

BAB - III

IKATAN KRISTAL

Pertanyaan yang harus dijawab pada dalam bab 3 ini adalah : Apakah yang menyebabkan sebuah kristal tetap bersatu ?

Jawab : Interaksi yang paling besar bertanggung jawab untuk terjadi kohesi pada zat padat adalah interaksi tarik-menarik elektrostatik antara muatan-muatan positif pada inti dengan muatan-muatan negatif dari elektron.

Energi kohesi dari sebuah kristal didefinisikan sebagai energi yang harus diberikan kepada kristal untuk memisahkan komponen-komponennya menjadi atom-atom bebas yang netral pada keadaan diam dan pada jarak tak hingga.

Untuk kristal-kristal yang bersifat ionik, lazim digunakan istilah :

Energi Lattice, yang didefinisikan sebagai energi yang harus diberikan pada kristal untuk memisahkan komponen-komponennya menjadi ion-ion bebas pada keadaan diam dan pada jarak tak hingga.

1. Kristal-Kristal Gas Mulia (Gas Golongan VIII A)

Dalam bahasan ini, pertanyaan yang harus kita jawab adalah : Apakah penyebab terjadinya ikatan kristal pada gas mulia ? Jawabannya adalah Interaksi Van Der Waals atau Gaya London.

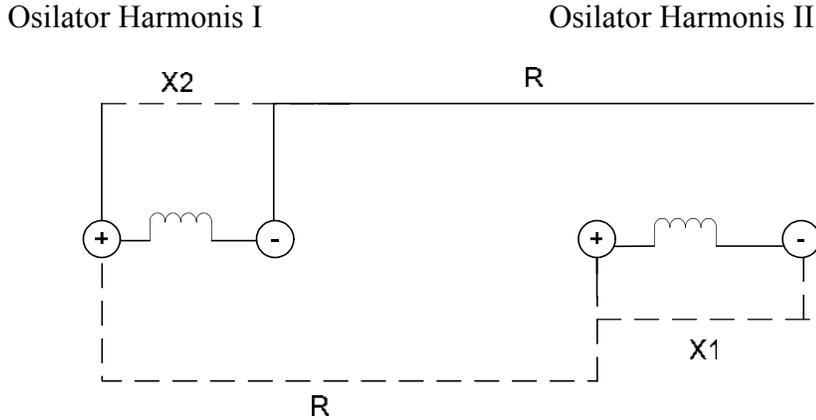
Interaksi Van Der Waals-London

Ikatan Van Der Waals biasanya terjadi pada golongan gas mulia VIII A yaitu Ne, Ar, Kr, Xe, Rn. Untuk bentuk-bentuk gas atom mulia, jika suhunya diturunkan maka perilakunya berubah dari gas menjadi padatan yang memiliki ikatan yang disebabkan oleh momen dipol magnet.

Catatan : Energi kisi terjadi bila gaya kompresi dengan gaya tegangan tali dalam keadaan setimbang sama dengan nol.

Osilator Harmonis

Perhatikan gambar di bawah ini:



- Muatan listrik atau pegas hanya merupakan model.
- Panjang x_1 dan x_2 tidak harus selalu sama, tapi boleh sama.
- Hamiltonian = Operator Energi total ($E_k + E_p$)

Hamiltonian Untuk Sistem Sebelum Berinteraksi

$$H_0 = \frac{P_1^2}{2m} + \frac{1}{2}CX_1^2 + \frac{P_2^2}{2m} + \frac{1}{2}CX_2^2 \quad , C = \text{konstanta pegas}$$

↓ ↓
Energi Energi
Kinetik Potensial

$|X_1|$ dan $|X_2| \ll R \longrightarrow |X_1|^2 = 0 \longrightarrow$ Pada saat sebelum berinteraksi belum ada interaksi momen dipol

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

Hamiltonian Total : $H = H_0 + H_1$ (1)

Kita ketahui:

$$\begin{aligned} X_s &= \frac{1}{\sqrt{2}}(X_1 + X_2) & , X_a &= \frac{1}{\sqrt{2}}(X_1 - X_2) \\ X_1 &= \frac{1}{\sqrt{2}}(X_s + X_a) & , X_2 &= \frac{1}{\sqrt{2}}(X_s - X_a) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{1}{\sqrt{2}}(P_1 + P_2) & , P_a &= \frac{1}{\sqrt{2}}(P_1 - P_2) \\ P_1 &= \frac{1}{\sqrt{2}}(P_s + P_a) & , P_2 &= \frac{1}{\sqrt{2}}(P_s - P_a) \end{aligned} \quad (3)$$

