

## Bab 8

# Molekul dan Material

*Jacqueline Bennett • SUNY Oneonta*

[www.cengage.com/chemistry/brown](http://www.cengage.com/chemistry/brown)

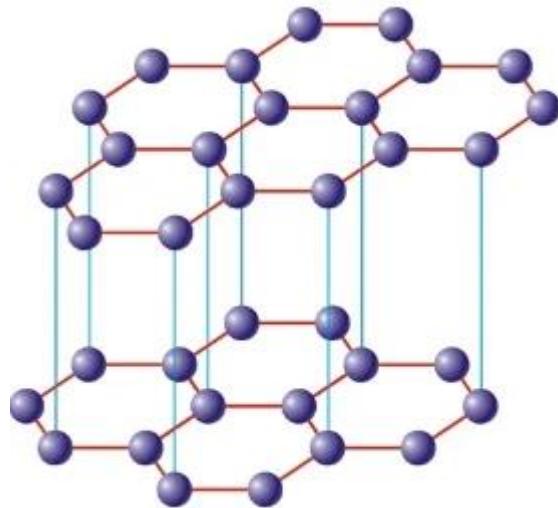
Copyright ©2019 Cengage Learning. All Rights Reserved. May not be scanned, copied or duplicated, or posted to a publicly accessible website, in whole or in part.

# Tujuan bab 8 (*outcomes*)

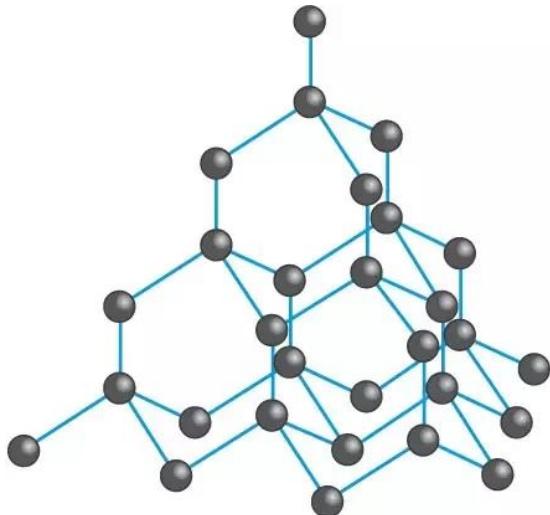
- Menjelaskan struktur grafit dan intan dan menjelaskan bagaimana sifat masing-masing zat muncul dari strukturnya
- Menjelaskan susunan atom dalam **kisi kristal kubus** dan menghitung **efisiensi pengepakan**
- Menggunakan **teori pita** untuk menjelaskan ikatan dalam padatan
- Menggambar diagram pita logam, isolator, dan semikonduktor (termasuk material **tipe-n** dan **tipe-p**)
- Mengidentifikasi material sebagai logam, isolator, atau semikonduktor dari diagram pita-nya
- Menjelaskan bagaimana sifat listrik logam, isolator, dan semikonduktor terkait dengan ikatan kimianya
- Identifikasi jenis-jenis **gaya antarmolekul** zat
- Menjelaskan hubungan antara gaya antarmolekul dan sifat-sifat seperti titik didih dan tekanan uap

# Struktur karbon

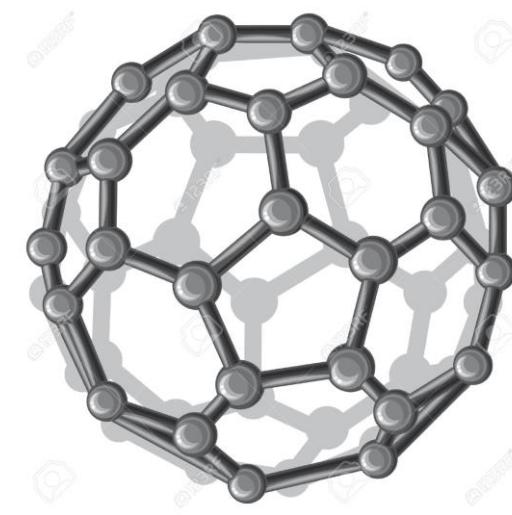
- Ada tiga bentuk unsur karbon: **grafit**, **intan**, dan **fulleren** (ditemukan pada 1985 dalam bentuk C<sub>60</sub>)



Struktur **grafit**  
(pensil, pelumas, dan  
bahan komposit)



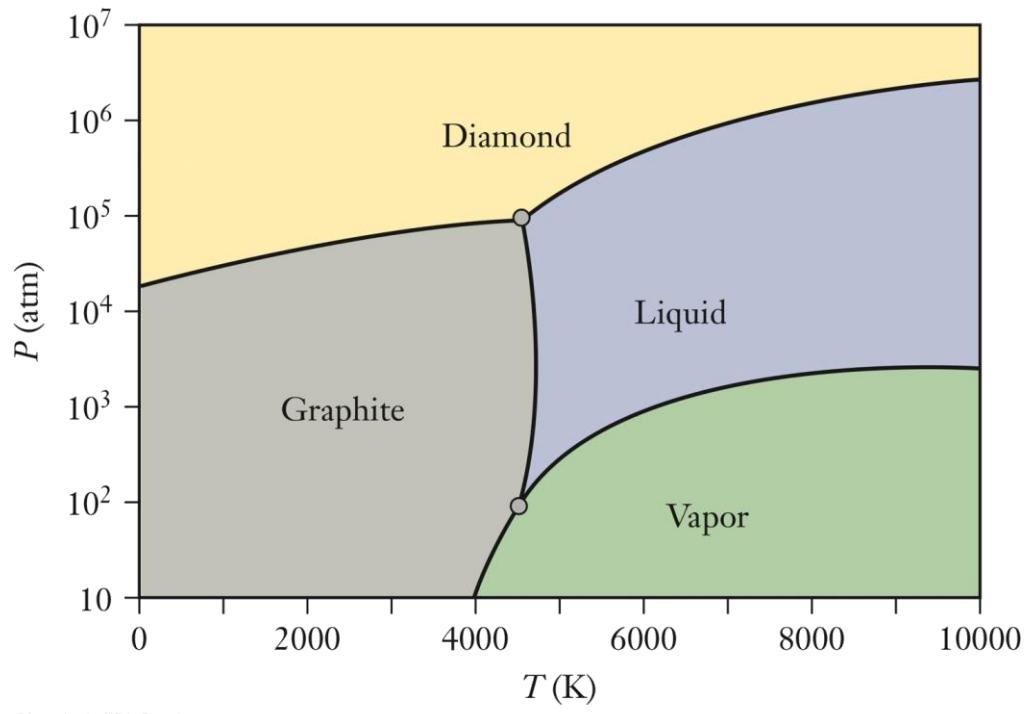
Struktur **intan**  
(mata bor dan perhiasan)



Struktur **fulleren** C<sub>60</sub>  
(aplikasi masih  
dieksplorasi)

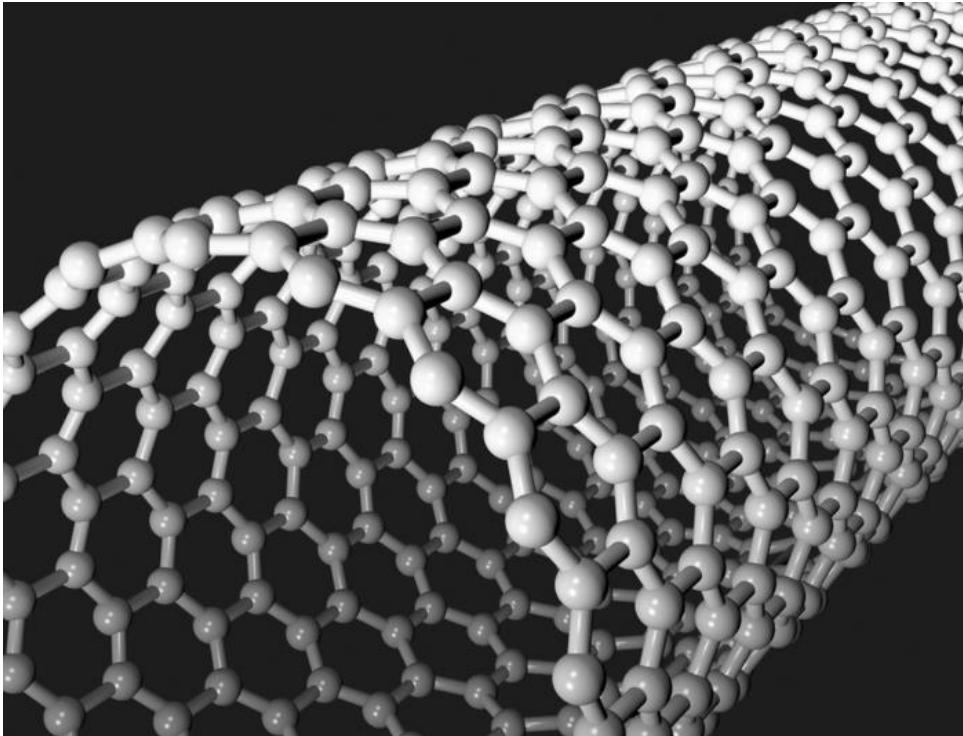
# Diagram fasa

- Diagram fasa adalah peta/ diagram yang menggambarkan keadaan/ fasa suatu unsur/ senyawa pada tekanan (P) dan temperatur (T) tertentu
- Keadaan unsur/ senyawa tersebut dapat berubah sesuai dengan perubahan P dan T
- Catatan: pada diagram ini tekanan dinyatakan dalam skala logaritmik



# **Nanotubes**

- *Nanotubes* adalah jenis fuleren yang mempunyai sifat yang sangat luar biasa
  - Tensile strength bahan ini jauh lebih tinggi dari baja
  - Nanotubes mengandung unsur logam di dalamnya sehingga dapat berfungsi sebagai kawat yang lebarnya dalam orde ukuran satu molekul
  - Bentuk karbon yang ditemukan paling mutakhir



# Diagram fasa

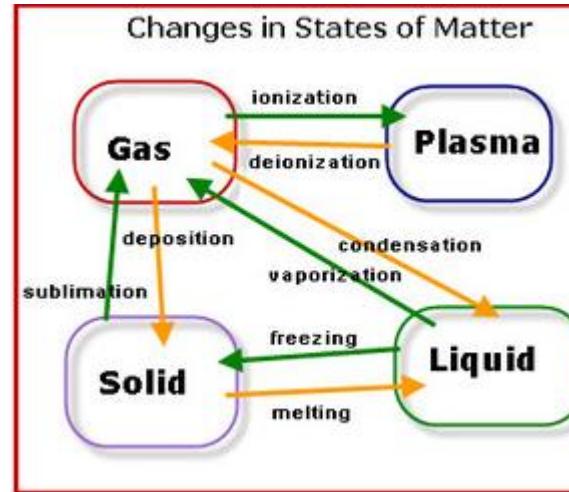


Diagram fase air

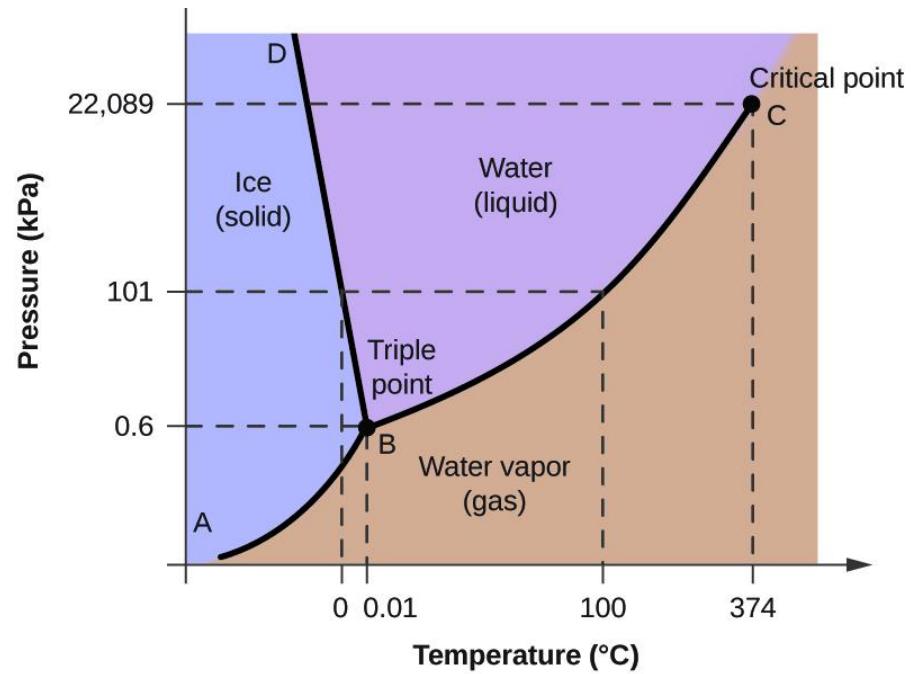
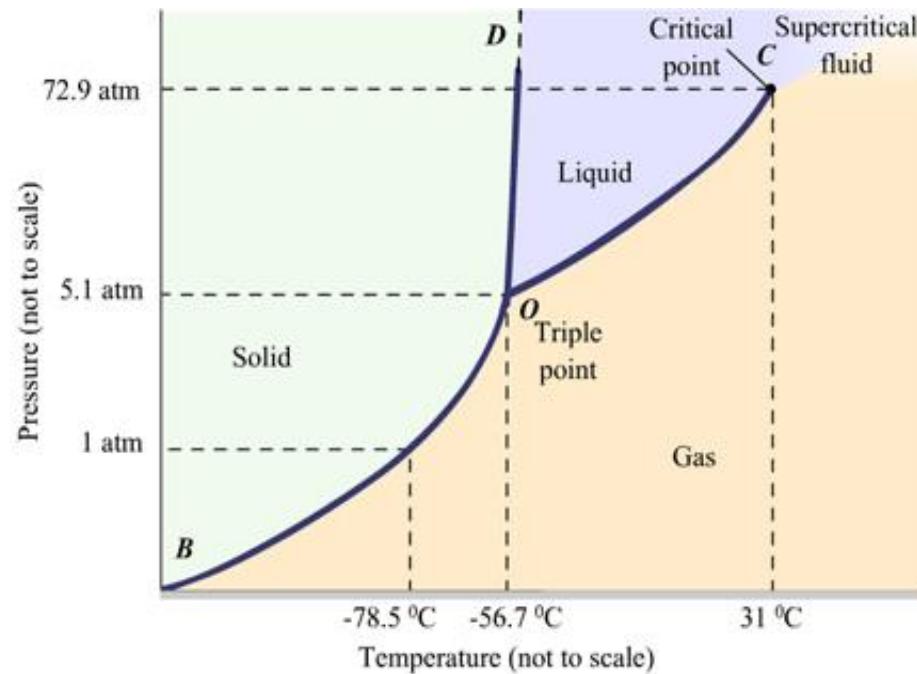


