: ikatan kovalen pada atom hidrogen



Gambar Ikatan kovalen 2 atom H

Dua buah atom hidrogen yang berinteraksi akan membentuk sebuah ikatan kovalen sehingga kedua atom tersebut secara bersama-sama memiliki dua buah elektron dari keduanya (saling melengkapi). Kedua elektron itu akan mengorbit kedua inti hidrogen, sehingga setiap inti seolah-olah memiliki dua buah elektron.



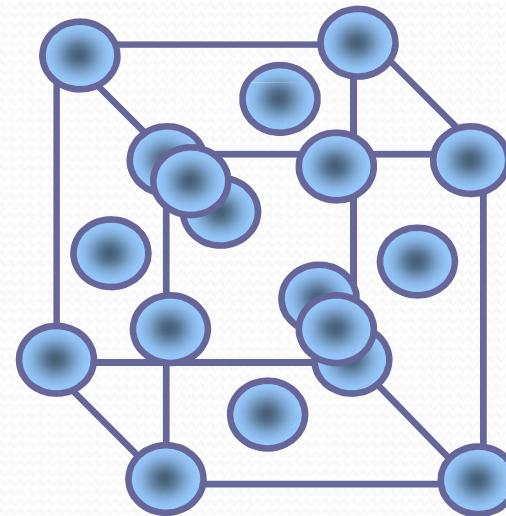
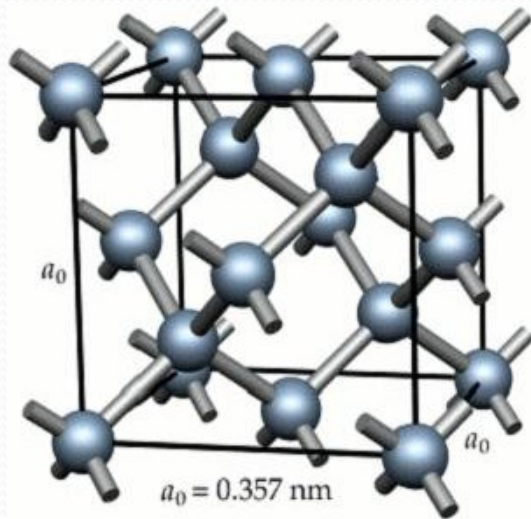


Struktur tetrahedral dari karbon

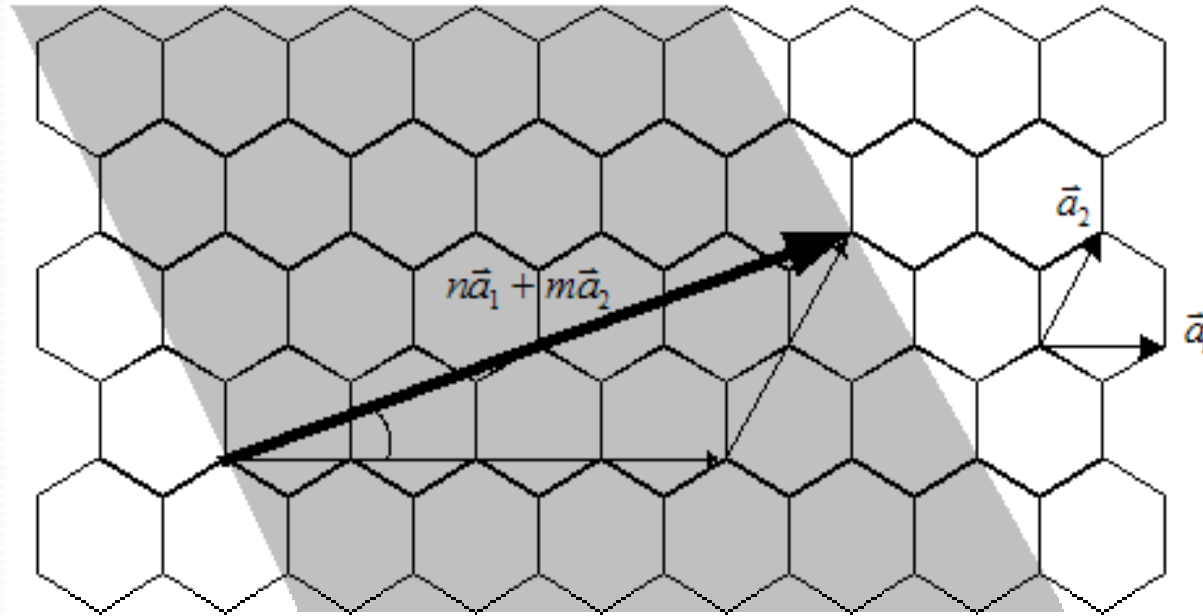
mengilustrasikan bagaimana struktur zat padat yang tersusun dari ikatan-ikatan seperti itu. Setiap karbon memiliki empat tetangga terdekat yang dengannya dapat membagi rata elektron-elektron dalam ikatan kovalen.