Dari persamaan (1) kita peroleh:

$$H = H_0 + H_1$$

$$H = \frac{P_1^2}{2m} + \frac{1}{2}CX_1^2 + \frac{P_2^2}{2m} + \frac{1}{2}CX_2^2 - 2\frac{e^2X_1X_2}{R^3} \quad (4)$$

Konstanta pegas 1 dan 2 dianggap sama karena atomnya sama / identik. Kemudian kita substitusikan persamaan (2) dan (3) ke persamaan (1), sehingga didapatkan:

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

Berdasarkan mekanika kuantum kita ketahui frekuensi sudut simetrik dan asimetrik adalah:

$$\omega_s = \sqrt{\frac{\left(C - 2\frac{e^2}{R^3}\right)}{m}} \quad , \quad \omega_a = \sqrt{\frac{\left(C + 2\frac{e^2}{R^3}\right)}{m}} \quad \text{karena } \omega_0 = \sqrt{\frac{C}{m}} \quad \text{maka:}$$

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



Diperoleh dari setiap osilasi $E_0 = \frac{1}{2} \hbar\omega_0$

Jika 2 osilator maka $2 \frac{1}{2} \hbar\omega_0 = \hbar\omega_0$

$$\left[\left(\frac{C}{m} \right)^2 \left(1 \mp \frac{2e^2}{CR^3} \right)^2 = U_0 \left[1 \mp \frac{1}{2} \left(2 \frac{e^2}{CR^3} \right) \right] - \frac{1}{8} \left(\frac{2e^2}{CR^3} \right)^2 + \dots \right]$$

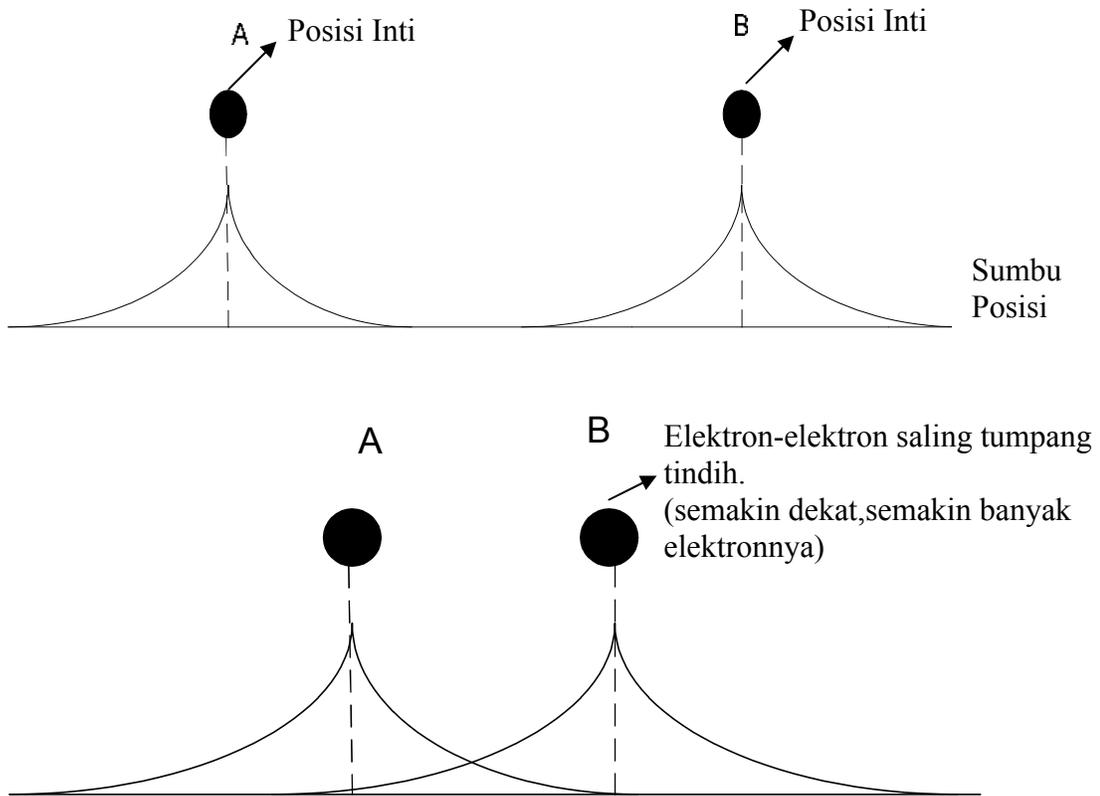
$$[1 \pm X]^{\frac{1}{2}} = \left(1 \pm \frac{X}{2} - \frac{1}{8} X^2 + \dots \right) \text{ (Deret Mac Laurin)}$$