Diagram fase karbondioksida



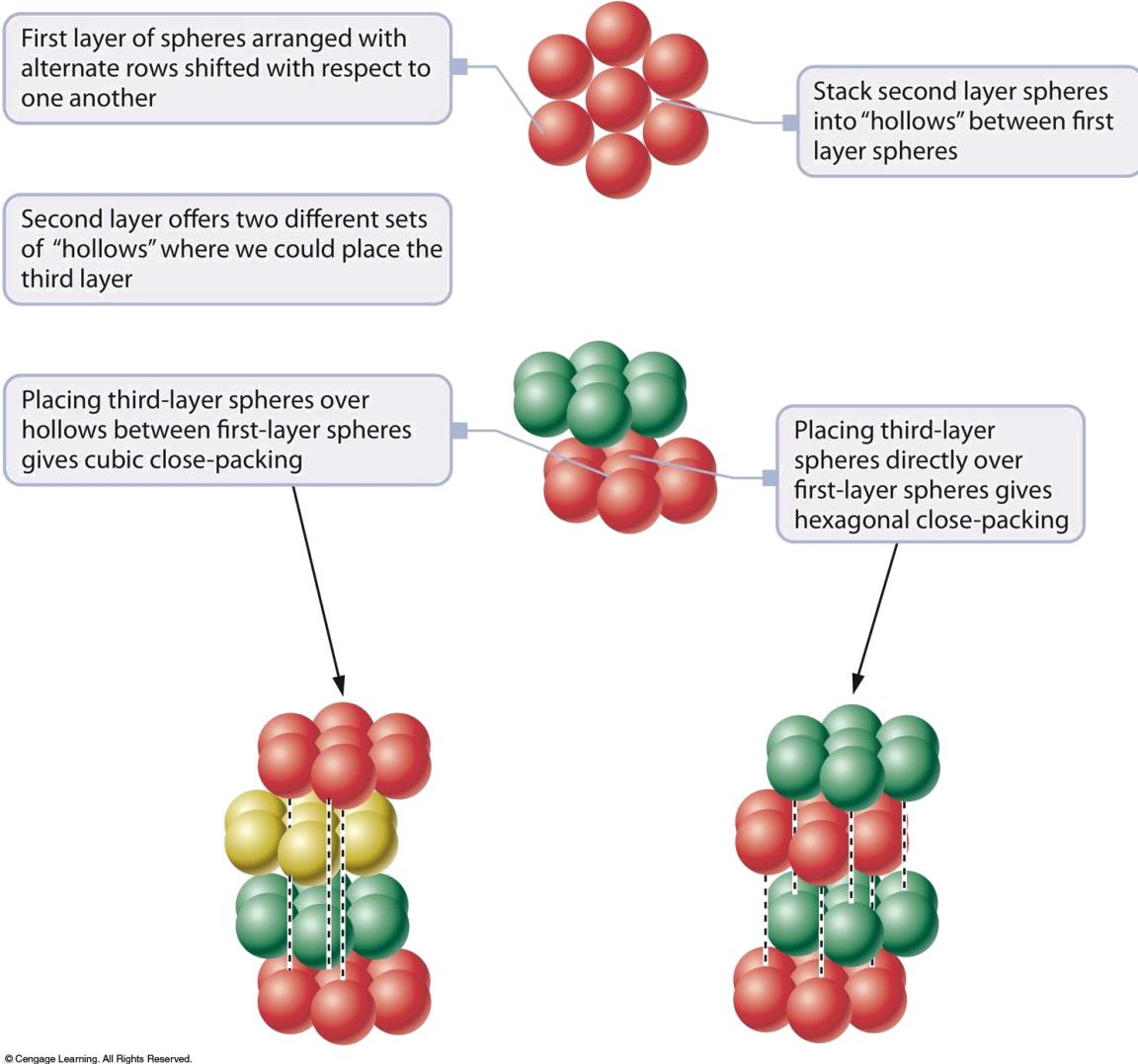
# Fasa terkondensasi - padatan

- Atom atau molekul menyusun dirinya dalam dua jenis padatan:
  - **Padatan kristalin**: Atom atau molekul yang geometrinya tersusun secara teratur dan berulang
  - **Padatan amorf**: Atom atau molekul yang susunannya acak
- *Packing efficiency* (= % ruang yang diisi oleh atom/molekul dalam padatan kristalin)
  - Makin tinggi *packing efficiency*, massa jenis padatan makin besar



- Penyusunan atom dalam padatan dimodelkan dengan kelereng
  - Jarak yang besar di deretan kelereng → packing efficiency = 78,5%
  - Jarak yang kecil di deretan kelereng → packing efficiency = 90,7 %

- 2 cara untuk meningkatkan *packing efficiency*
  - Lapisan atom yang ke 2 ditumpuk di atas lapisan ke 1 dengan menempati rongga dari lapisan ke 1 → packing efficiency 74 %
  - Struktur dengan *hexagonal close-packing (hcp)* bila tumpukan lapisan ke 3 tepat di atas atom pada lapisan ke 1
  - Struktur dengan *cubic close-packing (ccp)* bila tumpukan lapisan ke 3 tepat di atas rongga pada lapisan ke 1



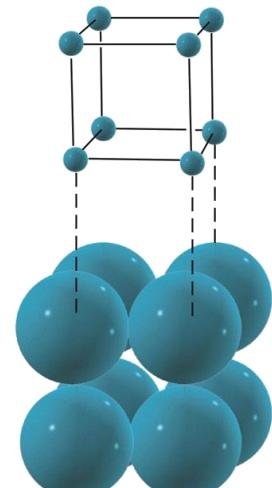
# Unit sel

- Unit sel adalah susunan atom yang terkecil yang menggambarkan susunan kristal atom

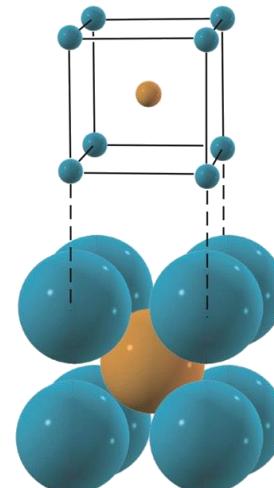
Untuk unit kristal **KUBUS**:

- 1) *simple cubic (sc)* – kubus sederhana
- 2) *body-centered cubic (bcc)* – kubus berpusat badan
- 3) *face-centered cubic (fcc)* – kubus berpusat muka

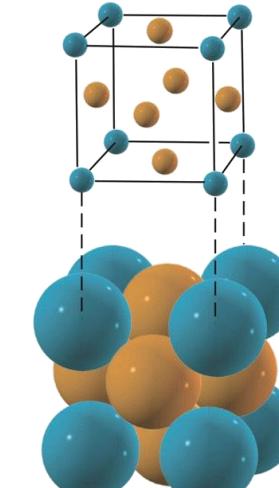
Simple cubic

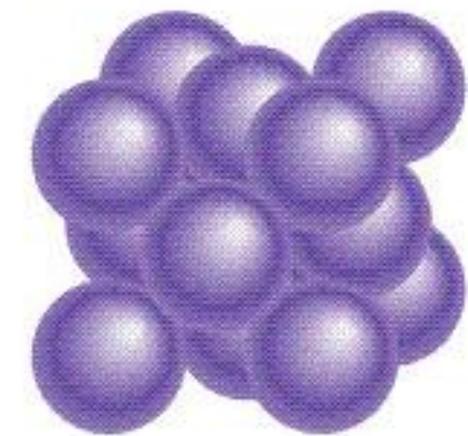
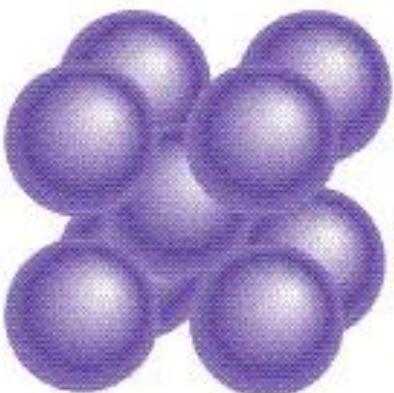
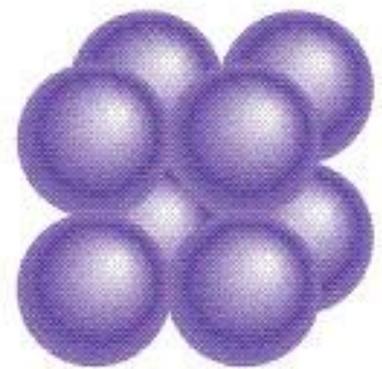
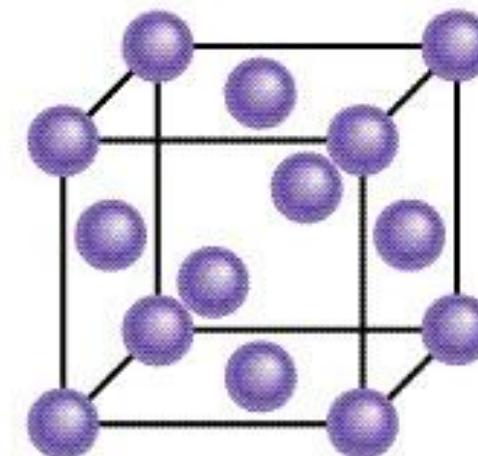
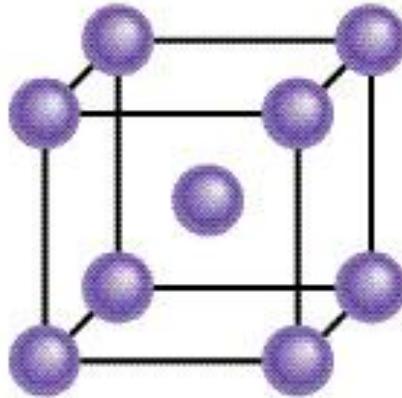
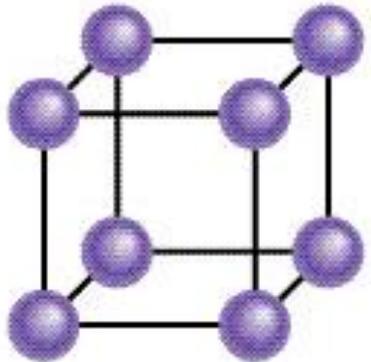


Body-centered cubic



Face-centered cubic





**Simple cubic**

1 atom/sel satuan  
 $(8 \times 1/8 = 1)$

**Body-centered cubic**

2 atom/sel satuan  
 $(8 \times 1/8 + 1 = 2)$

**Face-centered cubic**

4 atom/sel satuan  
 $(8 \times 1/8 + 6 \times 1/2 = 4)$

# 3 JENIS SEL SATUAN

- **Kubus sederhana**

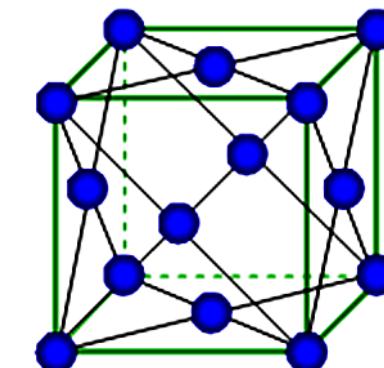
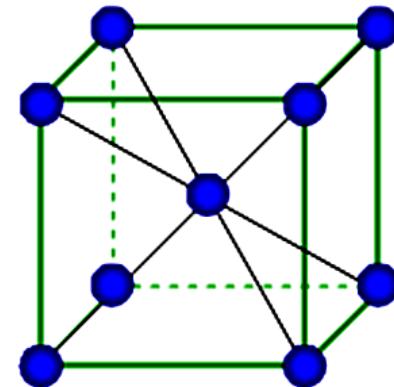
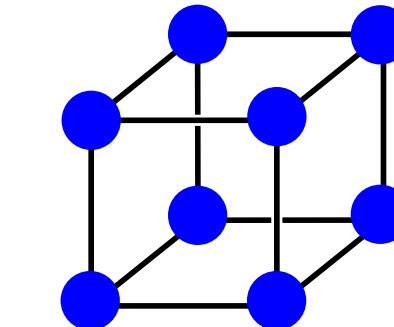
- Mempunyai 1 atom di tiap sudut
- Panjang sisi kubus:  $a = 2r$
- $r$  - jari2 atom atau ion

- **Kubus berpusat badan (BCC)**

- 1 atom di ujung dan 1 di tengah kubus
- Panjang sisi kubus  $a = \frac{4r}{\sqrt{3}}$

- **Kubus berpusat muka (FCC)**

- 1 atom di pusat sisi kubus dan 1 atom di tiap sudut
- Panjang sisi kubus  $a = 2\sqrt{2}r$



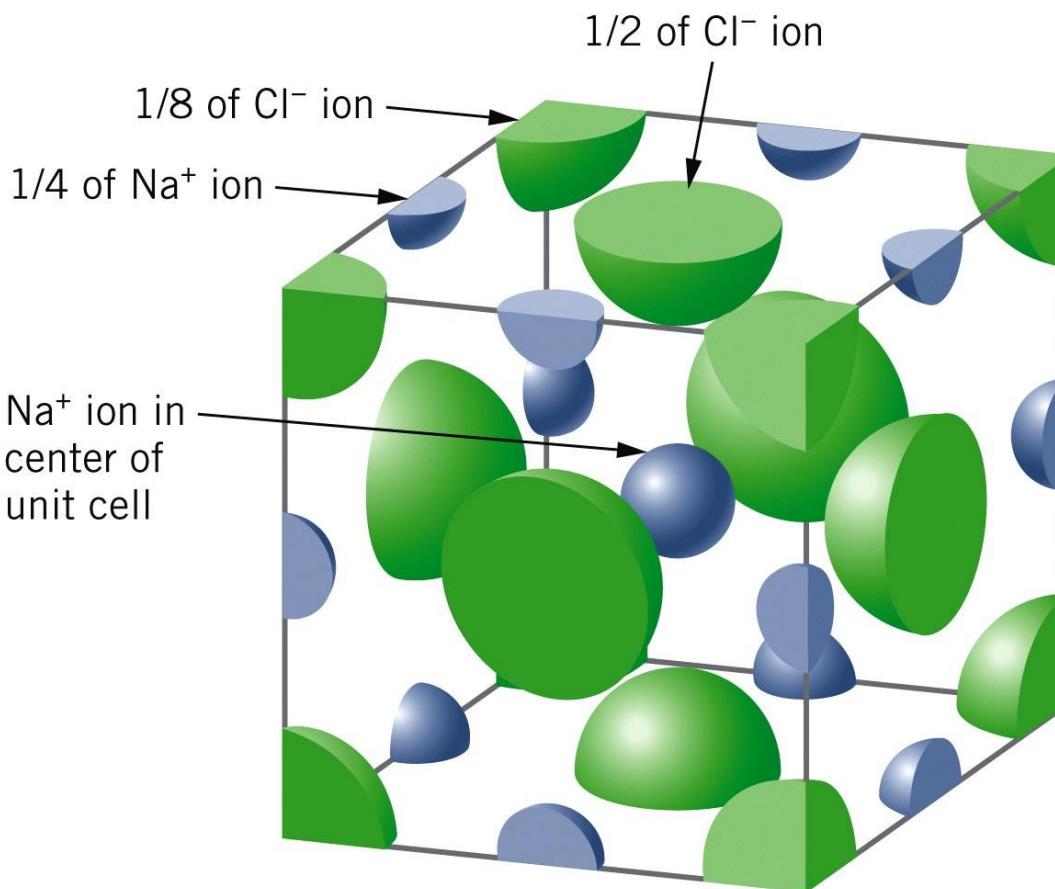
# Menghitung jumlah atom dalam sel satuan