Kristal	Jarak antara Tetangga terdekat (nm)	Energi kohesif (eV)
ZnS	0.235	6.32
C (intan)	0.154	7037
Si	0.234	4.63
Ge	0.244	3.85
Sn	0.280	3.14
CuCl	0.236	9.24
GaSb	0.265	6.02
InAs	0.262	5.70
SiC	0.189	12.30

Gambar di bawah ini menunjukkan struktur kristal intan. Susunan limas merupakan akibat dari kemampuan masing-masing atom karbon untuk membentuk ikatan kovalen dengan empat atom lain.



Gambar struktur kristal intan



Gambar: Grafit yang terdiri dari lapisan karbon dalam deret heksagonal dengan masing-masing atom terikat dengan tiga atom lainnya. Masing-masing deret saling berikatan dengan gaya van der Waals lemah.

Manfaat grafit yang lunak yaitu:

- ★ Sebagai mata pensil untuk menulis
- ★ Karbon dapat diolah menjadi serat
- ★ Karbon digunakan dalam berbagai struktur yang ringan seperti raket badminton (Carbonex) atau raket tennis, stick golf, stick pancingan sampai pada struktur mobil Formula One yang sangat ringan, hingga Struktur pesawat tempur siluman dan satelit yang bersandar pada penggunaan karbon komposit.

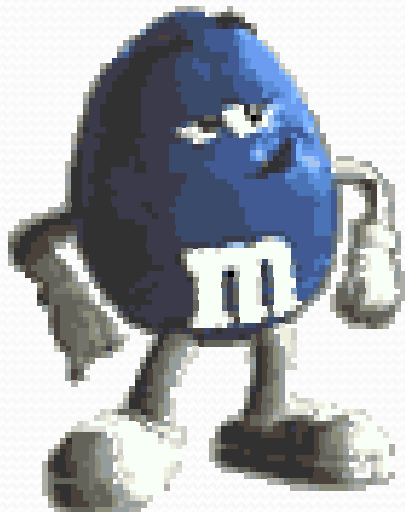
Diamond

Ciri dan karakteristik:

- ✦ Sebuah material permata putih yang memiliki sinar cemerlang dan menarik
- ✦ Material yang paling keras
- ✦ Suatu material yang memiliki elektron negatif
- ✦ Terkompresi paling sedikit
- ✦ Paling kaku
- ✦ Konduktor panas paling baik
- ✦ Memiliki koefisien ekspansi panas terkecil
- ✦ Inert terhadap asam dan alkali



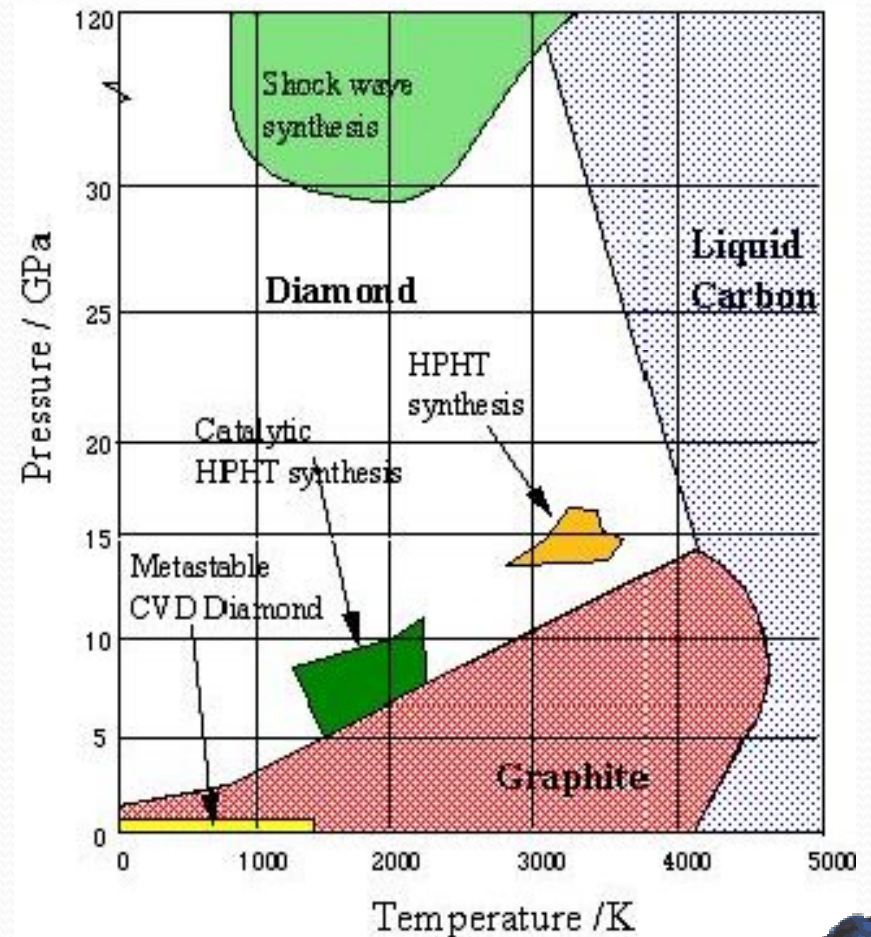
**Bagaimanakah sesungguhnya
pembentukan kristal ?**