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

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

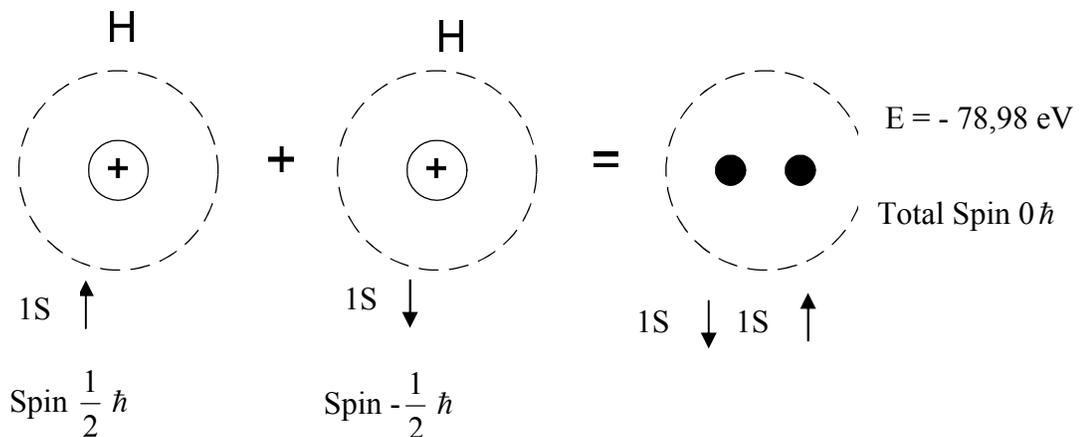
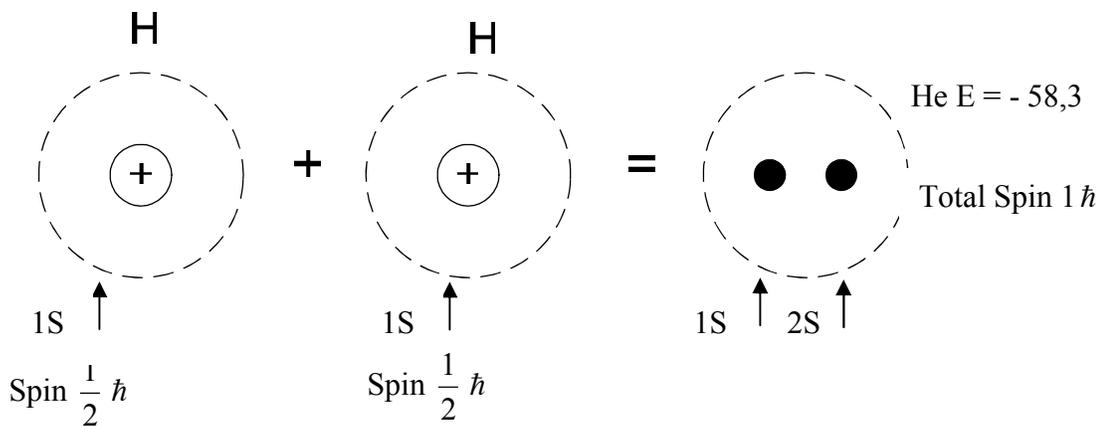
$$\Delta U = U_{akhir} - U_0 = -\hbar \omega_0 \left[\frac{1}{8} \left(\frac{2e^2}{CR^3} \right)^2 \right]$$

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



1.3 Gaya Repulsif

Jika dua buah atom secara bersama saling tumpang tindih sehingga mengubah energi elektrostatik sistem. Pada bagian yang sempit, energi yang tumpang tindih ini adalah repulsif, sedang pada bagian yang lebar mengakibatkan prinsip larangan Pauli. Pernyataan yang mendasari prinsip ini adalah dua buah elektron tidak boleh mempunyai seperangkat bilangan kuantum yang sama. Ketika distribusi muatan dari dua buah atom saling tumpang tindih, sehingga terjadi kecenderungan untuk elektron pada atom B untuk menempati bagian daerah dari atom A yang telah di tempati sebelumnya oleh elektron dari atom A dan begitu pula sebaliknya.