- 4 posisi dalam sel satuan
  - **Pusat** – atom berada sepenuhnya dalam sel satuan
  - **Muka** – atom berada pada muka/bidang dipakai bersama oleh 2 sel satuan
  - **Rusuk** - atom berada pada rusuk dipakai bersama oleh 4 sel satuan
  - **Titik sudut** – atom berada di titik sudut dipakai bersama oleh 8 sel satuan

Posisi	Bagian atau volum	Jumlah sel satuan yang memakai
Badan	1	1
Muka	1/2	2
Rusuk	1/4	4
Sudut	1/8	8

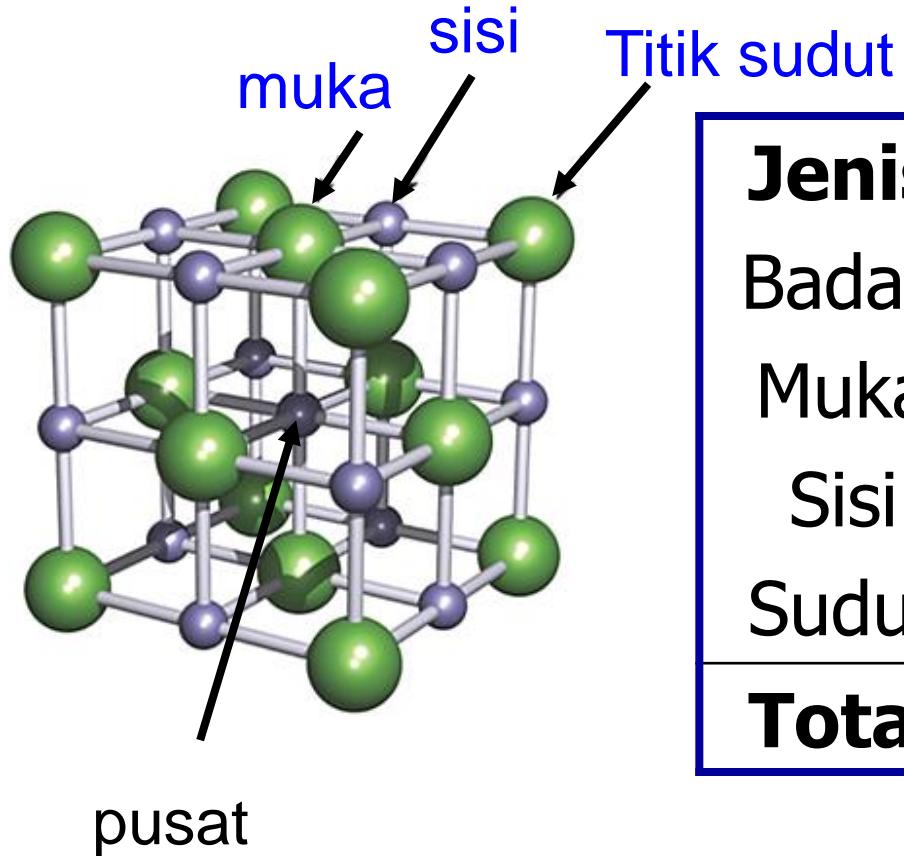
# Kristal ionik

- Dalam NaCl
  - Ion Cl<sup>-</sup> ions membentuk kubus berpusat muka
  - Ion Na<sup>+</sup> mengisi ruang antar ion-ion Cl<sup>-</sup>
- Hitung jumlah atom per satuan sel



Copyright © 2012 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

NaCl



Jenis	# $\text{Na}^+$	# $\text{Cl}^-$
Badan	1	0
Muka	0	$(6 \times \frac{1}{2}) = 3$
Sisi	$(12 \times \frac{1}{4}) = 3$	0
Sudut	0	$(8 \times \frac{1}{8}) = 1$
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

# Hitungan efisiensi pengemasan (*packing efficiency*)

- Tentukan jumlah atom per sel satuan: fcc 4, bcc 2, dan sc 1
- Hitung volume total atom

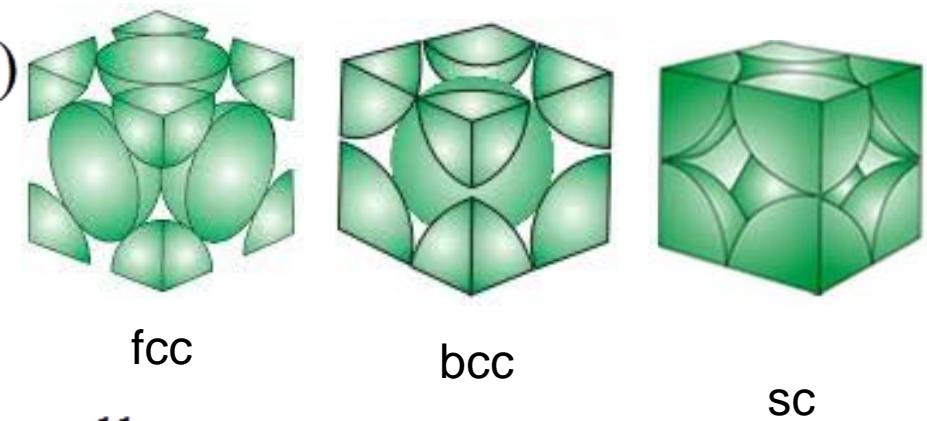
$$\text{total volume occupied by atoms} = \# \text{ atoms in unit cell} \times \left( \frac{4}{3} \pi r^3 \right)$$

- Hitung volume total sel satuan

$$V = a^3 \text{ (where } a \text{ is the edge length of the unit cell)}$$

$$a_{\text{fcc}} = (2\sqrt{2}) r; \quad a_{\text{bcc}} = \frac{4}{\sqrt{3}} r; \quad a_{\text{sc}} = 2r$$

- Hitung efisiensi pengemasan



$$\text{Packing efficiency} = \frac{\text{volume of atoms in unit cell}}{\text{total volume of unit cell}} \times 100$$

- Buktikan efisiensi pengepakan fcc 74%, bcc 68%, dan sc 52,4%

## Perhitungan *Packing Efficiency*

- Volum unit sel dinyatakan dalam jari-jari:

$$V = a^3 \text{ (where } a \text{ is the edge length of the unit cell)}$$

$$a_{\text{fcc}} = (2\sqrt{2}) r; \quad a_{\text{bcc}} = \frac{4}{\sqrt{3}} r; \quad a_{\text{sc}} = 2r$$

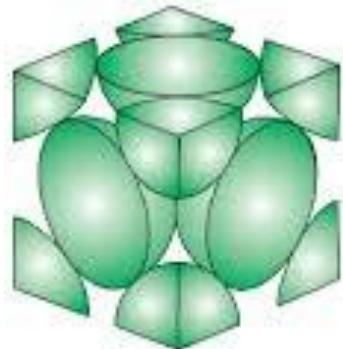
$$\text{Packing efficiency} = \frac{\text{volume of atoms in unit cell}}{\text{total volume of unit cell}} \times 100$$

# Bilangan koordinasi

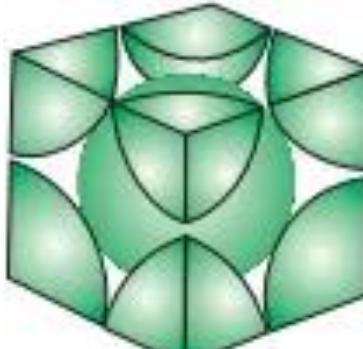
- **Bilangan koordinasi** adalah jumlah atom yang bertetangga dengan suatu atom tertentu
  - kubus sederhana: bilangan koordinasi **6**
  - kubus berpusat badan: bilangan koordinasi **8**
  - kubus berpusat muka, (*close-packed structures, ccp and hcp*) ,  
bilangan koordinasi **12**
- Makin besar bil. koordinasi → interaksi tiap atom dengan makin banyak atom lain
- *Close-packed structure*, dengan bil. koord = 12, banyak dijumpai dalam struktur kristal

# Bilangan koordinasi

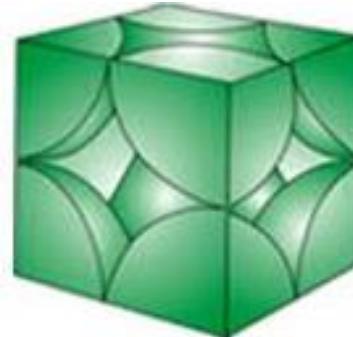
- **Bilangan koordinasi** adalah jumlah atom yang berbatasan langsung dengan atom target
  - Bilangan koordinasi sc 6
  - Bilangan koordinasi bcc 8
  - Bilangan koordinasi fcc 12



fcc



bcc



sc

Perak mengkristal dengan membentuk sel kubus berpusat muka.  
Panjang sisi kubus 409 pm. Hitung massa jenis perak.

$$d = \frac{m}{V} \quad V = a^3 = (409 \text{ pm})^3 = 6,83 \times 10^{-23} \text{ cm}^3$$

**4 atom/sel satuan dalam kubus berpusat muka**

$$m = 4 \cancel{\text{atom Ag}} \times \frac{107,9 \text{ g}}{\cancel{\text{mol Ag}}} \times \frac{1 \cancel{\text{mol Ag}}}{6,022 \times 10^{23} \cancel{\text{atom}}} = 7,17 \times 10^{-22} \text{ g}$$

$$d = \frac{m}{V} = \frac{7,17 \times 10^{-22} \text{ g}}{6,83 \times 10^{-23} \text{ cm}^3} = 10,5 \text{ g/cm}^3$$

# Struktur kisi kristal tiap logam

1																								
H																								
	2																							
Li	Be																							
Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12													
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr							
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe							
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn							
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo							
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu											
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr											

Simple cubic (sc)

Body-centered cubic (bcc)

Face-centered cubic (fcc)

Orthorhombic (ortho)

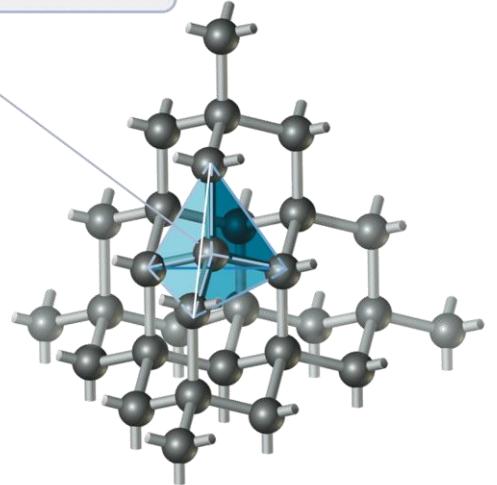
Hexagonal close-packed (hcp)

Rhombohedral (rhomb)

Tetragonal (tetrag)

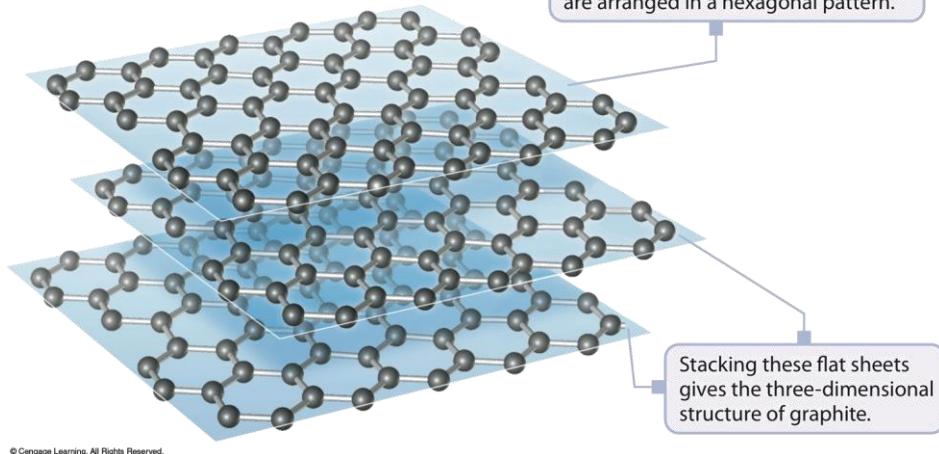
Monoclinic (mono)

In diamond, each carbon atom forms strong covalent bonds to four other carbon atoms.



© Cengage Learning. All Rights Reserved.

In graphite, carbon atoms form flat sheets. The atoms within a given sheet are arranged in a hexagonal pattern.