Pembentukan kristal dipengaruhi oleh:

Proses thermal

Energi kinetik yang diterima oleh sekumpulan karbon



2. IKATAN LOGAM

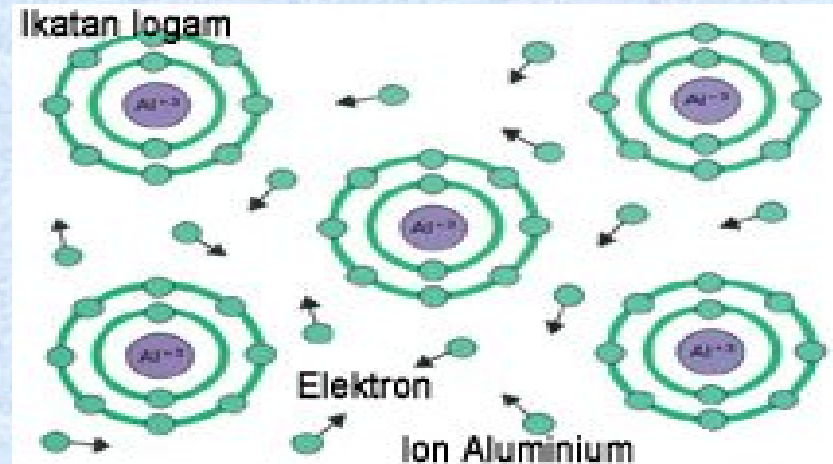
gaya tarik menarik elektrostatis antara ion positif logam dengan awan elektron



sejumlah besar atom bergabung dengan berbagi elektron masing-masing



Berkilauan,,menghantarkan kalor dan listrik dengan baik



setiap atom logam menyumbangkan elektron terluarnya pada kolam umum. "Lautan elektron" ini menjelaskan sifat kunci logam - kemampuannya menghantarkan listrik



3. IKATAN HIDROGEN

terjadi akibat daripada daya tarikan antara dua molekul yang mengandungi atom hidrogen yang terikat dengan atom yang sangat elektronegatif seperti atom N, O dan F.



Terjadi ketika sebuah molekul memiliki atom N, O, atau F yang mempunyai pasangan elektron bebas (lone pair electron)



Hidrogen dari molekul lain akan berinteraksi dengan pasangan elektron bebas ini membentuk suatu ikatan hidrogen