$$\Delta U = \frac{A}{R^6}$$

Energi dari interaksi tolak-menolak (tolak-menolak hanya terjadi pada atom-atom yang berdekatan) ditulis dengan persamaan :

$$U = \frac{B}{R^{12}} \longrightarrow \text{diperoleh secara empirik.....(1)}$$

B = konstanta = parameter empiris

$$\omega = 4 \epsilon \left\{ \left(\frac{\tau}{R} \right)^{12} - \left(\frac{\tau}{R} \right)^6 \right\} \dots\dots\dots A = 4 \epsilon \tau^6 ; B = 4 \epsilon \tau^{12}$$

\downarrow
Energi tolak-menolak

\downarrow
Energi Tarik-menarik

τ = parameter dari percobaan

Untuk gas mulia, nilai-nilai ϵ & τ dirangkum dalam tabel 4

Contoh lain dari persamaan (1) :

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

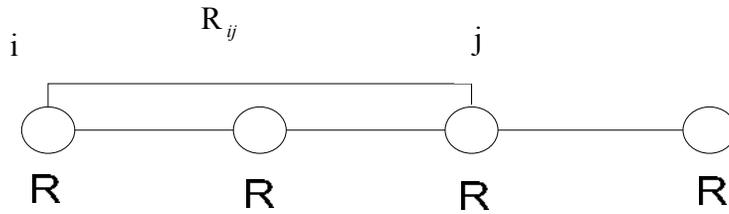
$U_i(R)$ = Energi Potensial Lennard-Jones

Jika ada N buah atom, maka $U_i(R)$:

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

$$P_{ij} = \sum_j P_{ij} \longrightarrow R_{ij} = \text{jarak dari atom i ke atom j}$$

R = Jarak dari atom tetangga yang terdekat



$$R_{11} = 1R$$

$$R_{12} = 2R$$

$$R_{13} = 3R$$

$$R_{ij} = \sum_j \rho_{ij} R$$

Konstanta Kestimbangan Kisi

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

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 : $R = R_0$

$$\frac{dU_t(R)}{dR} = 0 ; F : \text{ gaya antar 2 atom}$$

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

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

$$\frac{R_0}{\tau} = 1,09 \longrightarrow \text{Untuk keadaan equilibrium}$$

R_0 = jarak terdekat

Untuk :	N_e	A_r	K_r	X_2
	1,14	1,11	1,10	1,09

Energi Kohesi pada 0 K

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

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

$$\begin{aligned} U_i(R_0) &= 2N \epsilon \left[(12,13)(1,09)^{-12} - (14,45)(1,09)^{-6} \right] \\ &= (2,15)(4N \epsilon) \longrightarrow \text{Energi Kohesi pada 0 K} \end{aligned}$$

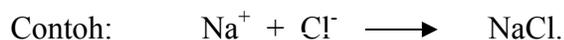
2. IKATAN IONIK

Ikatan ionik terbentuk dari ion positif dan negatif yaitu kation (+) dan anion (-), Hal ini sesuai dengan Hukum Coulomb. Ikatan ionik dihasilkan dari gaya elektrostatis dari muatan ion yang berbeda, sehingga gaya yang timbul dalam ikatannya sangat kuat yang salah satu sifat dari ikatan ionik ini adalah membentuk padatan atau kristal. Sehingga dapat dikatakan bahwa kristal ionik dibentuk dari ion-ion yang berikatan secara ionik.

Dua struktur kristal yang sama ditemukan mempunyai ikatan ionik, seperti Natrium Klorida dan Cesium Chloride.

Untuk sebagian besar unsur, proses pelepasan atau penambatan elektron adalah proses endotermik (memerlukan energi). Ini berarti bahwa bentuk ion adalah kurang stabil dibandingkan atom yang tak bermuatan.

Senyawa yang memiliki derajat paling tinggi dalam ikatan ionik adalah yang terbentuk oleh reaksi antara unsur alkali dengan halogen.