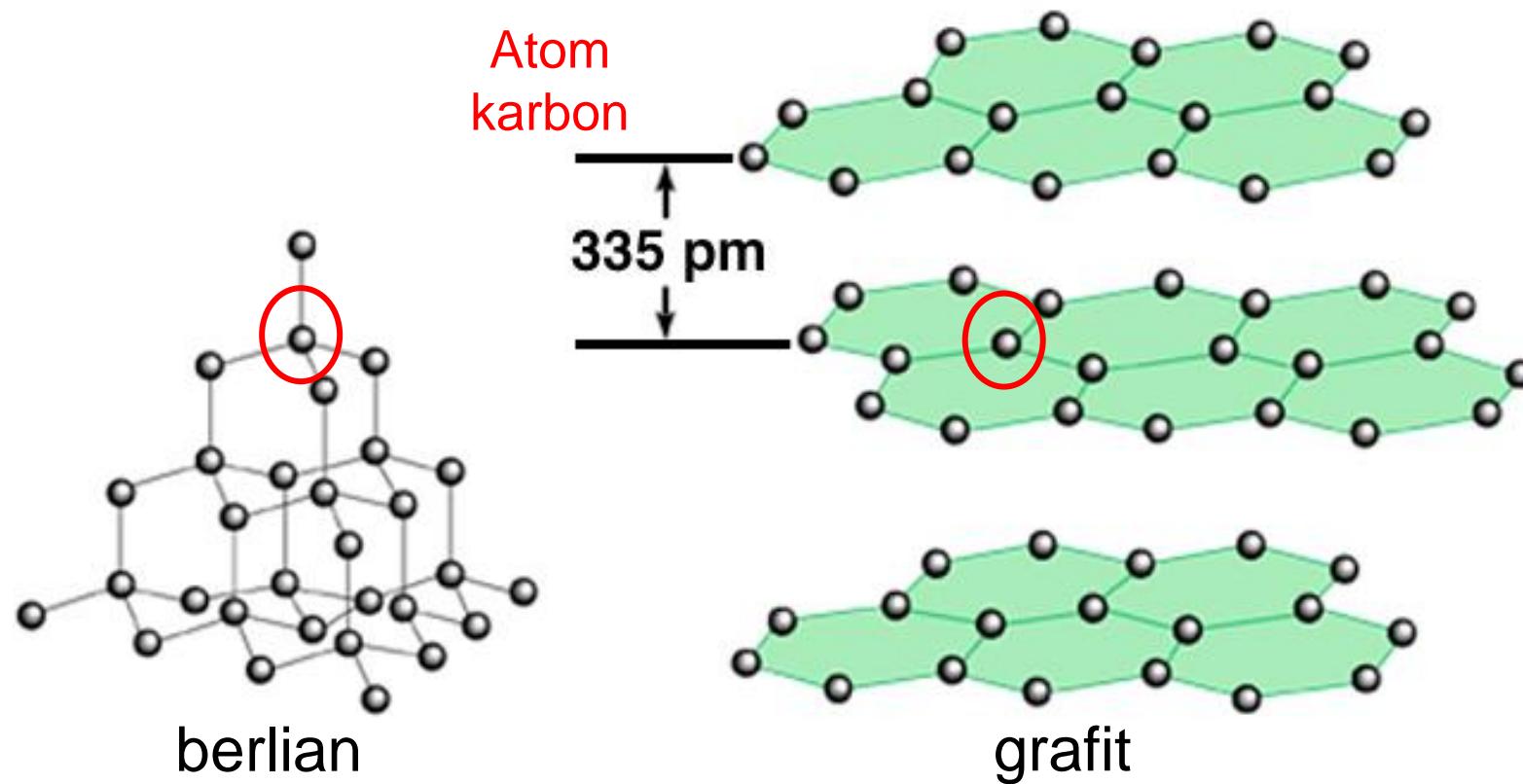
Stacking these flat sheets gives the three-dimensional structure of graphite.

© Cengage Learning. All Rights Reserved.

- Atom C dalam intan mengikat 4 atom C lain dengan ikatan kovalen → geometri tetrahedral
- Jumlah ikatan kovalen yang banyak dalam intan menyebabkan kekuatan intan sangat tinggi
- Atom C dalam grafit mengikat 3 atom C lain dengan ikatan kovalen → Ikatan antar lembaran lebih lemah dibandingkan dalam intan

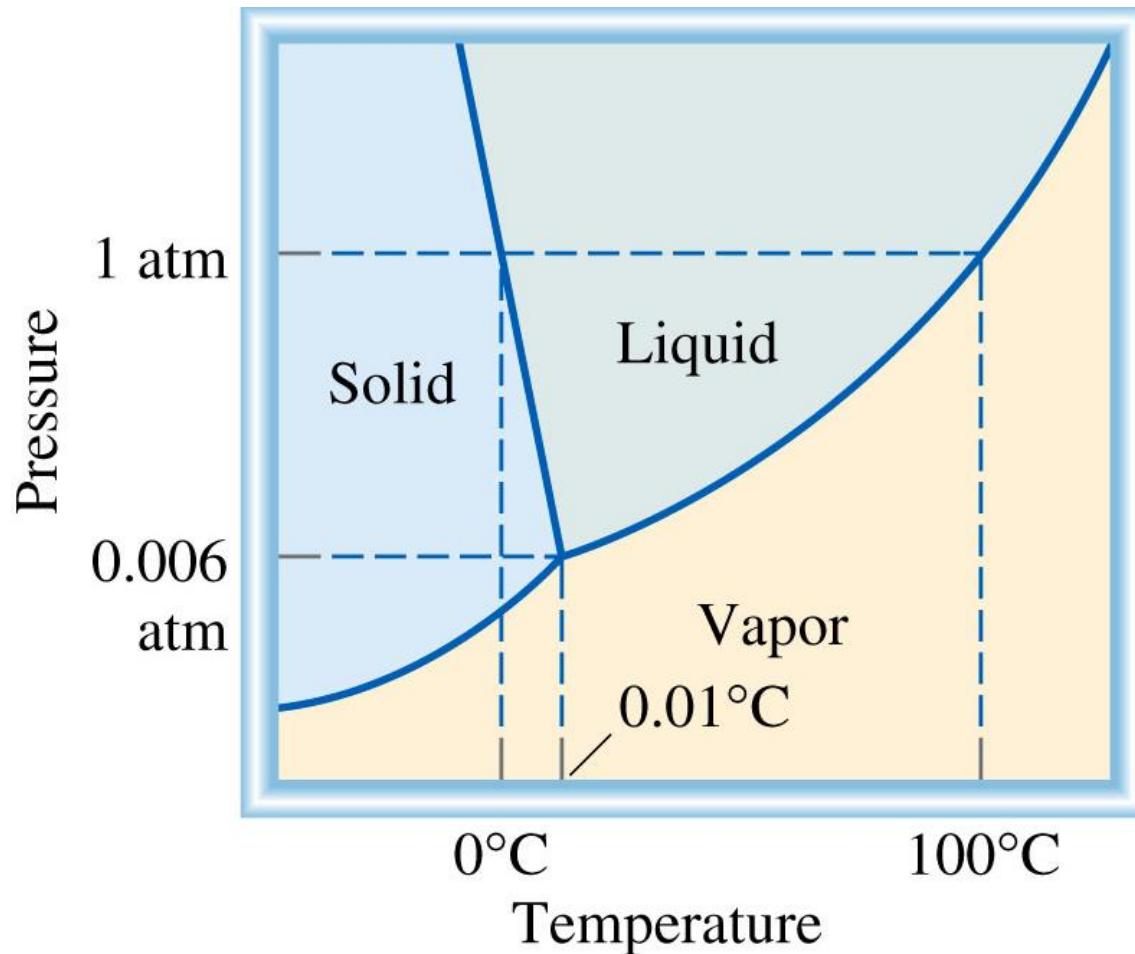
## Kristal kovalen

- Titik ujung kisi diisi oleh atom
- Gaya pengikatnya adalah ikatan kovalen
- Sifatnya: keras dan mempunyai titik leleh yang tinggi
- Konduktor panas dan listrik yang lemah



**Diagram fasa** menggambarkan kondisi di mana suatu zat berada dalam fasa padat, cair atau gas.

## Diagram fasa air

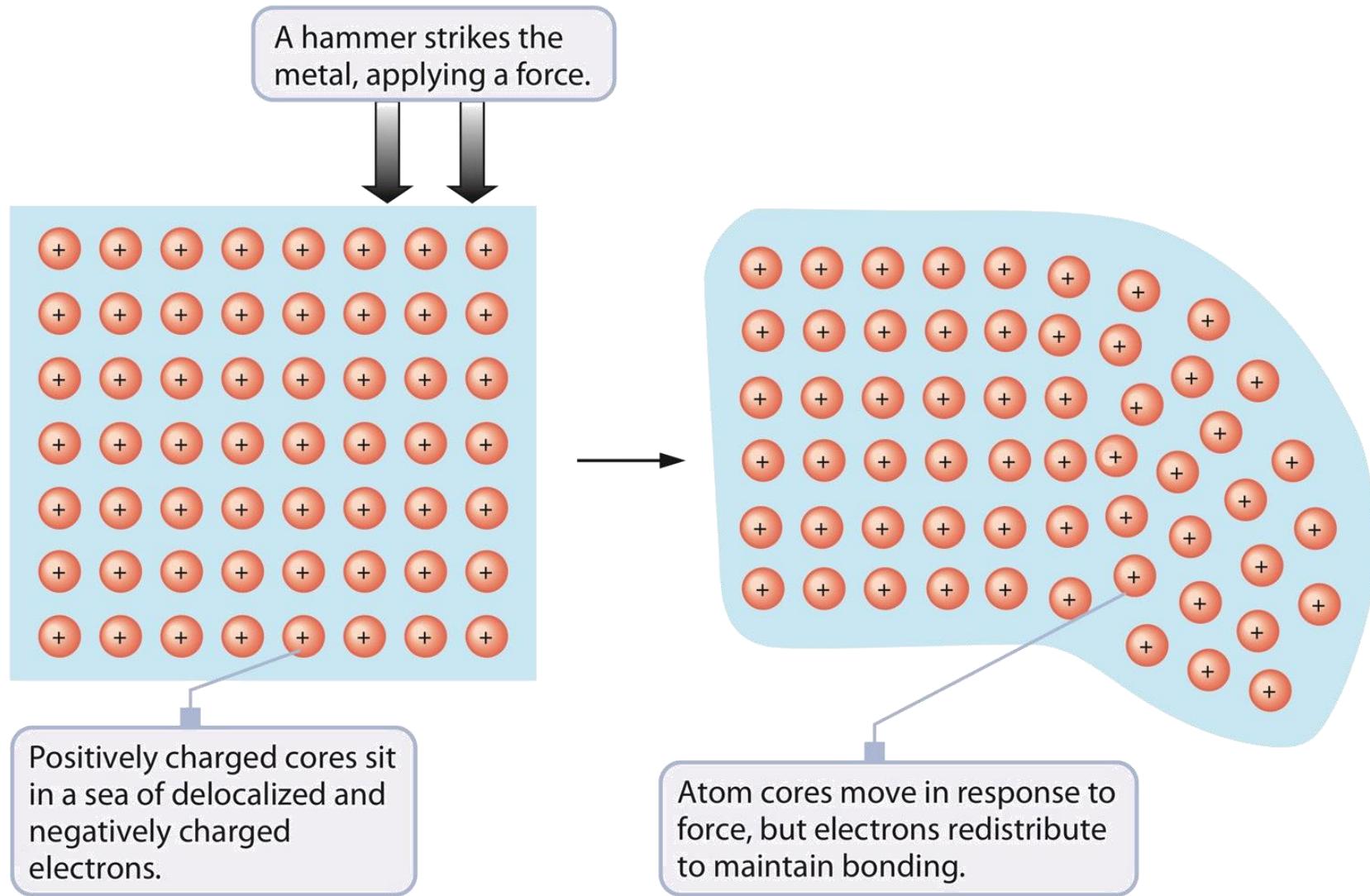


# **Ikatan dalam zat padat: logam, isolator dan semikonduktor**

- Ikatan menentukan sifat logam
- Beberapa sifat logam:
  - *malleable*, dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk atau lembaran ( foils)
  - *ductile*, dapat dibentuk menjadi kawat
  - penghantar panas dan listrik yang baik

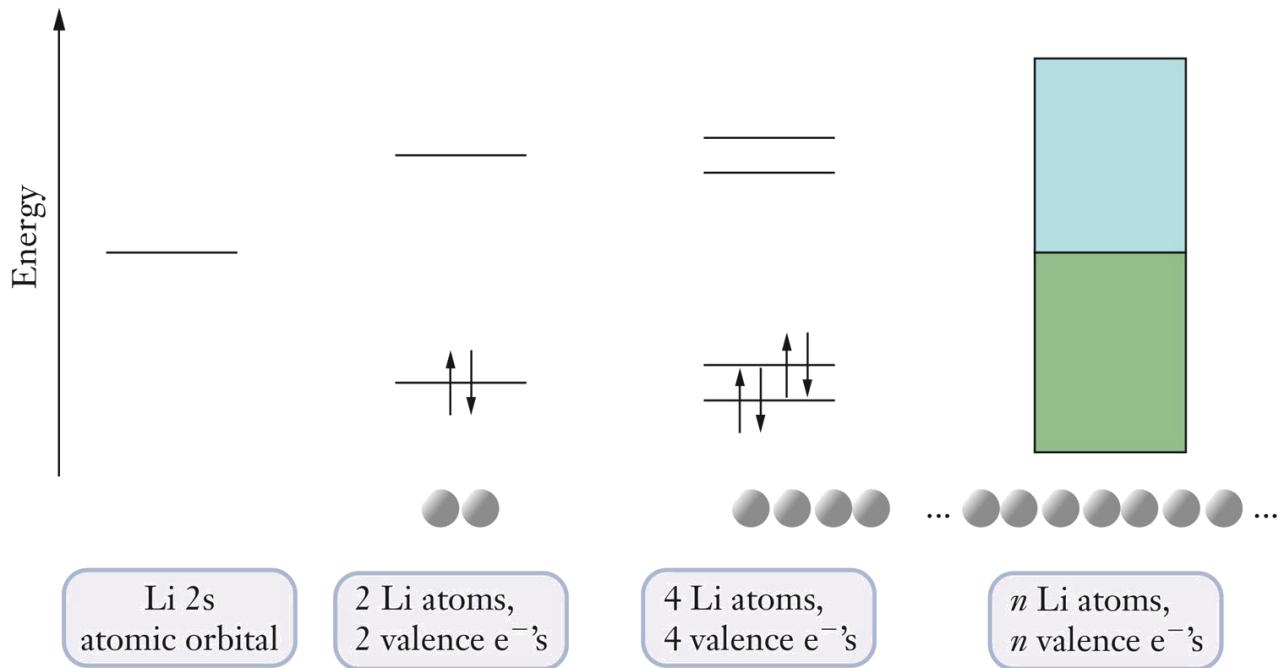
# Model ikatan logam

- Ikatan logam bukan ikatan ion maupun ikatan kovalen
- Tidak ada perbedaan keelektronegatifan yang besar antara satu unsur dengan unsur yang lain
  - Logam dan paduan logam (alloys) tidak membentuk ikatan ion
  - Sub-kulit terluar tidak terisi elektron
    - Perlu ikatan kovalen yang sangat banyak untuk memenuhi aturan oktet
- Model lautan elektron dapat menjelaskan secara sederhana ikatan logam dan sifat-sifatnya
  - Elektron valensi terdelokalisasi dan dapat bergerak bebas



# Teori pita ( *band theory*)

- Teori pita adalah model kuantitatif ikatan pada padatan
  - Fungsi gelombang dari elektron valensi berinteraksi satu sama lain
  - Orbital molekuler ikatan terbentuk akibat interferensi konstruktif
  - Orbital molekuler anti-ikatan terbentuk akibat interferensi destruktif
- Jumlah orbital molekul = jumlah orbital atom yang terlibat
  - Untuk setiap orbital molekuler ikatan akan terbentuk pula orbital molekuler anti-ikatan
  - Energi orbital molekuler ikatan < orbital molekuler anti-ikatan