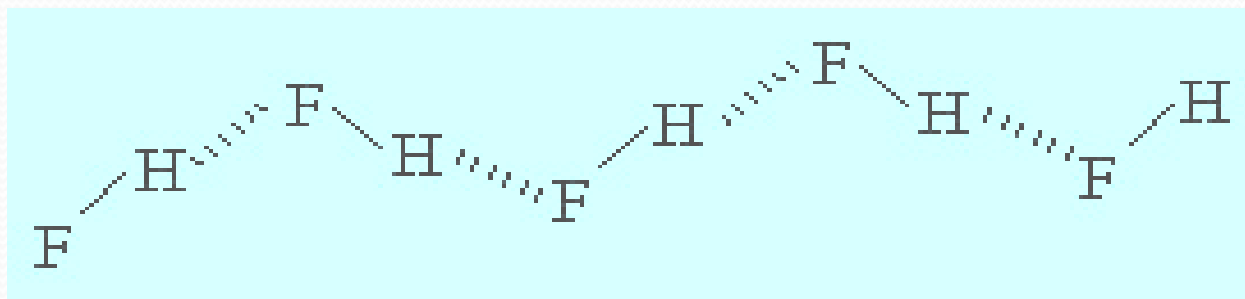
besar ikatan bervariasi mulai dari yang lemah (1-2 kJ mol⁻¹) hingga tinggi (>155 kJ mol⁻¹).



dipengaruhi oleh perbedaan elektronegativitas antara atom-atom dalam molekul tersebut



CONTOH



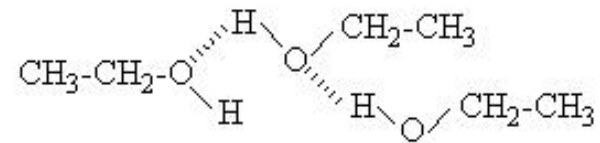
SIFAT-SIFAT



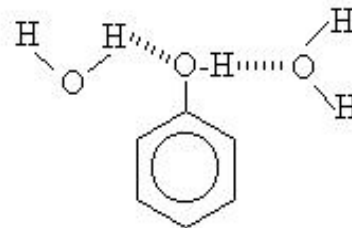
Titik lebur dan titik didih bahan molekul bertambah



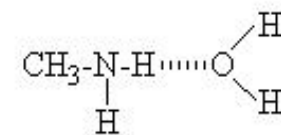
etanol dalam air



Keterlarutan dalam air lebih mudah apabila dalam sesuatu molekul itu terdapat ikatan hidrogen.



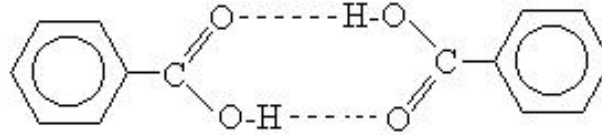
fenol dalam air



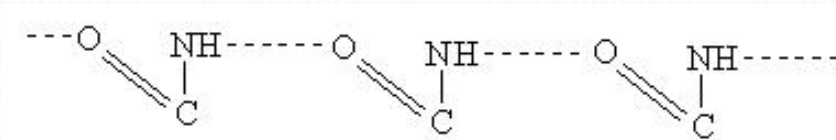
metilamina dalam air



Berlaku pemasangan molekul



Bentuk molekul protein menjadi lebih tegar dan sangat stabil.



4. Ikatan Campuran

A. Ionik-kovalen

Ikatan ionik yang sempurna dapat terbentuk pada suatu molekul bilamana atom-atom yang terlibat dapat membentuk ion-ion yang elektropositif dan elektronegatif kuat



logam-logam transisi (golongan B) memiliki energi ionisasi yang lebih besar daripada logam alkali, sehingga *perak-halida* (AgX) kurang ionik dibandingkan alkali-halida

$$\%keionikan = \left[\frac{100 \lambda^2}{1 + \lambda^2} \right]$$

λ parameter derajat keionikan

$$\Psi = \Psi_{kov} + \lambda \Psi_{ion}$$

Ψ = fungsi gelombang elektron terikat,

Ψ_{kov} = fungsi gelombang ikatan kovalen

Ψ_{ion} = fungsi gelombang ikatan ionik.

Tabel 1.2.

Persentase keionikan beberapa kristal biner (mempunyai dua jenis atom).

Kristal	% Ionik	Kristal	% Ionik
Si	0	GaAs	31
Ge	0	GaSb	26
SiC	18	AgCl	86
ZnO	62	AgBr	85
ZnS	62	AgI	77
ZnSe	63	ZnTe	61
MgO	84	MgS	79
InP	42	MgSe	79
InAS	36	InSb	32
NaCl	94	RbF	96

B. Kovalen – Van der Waals

Ikatan campuran antara kovalen dan Van der Waals banyak ditemukan *pada kristal molekul*.

Contoh:

Kristal Telurium (Te)



Ikatan kovalen antar atom-atom Te membentuk spiral

Grafit (C)



Ikatan kovalen terjadi antar atom-atom C pada satu lapis tertentu

Ikatan van der waals terjadi antar lapisan