Keduanya memiliki perbedaan elektronegativitas yang besar, sehingga pasangan elektron yang membentuk ikatan lebih banyak tertarik oleh atom Cl.

Makin besar perbedaan elektronegatifitasnya makin besar pula karakter ioniknya. Namun ada pengecualian untuk F dan Cs, F memiliki elektronegatifitas paling kuat, sedang Cs memiliki elektronegatifitas paling lemah, sehingga ikatannya tidak sepenuhnya ionik. Bagaimanapun juga ikatan kovalen murni ada dalam molekul yang tersusun oleh molekul yang sama (H_2 , Cl_2 , C-C) atau molekul yang tersusun dari atom yg memiliki elektronegatifitas yang hampir sama, contoh: C-H.

Dalam bentuk padat, struktur ionik seperti NaCl, setiap Na^+ dikelilingi oleh 6 Cl pada jarak yang sama, setiap Cl^- dikelilingi oleh 6 Na^+ juga pada jarak yang sama, yang menunjukkan bahwa setiap Na^+ ditarik oleh 6 Cl^- dengan kekuatan yang sama, setiap Cl^- juga ditarik oleh 6 Na^+ dengan kekuatan yang sama. Bentuk pada ini hanya larut dalam pelarut polar (air) yang dapat memutus ikatan ionik dengan sifat polaritasnya dan membentuk ion hidrat (ion yang diseliputi dengan mantel air).

Energi Elektrostatik \equiv Energi Madelung

Energi Elektrostatik merupakan penyumbang utama kepada energi ikat untuk kristal ionik. Interaksi antar atom i (atom acuan) dengan atom-atom j yang lain (ij) biasa dinyatakan dengan energi interaksi $\equiv U_i$

$$U_i = \sum_j U_{ij} \longrightarrow U_{ij} : \text{interaksi atom } i \text{ dengan atom } j$$

U_i = Jumlah antara interaksi Coulomb dengan interaksi tolak-menolak

$$U_{ij} = \lambda e^{\frac{-R_{ij}}{\rho}} \pm \frac{q^2}{R_{ij}} \quad ; R_{ij} : \text{jarak antar atom-atom } i \text{ dengan atom } j$$

Misalkan jumlah molekul : N buah, maka jumlah ion 2N

Energi tolak-menolak hanya terjadi antar ion acuan dengan ion tetangga terdekat saja; dan $R_{ij} = \rho_{ij} R$

Jarak antara dua ion yang berdekatan.

$R_{ij} = R \longrightarrow$ untuk interaksi tolak-menolak.

$$U_{ij} = \lambda e^{\frac{-R}{\rho}} - \frac{q^2}{R} \quad (\text{atom terdekat})$$

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

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

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

Z adalah jumlah atom terdekat

$$\alpha = \sum_j \frac{\pm}{\rho_{ij}} \quad \text{adalah konstanta Madelung}$$

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

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

Pada jarak seimbang (equilibrium) ($R=R_0$) pada $T = 0$ K

$$\frac{dU_{total}}{dR} = 0 = N \frac{dU_i}{dR}$$

$$N \left(-\frac{Z\lambda}{\rho} e^{\frac{-R}{\rho}} + \alpha \frac{q^2}{R^2} \right) \quad R = R_0$$

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

Pada $T = 0$ K

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

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

$$\text{Konstanta Madelung : } \alpha = \sum_j \pm \frac{i}{\rho_{ij}} \quad (\text{untuk 1-D})$$

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

$$\rho_{ij} = \frac{R_{ij}}{R} \longrightarrow \alpha = \sum_{ij} \frac{R}{R_{ij}}$$

$$\frac{\alpha}{R} = \sum_j \frac{\alpha}{R_{ij}}$$

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

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

$\ln 2$

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

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

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

Nilai Energi Ikat Ionik:

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

3. KRISTAL KOVALEN

Pada prinsipnya semua ikatan kimia berasal dari gaya tarik menarik inti (nucleus) yang bermuatan + terhadap e yang bermuatan negatif, Gaya tarik menarik ini ditentukan oleh Hukum Coulomb.

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

Keterangan:

- F : Gaya tarik menarik atau tolak menolak
- Q1 dan Q2 : Muatan partikel 1 dan 2
- r : Jarak antara partikel 1 dan 2
- k : Konstanta dielektrik

Bila Q1 dan Q2 bermuatan sama, maka keduanya akan tolak-menolak, sebaliknya bila Q1 dan Q2 bermuatan berlawanan akan terjadi tarik menarik.