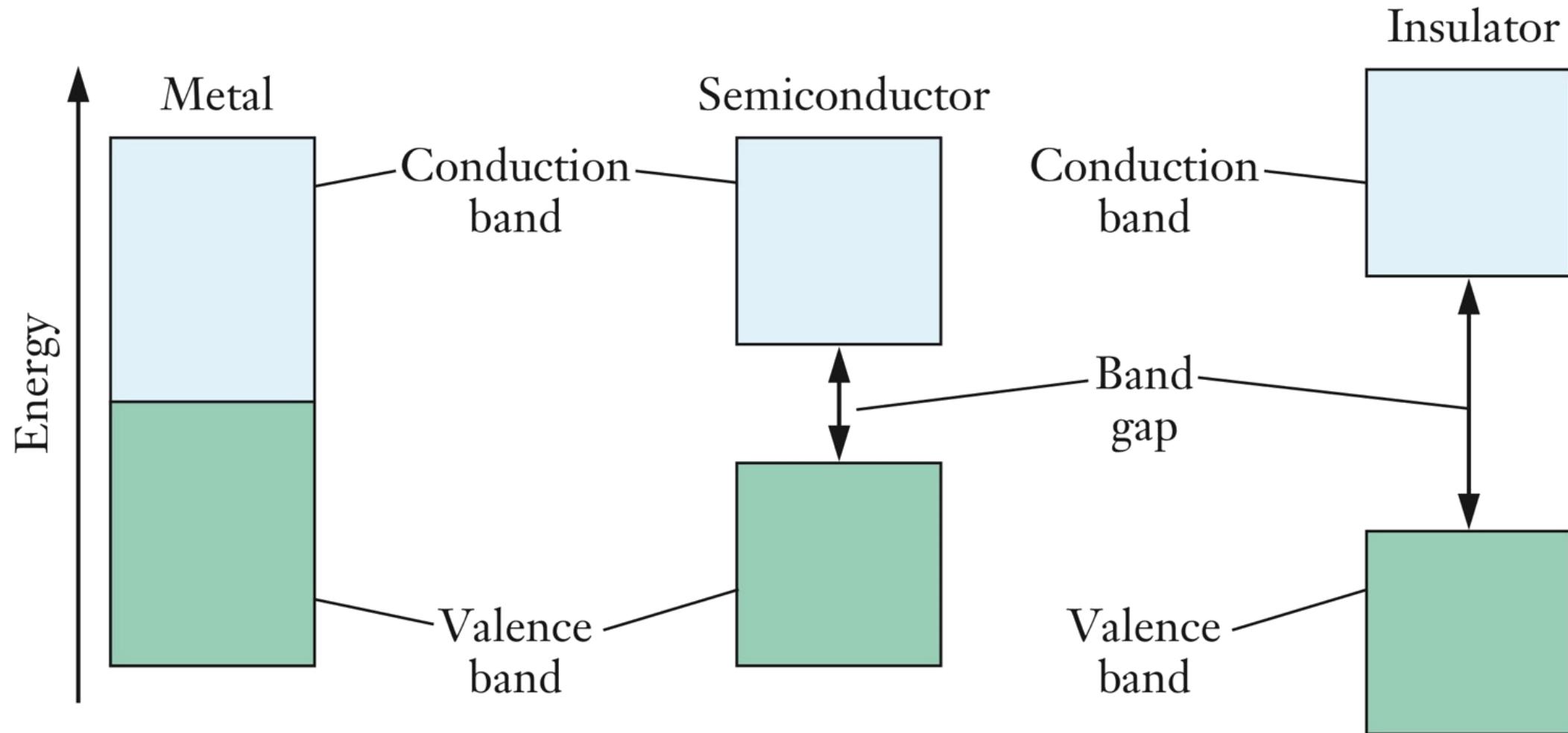


- Bila jumlah atom bertambah → jumlah orbital molekul ikatan & anti-ikatan juga bertambah
- Beda energi antara orbital molekul turun
- Untuk jumlah atom yang banyak, tingkat energi yang dibolehkan merapat membentuk **pita kontinu**

# Teori pita & konduktivitas

- Elektron mengisi tingkat energi terendah terlebih dahulu
- Beda energi antara pita yang terisi dan pita kosong menentukan sifat listrik bahan tersebut
- Pita yang diisi oleh electron valensi disebut **pita valensi**
- Pita kosong di atas pita valensi disebut **pita konduksi**
- Beda energi antara pita valensi dan pita konduksi disebut **band gap**
- Arus listrik mengalir bila elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi
  - Konduktor: *band gap* kecil
  - Isolator: *band gap* besar
  - Semikonduktor: *band gap* di antara konduktor dan isolator

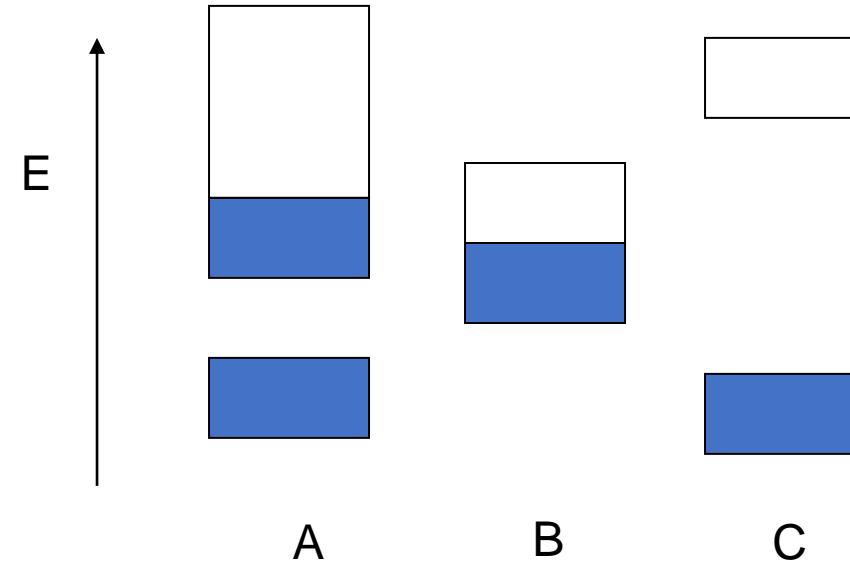
# Diagram *band gap* konduktor, semikonduktor dan isolator



# Soal

Diagram yang mana yang sesuai untuk intan yang merupakan isolator?

- A
- B
- C



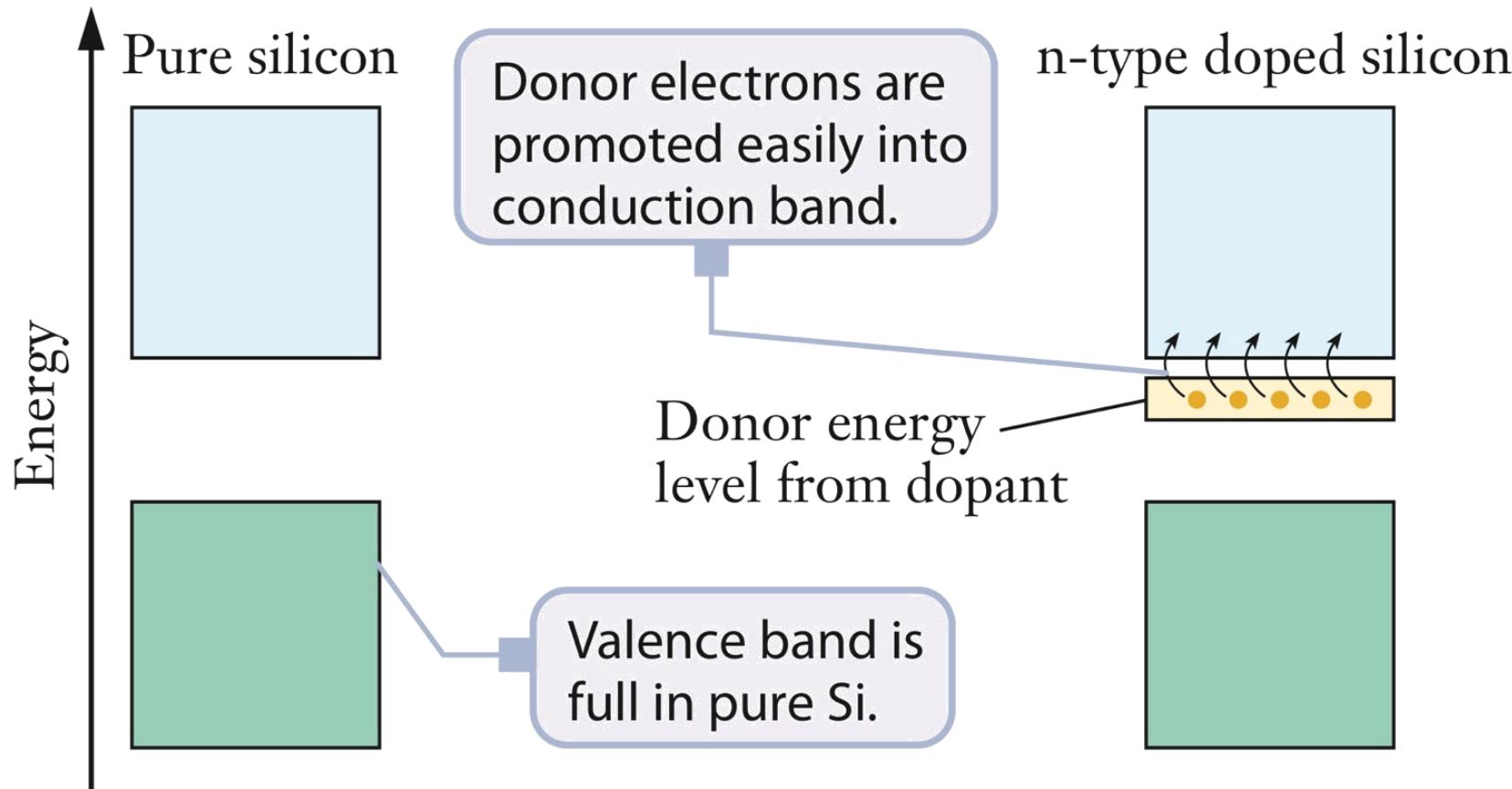
# Semikonduktor

- Konduktivitas listrik semikonduktor dapat dimodifikasi melalui *doping*
  - **Doping** adalah proses penambahan sejumlah kecil unsur ke dalam semikonduktor untuk meningkatkan sifat-sifatnya
  - **n-type** dibuat dengan doping oleh **valence-electron-rich element**, yang sifatnya “negatif”
  - **p-type** dibuat dengan doping oleh **valence-electron-deficient element**, yang sifatnya “positif”

- **Semikonduktor tipe-n**
  - Elektron valensi mengisi tingkat donor yang sedikit di bawah pita konduksi
  - Hanya diperlukan sedikit energi untuk mempromosikan elektron dari tingkat donor ke pita konduksi
- **Semikonduktor tipe-p**
  - Kekurangan elektron valensi membentuk tingkat akseptor sedikit di atas pita valensi
  - Hanya diperlukan sedikit energi untuk mempromosikan elektron dari pita valensi ke tingkat akseptor
  - Kekurangan pada pita valensi disebut **lubang (holes)**

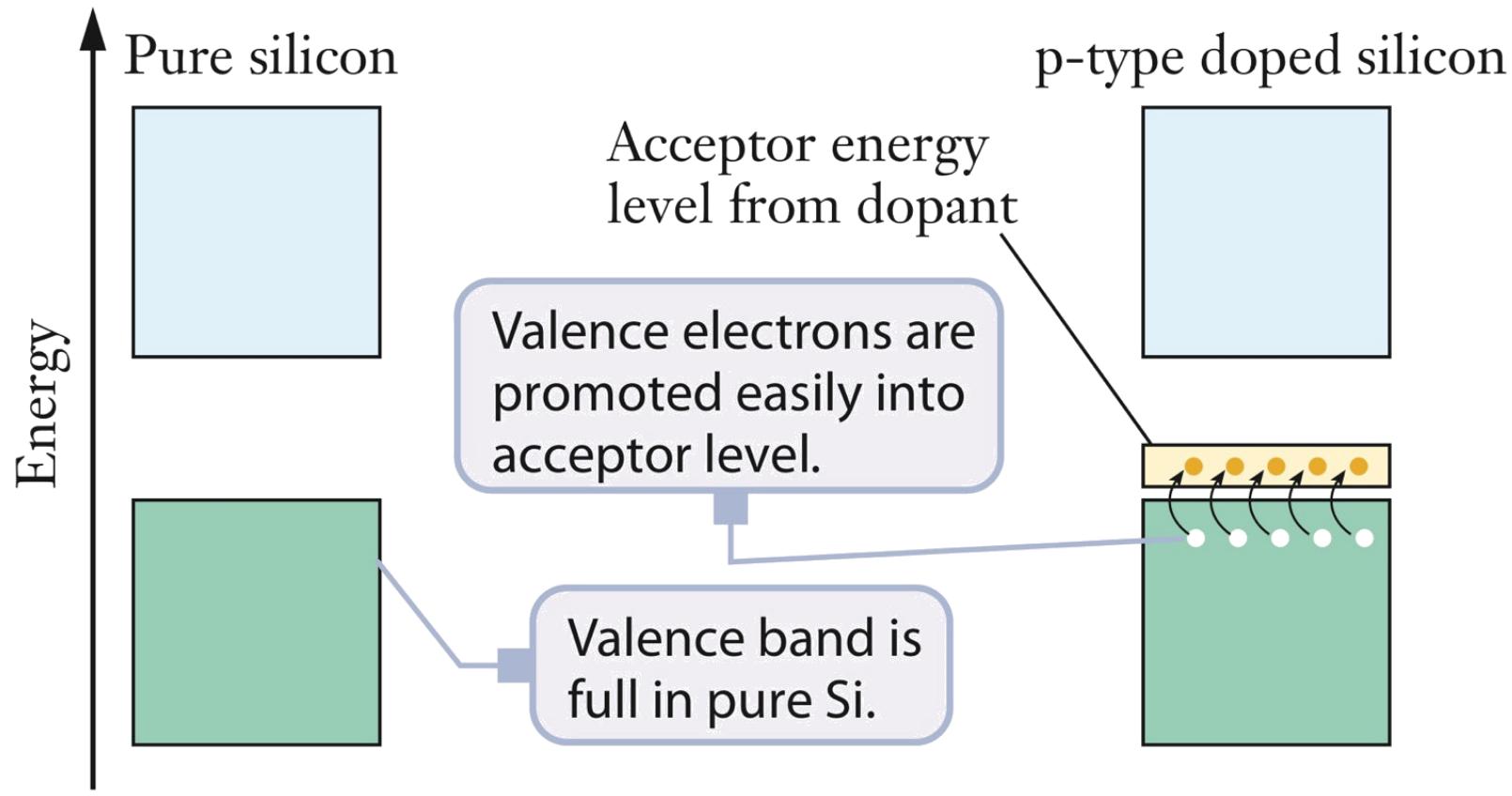
## Pembentukan *n-type doped silicon*

- Doping dengan **fosfor** menghasilkan electron valensi ekstra
- Elektron ekstra tersebut mengisi tingkat donor yang energinya dekat dengan pita konduksi



## Pembentukan *p-type doped silicon*

- Dopant mempunyai < 4 electron valensi
- Terbentuk tingkat akseptor yang energinya sedikit di atas pita valensi
- **Aluminum** adalah *p-type dopant* yang umum



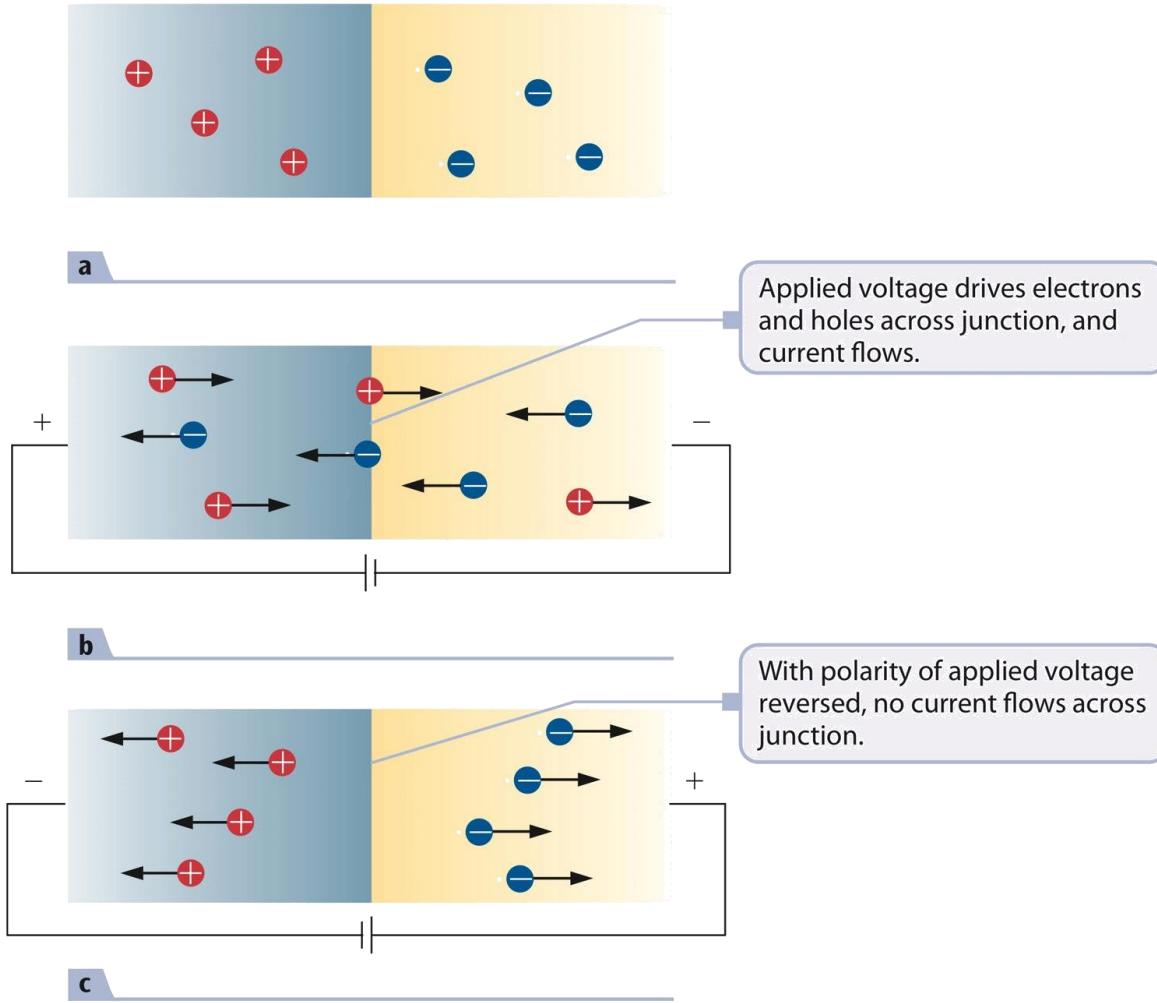
# Soal

- Jenis bahan apa ( tipe n- atau p) yang terbentuk bila germanium murni di-doped dengan
  - gallium
  - arsen
  - fosfor

# Mekanisme kerja dalam semikonduktor

- p-n junction dapat dibuat dari bahan jenis p- & n-.
- Aplikasi material ini untuk elektronik fasa padat
- Aliran elektron melewati junction mudah diatur dengan voltage
  - Arus mengalir bila kutub negatif batere dihubungkan dengan bahan tipe-n.
  - Arus tidak mengalir bila kutub negatif batere dihubungkan dengan bahan tipe-p.

# Semikonduktor



- *p-n junction* dapat berperan seperti *switch* sederhana bila polaritas kutub diatur

# Gaya Intermolekuler

Gaya **intermolekuler** adalah gaya tarik menarik **antar** molekul.

Gaya **intramolekuler** mengikat atom-atom dalam molekul → ikatan kovalen

## Intermolekuler vs Intramolekuler

- 41 kJ untuk menguapkan 1 mol air (**inter**)
- 930 kJ untuk memutuskan ikatan O-H dalam 1 mol air (**intra**)

## Gaya intermolekuler

Pada umumnya gaya intermolekuler **jauh lebih lemah** dibandingkan gaya **intramolekuler**.

Titik didih

Titik leleh

$\Delta H_{vap}$

$\Delta H_{fus}$

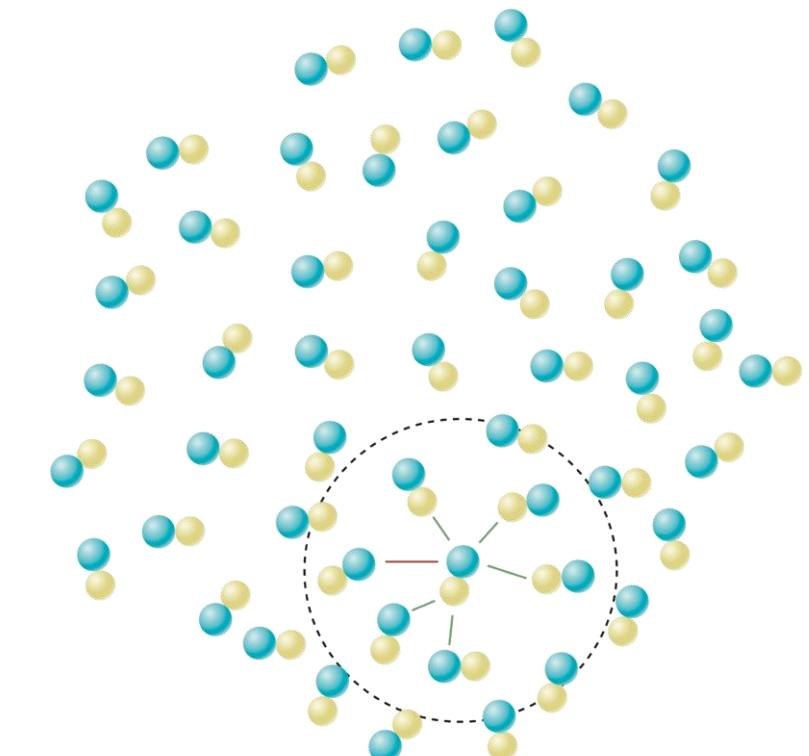
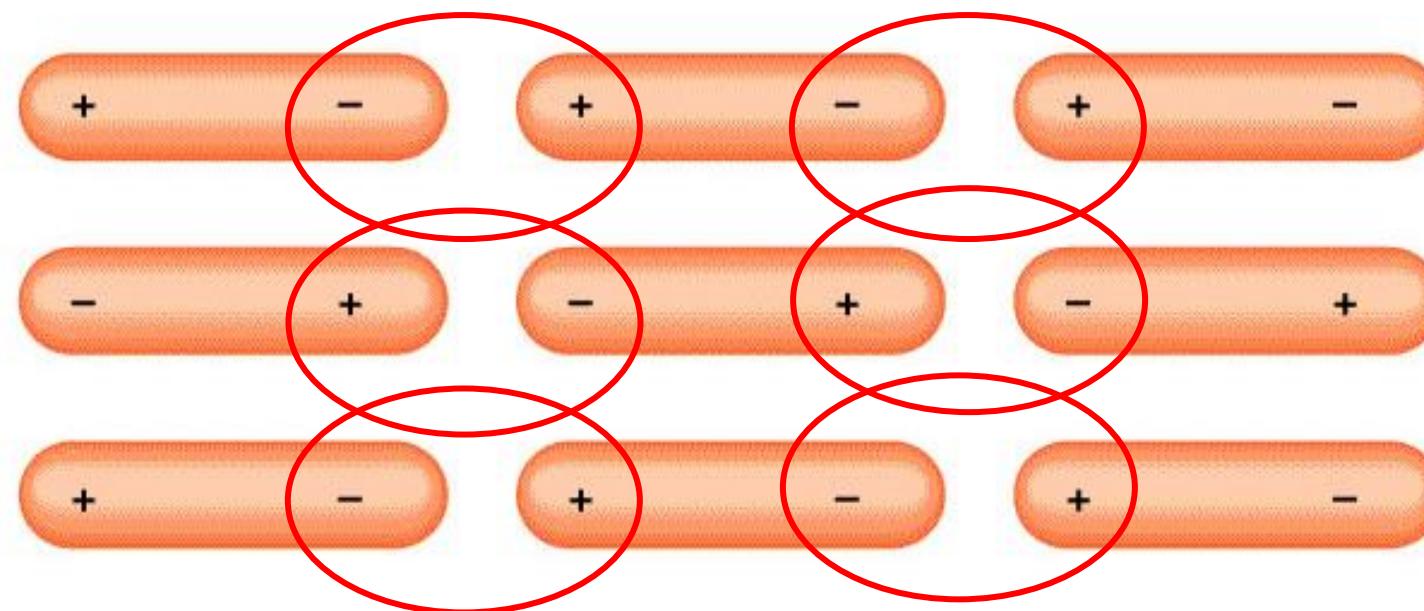
$\Delta H_{sub}$

# Gaya Intermolekuler

## Gaya Dipol-Dipol

Gaya tarik menarik antara molekul **polar** (**dipol permanen**)