Ikatan kovalen terbentuk karena hampir semua unsur memiliki ruang kosong dan orbit luar berenergi rendah. Makin rendah energi suatu orbit, makin tinggi stabilitas elektron yang ada di dalamnya. Semua unsur non-logam memiliki paling tidak 4 dari 8 elektron yang mungkin berada pada orbit luar, kecuali: H, He, dan B.

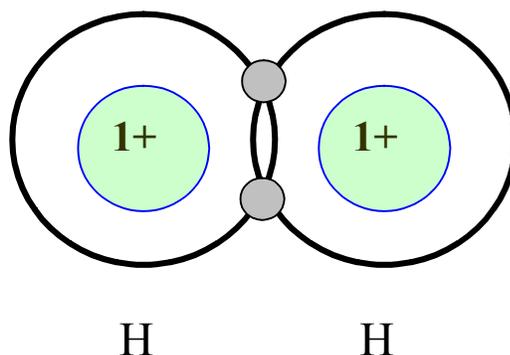
Perbedaan unsur non-logam dengan logam adalah tidak memiliki kelebihan ruang kosong yang berenergi rendah untuk penyebaran elektron yang akan disharing. Elektron yang dapat disharing dalam unsur non-logam tidak mengalami “*delocalised*” seperti pada ikatan metalik (ikatan logam). Jadi elektron ini tinggal terlokalisir dalam kedekatan antar dua inti (ikatan kovalen).

Dalam bahasan lainnya, ikatan kovalen diartikan sebagai ikatan antara dua atom dengan pemakaian bersama sepasang elektron atau lebih. Ikatan kovalen terjadi karena kecenderungan atom-atom untuk mencapai konfigurasi elektron atom gas mulia (bilangan oktet).

Contoh: pembentukan H_2 dari 2 atom H. Pada molekul H_2 ada 3 gaya yang bekerja yaitu:

- Gaya tolak-menolak antara 2 inti
- Gaya tolak-menolak antara 2 elektron
- Gaya tarik-menarik antara inti dari satu atom dengan elektron dari atom yang lainnya. Besarnya gaya c ini lebih besar dari jumlah gaya a dan b.

Keterangan : Gaya $c > a$ dan b



Ikatan kovalen pada H_2 , 2 elektron disharing oleh 2 atom dan orbit dari 2 elektron itu juga disharing oleh 2 atom.

Ikatan kovalen merupakan gaya tarik-menarik yang terjadi ketika setiap atom memasok 1 elektron yang tidak berpasangan untuk dipasangkan dengan yang lain, dan ada satu ruang kosong untuk menerima elektron dari atom yang lain, sehingga 2 elektron ditarik oleh kedua inti atom tersebut.

Valensi suatu atom adalah jumlah ikatan kovalen yang dapat terbentuk. Contoh: valensi H = 1, He = 0, F = 1, O = 2, Li = 1.

4. LOGAM

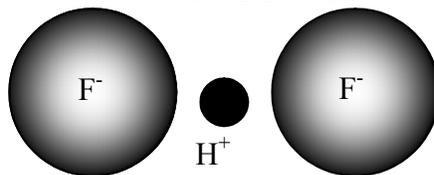
Dalam interaksi antar atom logam, ikatan kimia dibentuk oleh gaya tarik menarik-menarik elektron oleh inti (nucleus) yang berbeda. Asalnya elektron milik satu atom yang ditarik oleh inti atom tetangganya yang bermuatan +, dan elektron ini disharing dengan gaya tarik yang sama oleh inti lain yang mengitarinya. Akibat jumlah elektron valensi yang rendah dan terdapat jumlah ruang kosong yang besar, maka e^- memiliki banyak tempat untuk berpindah. Keadaan demikian menyebabkan e^- dapat berpindah secara bebas antar kation-kation tersebut. Elektron ini disebut “*delocalized electron*” dan ikatannya juga disebut “*delocalized bonding*”.

Elektron bebas dalam orbit ini bertindak sebagai perekat atau lem. Kation yang tinggal berdekatan satu sama lain saling tarik menarik dengan elektron sebagai semennya.

Pada umumnya unsur dalam sistem periodik adalah logam, atom logam dapat berikatan sambung menyambung kesegala arah sehingga dapat menjadi molekul yang besar, akibatnya ikatannya kuat dan menjadikan logam berbentuk padat

5. IKATAN HIDROGEN

Karena hidrogen hanya mempunyai satu elektron, maka hidrogen akan membentuk sebuah ikatan kovalen hanya dengan satu atom lainnya. Hal itu telah diketahui, sekalipun kondisi dari atom hidrogen yang belum pasti diikat dengan gaya yang cukup kuat oleh dua atom, dan itu merupakan pembentukan dari ikatan hidrogen diantara atom-atom tersebut, dengan energi ikat 0,1 eV. Hal tersebut dipastikan bahwa ikatan hidrogen memiliki karakter ion yang besar, keadaan dibentuk hanya antara atom-atom yang paling elektronegatif, terutama F, O, dan N.

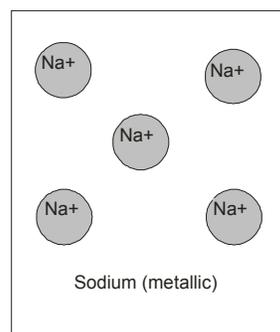
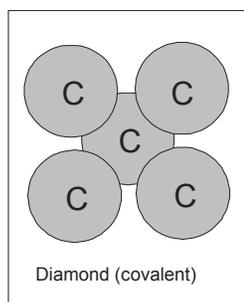
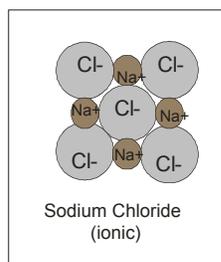
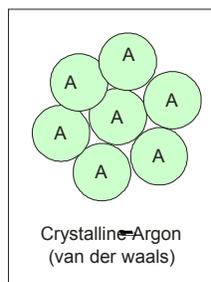


Gambar di atas merupakan gambar dari ion hidrogen difluorida HF_2^- yang distabilkan oleh sebuah ikatan hidrogen. Pada bentuk ikatan hidrogen yang kuat, atom hidrogen kehilangan elektronnya karena diberikan kepada atom atau molekul lainnya yang mempunyai proton bebas sehingga membentuk ikatan hidrogen.

Dari bermacam-macam ikatan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a). Senyawa dengan ikatan kovalen yang dominan, elektron dari ikatan berada pada atom yang membuat ikatan. Diantara molekul yang berbeda ada ikatan yang lemah yang disebut “*gaya van der Waals*”. Hal yang sama terjadi untuk senyawa dengan “*ikatan kovalen koordinat*”. Molekul yang berbeda membentuk satuan-satuan yang terpisah. Dalam molekul ini jarak antar atom dalam molekul lebih kecil dari jarak antara atom dan molekul di dekatnya.
- b). Senyawa dengan ikatan metalik dan ionik yang dominan, ikatan itu dibuat oleh elektron-elektron yang disharing. Dalam logam gaya tarik berasal dari “*delocalised electron*”, sedang dalam senyawa ionik berasal dari gaya tarik menarik antara ion positif dan negatif. Dalam senyawa ini, partikel-partikel bermuatan diposisikan pada jarak yang sama satu dengan lainnya, sehingga tidak ada kemungkinan untuk membedakan atau memisahkan molekul yang utuh (*discrete*). Dalam logam, setiap atom biasanya diposisikan pada jarak yang sama dari 6, 8 atau 12 atom lainnya yang menunjukkan bahwa ikatan dengan seluruh atom-atom yang berbeda ini memiliki kekuatan yang sama.

Dari keseluruhan materi yang telah disampaikan, berikut merupakan visualisasi dari ikatan-ikatan yang terdapat pada bahasan Ikatan Kristal ini.



DAFTAR PUSTAKA

Wiendartun. *Diktat Fisika Zat Padat FPMIPA UPI* .Bandung

Kittel, Charles. 1996. *Introduction to Solid State Physics*. Seventh Edition. New York:John Wiley & Sons, Inc.

<http://benito.staff.ugm.ac.id/IKATAN%20KIMIA%20BENITO.htm>
iel.ipb.ac.id/sac/2004/kimia_umum/BAB%204%20ikatan%20kimia.ppt

http://id.wikipedia.org/wiki/Ikatan_hidrogen

http://www.e-dukasi.net/modul_online/MO_71/kb2_4.htm

http://ms.wikipedia.org/wiki/Natrium_Klorida