Orientasi molekul polar dalam padatan

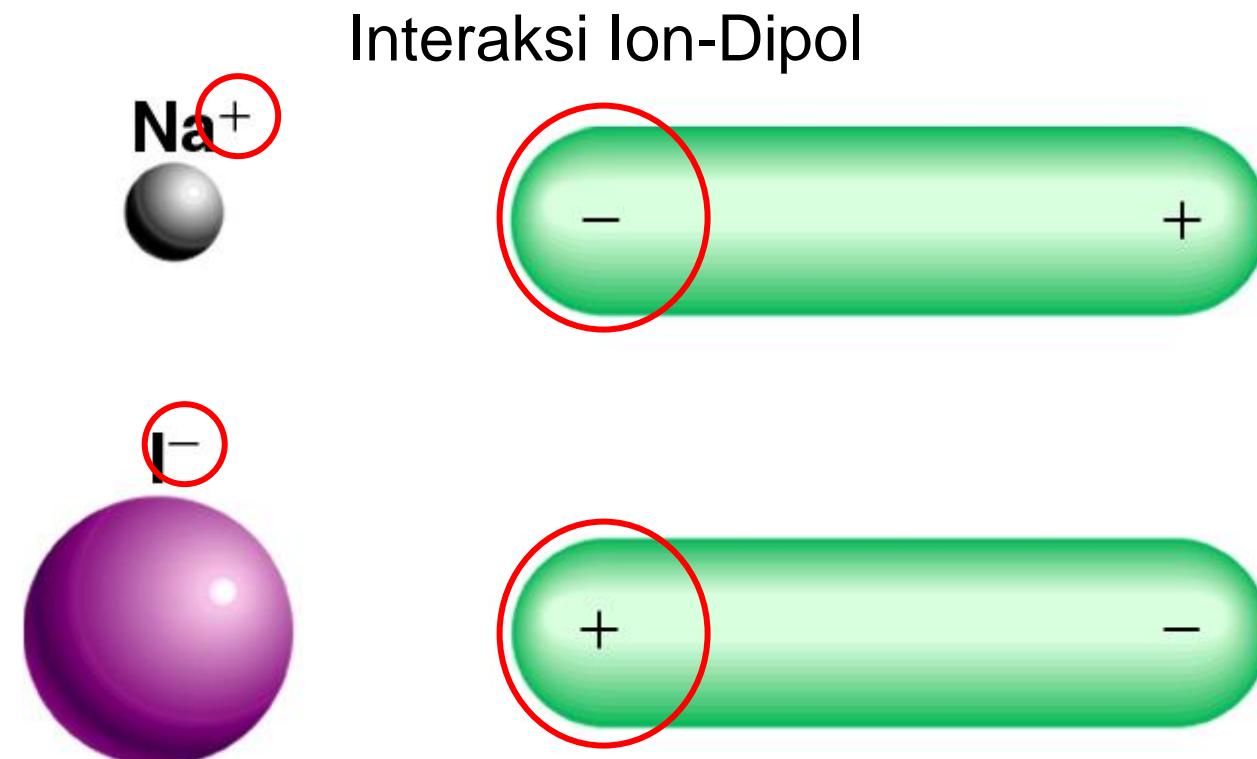


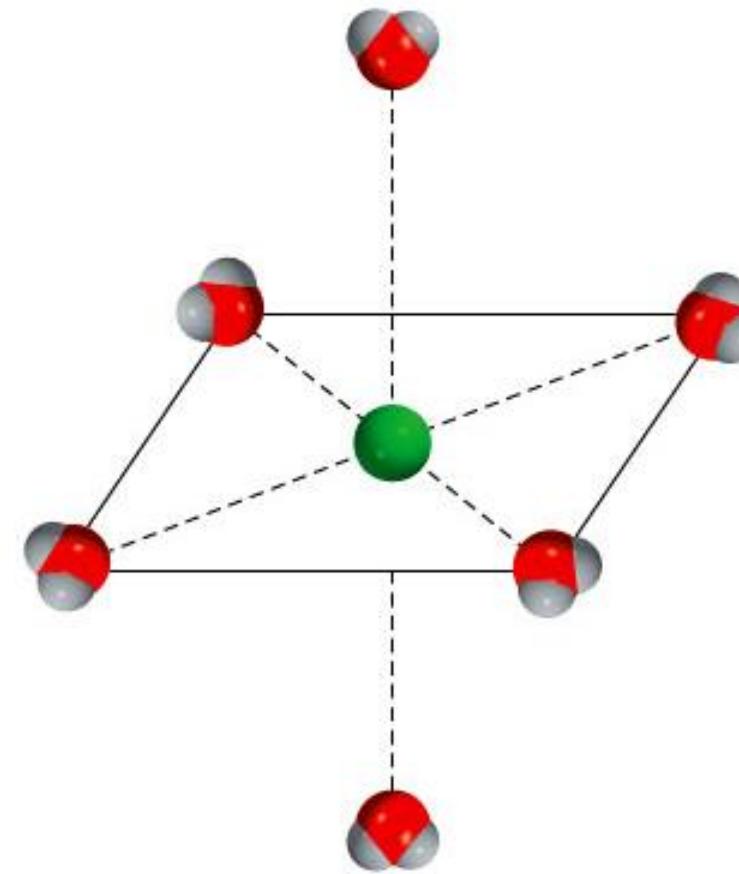
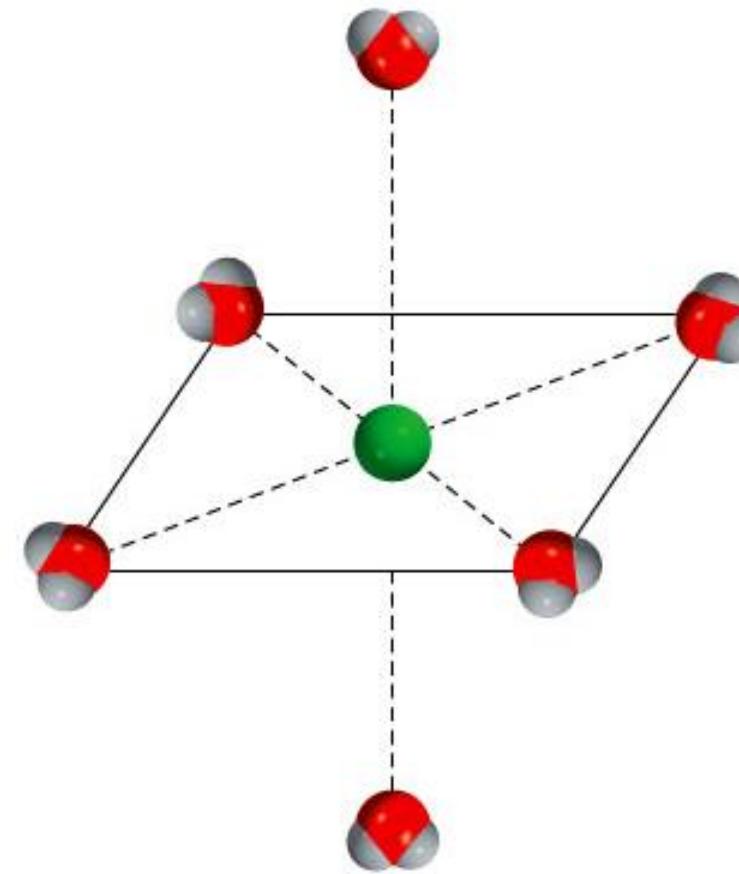
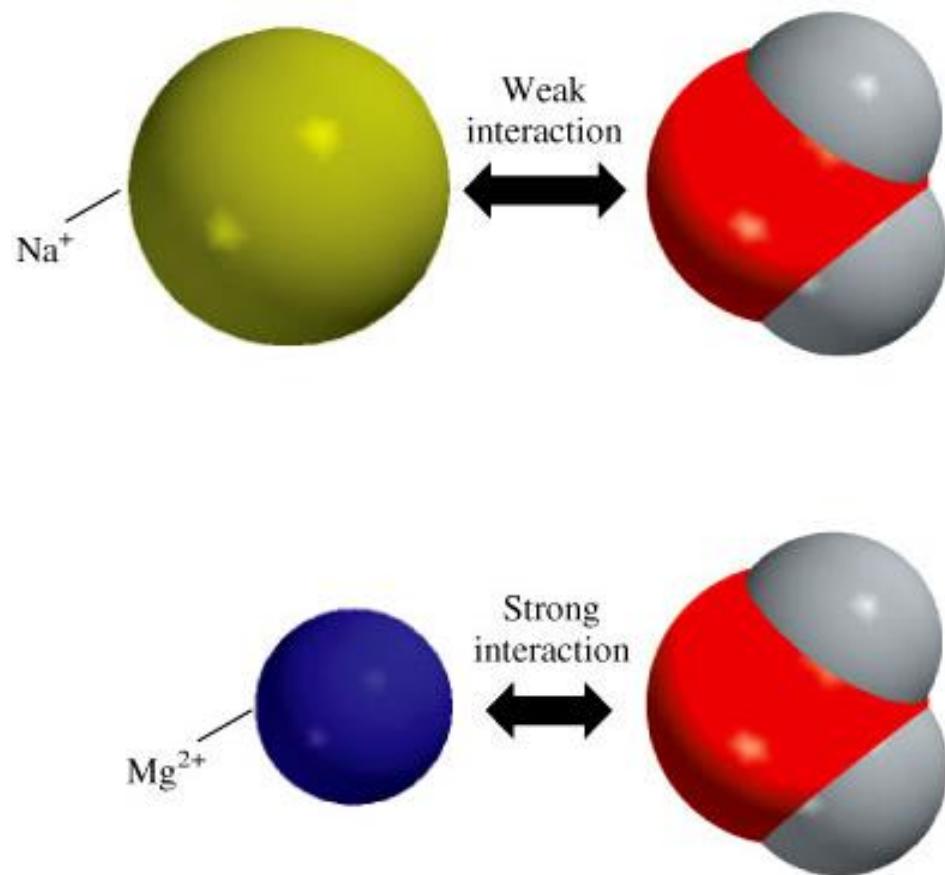
© Cengage Learning. All Rights Reserved.

# Gaya Intermolekuler

## Gaya Ion-Dipol

Gaya tarik menarik antara **ion** dan molekul **polar**

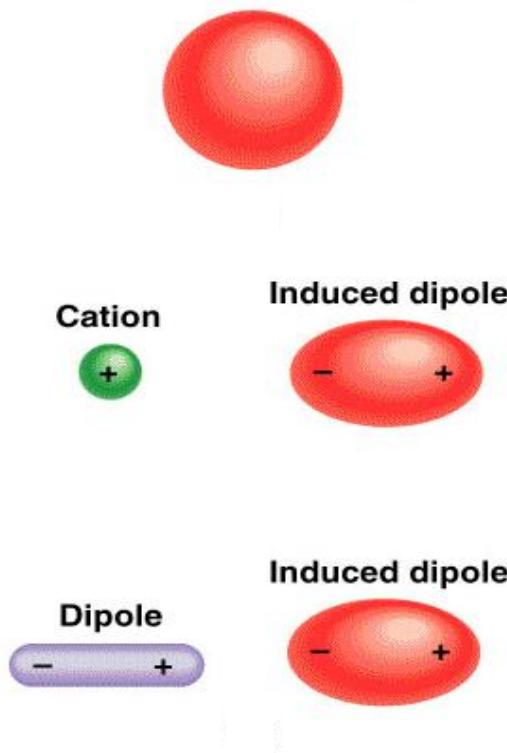




# Gaya intermolekuler

## Gaya Dispersi (gaya London)

Gaya tarik menarik yang timbul dari **dipol terinduksi sementara** dalam atom atau molekul (*instantaneous dipole-induced dipole forces*)

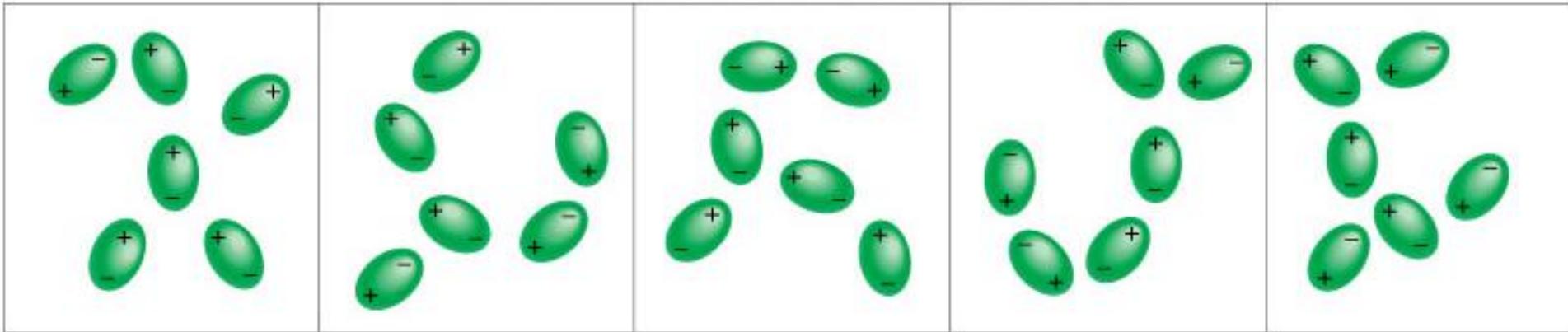


→ interaksi ion-dipol terinduksi

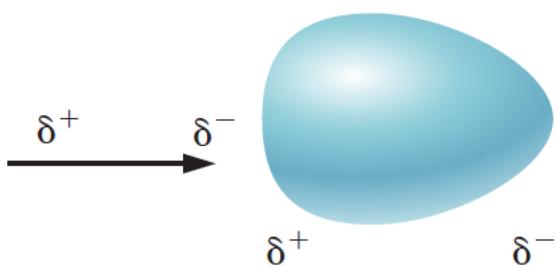
→ interaksi dipol-dipol terinduksi

**Energi dipol-dipol > gaya London**

# Interaksi antara dipol terinduksi



The unperturbed molecule has a symmetric charge distribution.  
(For simplicity this is shown here as a sphere.)



Negatively charged electrons are repelled by the negative side of the external field.  
This establishes an induced dipole in the molecule.

## Gaya dispersi

**Polarisabilitas** adalah kemudahan terganggunya distribusi elektron dalam atom atau molekul oleh medan listrik luar.

Polarisabilitas naik dengan:

Ukuran molekul makin besar

Massa molekul makin tinggi

TABLE 11.2

Melting Points of Similar Nonpolar Compounds

Compound	Melting Point (°C)
CH <sub>4</sub>	-182.5
CF <sub>4</sub>	-150.0
CCl <sub>4</sub>	-23.0
CBr <sub>4</sub>	90.0
Cl <sub>4</sub>	171.0

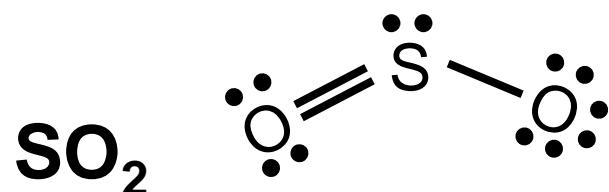
Sebutkan jenis gaya intermolekuler apa saja yang ada antara molekul-molekul berikut ini.

## HBr

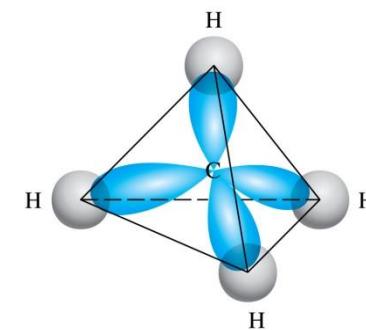
HBr adalah molekul polar. Jadi ada gaya dipol-dipol dan gaya dispersi.

## CH<sub>4</sub>

CH<sub>4</sub> adalah molekul non polar. Jadi hanya ada gaya dispersi non-polar.



SO<sub>2</sub> adalah molekul polar. Jadi ada gaya dipol-dipol dan gaya dispersi.



## Ikatan Hidrogen

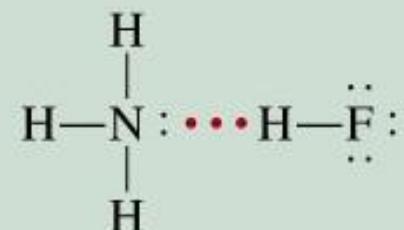
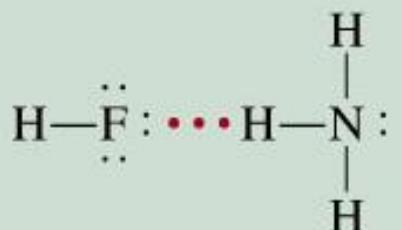
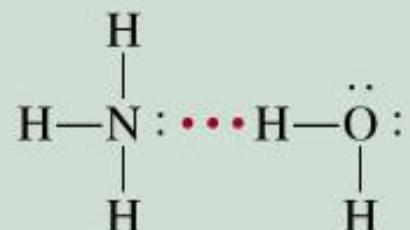
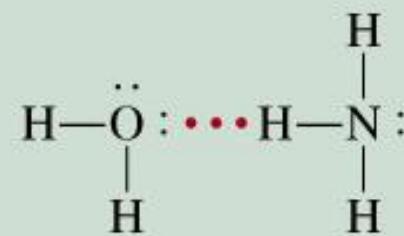
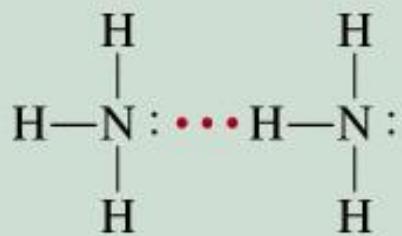
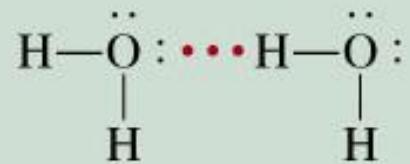
**Ikatan hidrogen** adalah **interaksi dipol-dipol yang khusus** antara atom H dengan atom O, N dan F untuk membentuk ikatan N-H, O-H, atau F-H yang polar.



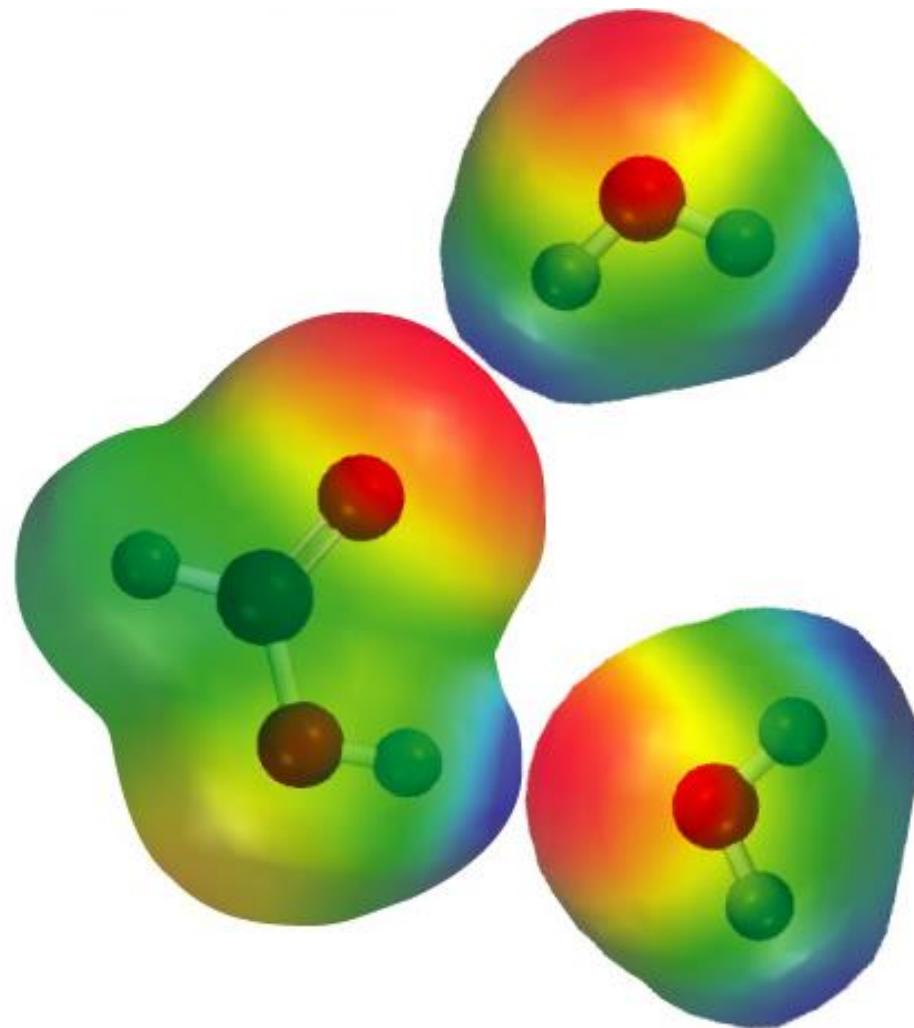
atau



A & B adalah N, O, atau F



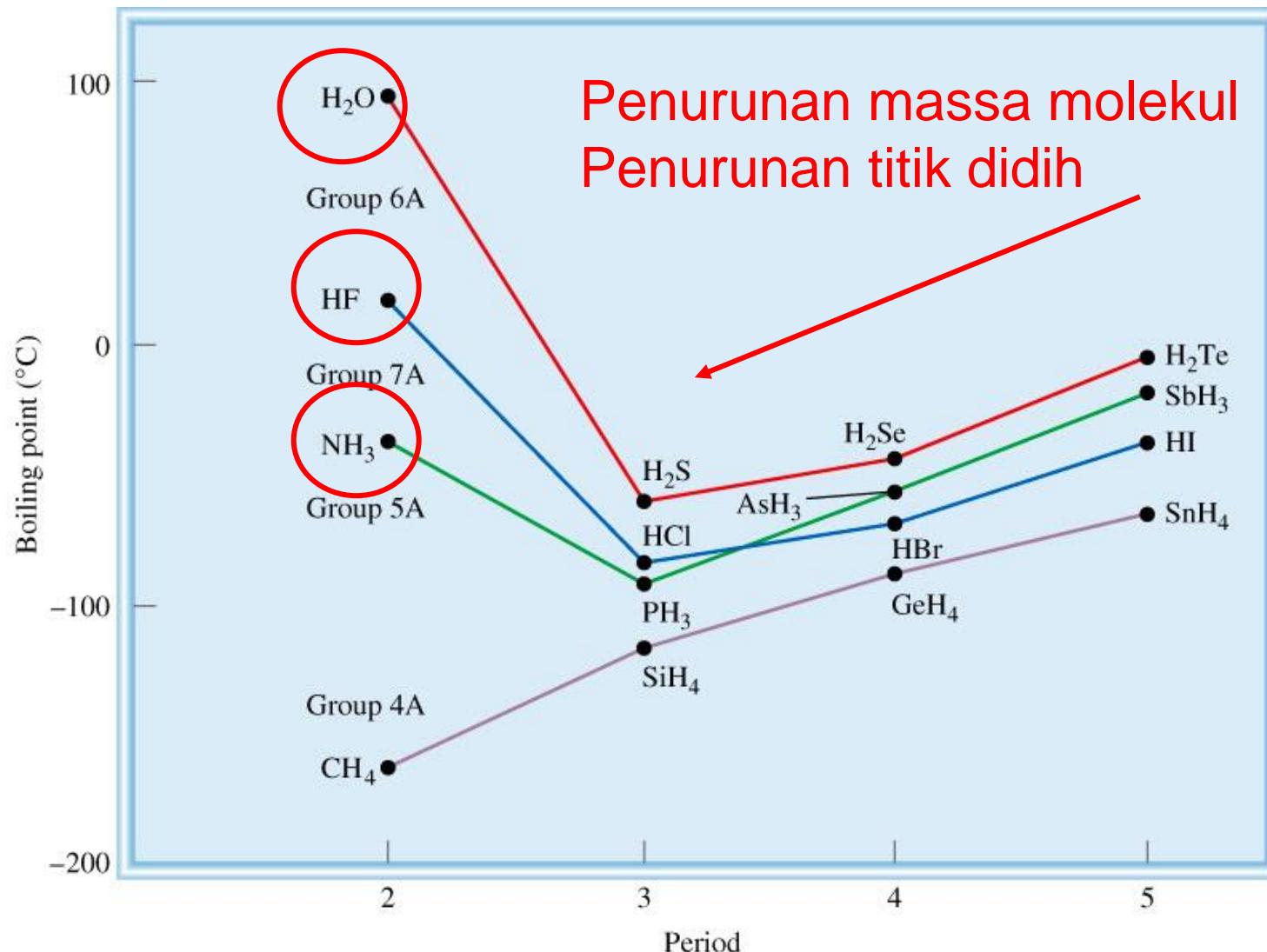
# Ikatan Hidrogen



A crossword grid with the following entries:

- 1A: A two-letter word starting with 'T' (likely 'TO').
- 2A: A two-letter word ending with 'E' (likely 'TE').
- 3A: A three-letter word starting with 'N' (likely 'NOF').
- 4A: A four-letter word starting with 'O' (likely 'ONE').
- 5A: A five-letter word starting with 'F' (likely 'FIVE').
- 6A: A six-letter word starting with 'T' (likely 'THREE').
- 7A: A seven-letter word starting with 'T' (likely 'TWO').
- 8A: An eight-letter word ending with 'E' (likely 'TEN').

# Mengapa ikatan hidrogen dianggap sebagai interaksi dipol-dipol yang khusus?



# Jenis kristal

**TABLE 11.4** Types of Crystals and General Properties

Type of Crystal	Force(s) Holding the Units Together	General Properties	Examples
Ionic	Electrostatic attraction	Hard, brittle, high melting point, poor conductor of heat and electricity	NaCl, LiF, MgO, CaCO <sub>3</sub>
Covalent	Covalent bond	Hard, high melting point, poor conductor of heat and electricity	C (diamond), <sup>†</sup> SiO <sub>2</sub> (quartz)
Molecular*	Dispersion forces, dipole-dipole forces, hydrogen bonds	Soft, low melting point, poor conductor of heat and electricity	Ar, CO <sub>2</sub> , I <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> (sucrose)
Metallic	Metallic bond	Soft to hard, low to high melting point, good conductor of heat and electricity	All metallic elements; for example, Na, Mg, Fe, Cu

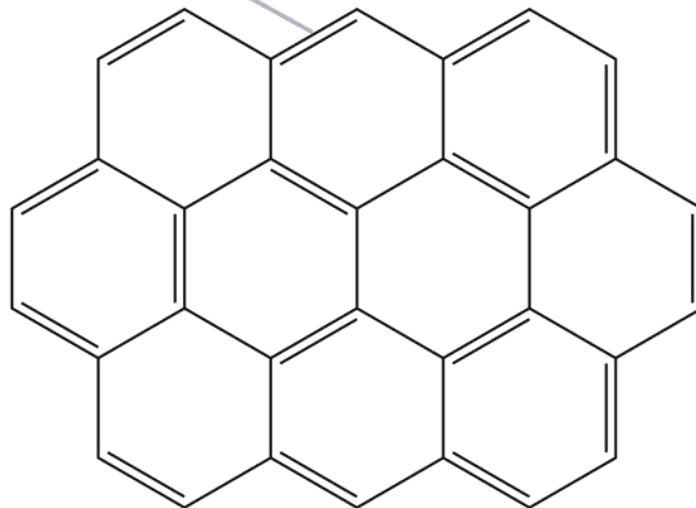
\*Included in this category are crystals made up of individual atoms.

<sup>†</sup>Diamond is a good thermal conductor.

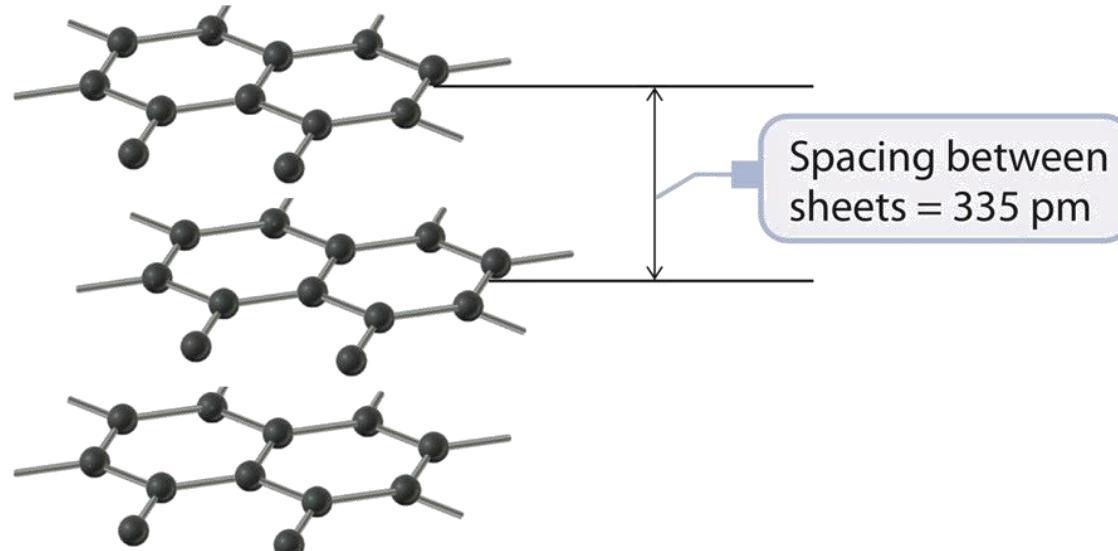
# Soal

- Sebutkan semua jenis (satu atau lebih) antaraksi intermolekuler yang harus diatasi agar cairan dibawah ini berubah menjadi gas
  - a)  $\text{CH}_4$
  - b)  $\text{CH}_3\text{F}$
  - c)  $\text{CH}_3\text{OH}$

C—C bond length  
= 141.5 pm



“Top view” of a graphite sheet



“Side view” of a stack of three graphite sheets

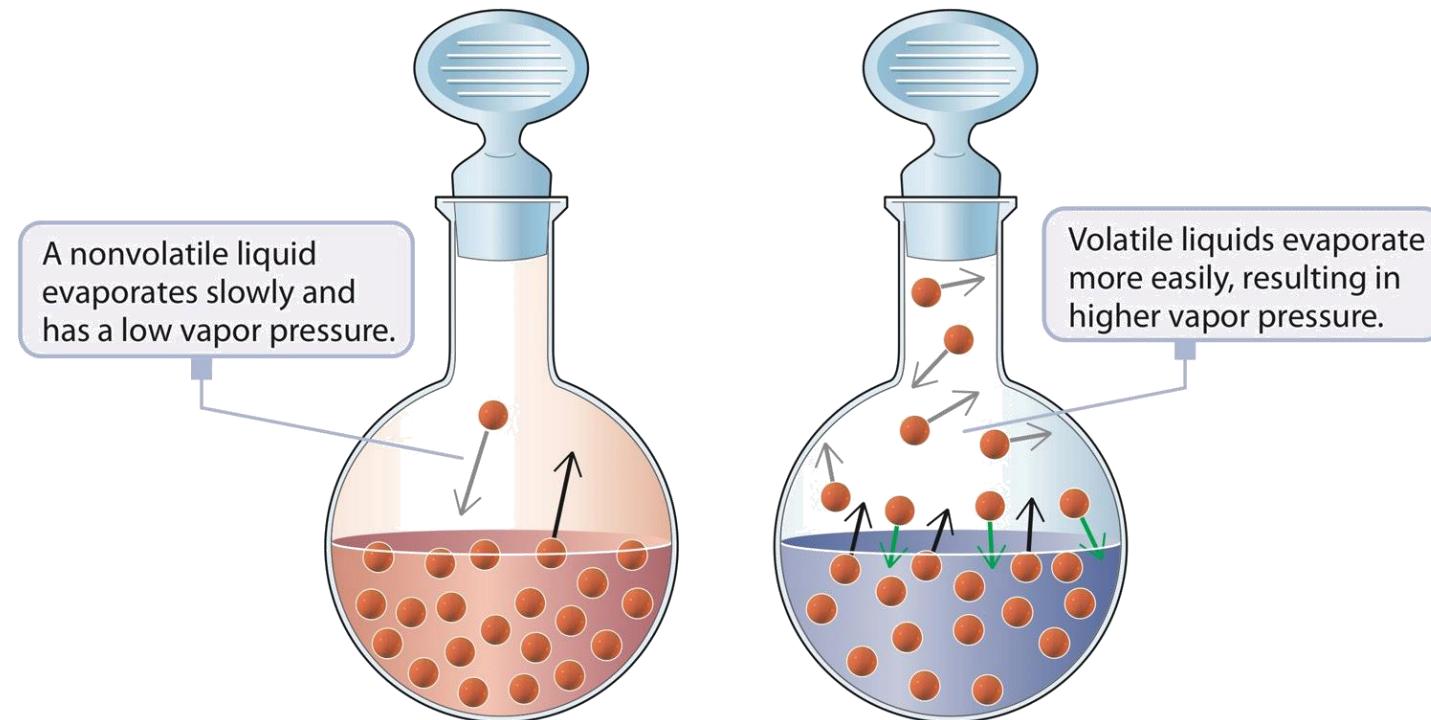
© Cengage Learning. All Rights Reserved.

- Pada grafit atom-atom karbon terikat satu sama lain dengan ikatan kovalen
- Gaya intermolekuler menjaga agar grafit dalam bentuk lapisan/lembaran

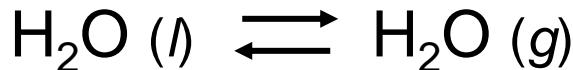
# Tekanan Uap

- Tekanan uap adalah tekanan gas suatu zat yang berada dalam kesetimbangan dinamik dengan cairan murni zat tersebut
- Tekanan uap merupakan karakteristik suatu zat pada temperatur tertentu
- Cairan mempunyai distribusi energi kinetik pada temperature tertentu
  - Molekul zat cair pada permukaan cairan yang mempunyai energi kinetik yang cukup dapat berpindah ke fasa gas
  - Tekanan uap naik dengan temperatur
    - Cairan dengan gaya inermolekuler kuat mempunyai tekanan uap yang rendah
    - Cairan dengan tekanan uap yang tinggi disebut **mudah menguap (volatile)**

- Untuk mengukur tekanan uap suatu zat, sistem harus berada dalam kesetimbangan
  - Kesetimbangan bersifat **kesetimbangan dinamik** (**dynamic equilibrium**)
  - Laju penguapan = laju kondensasi
  - Jumlah gas dan jumlah cairan tidak berubah

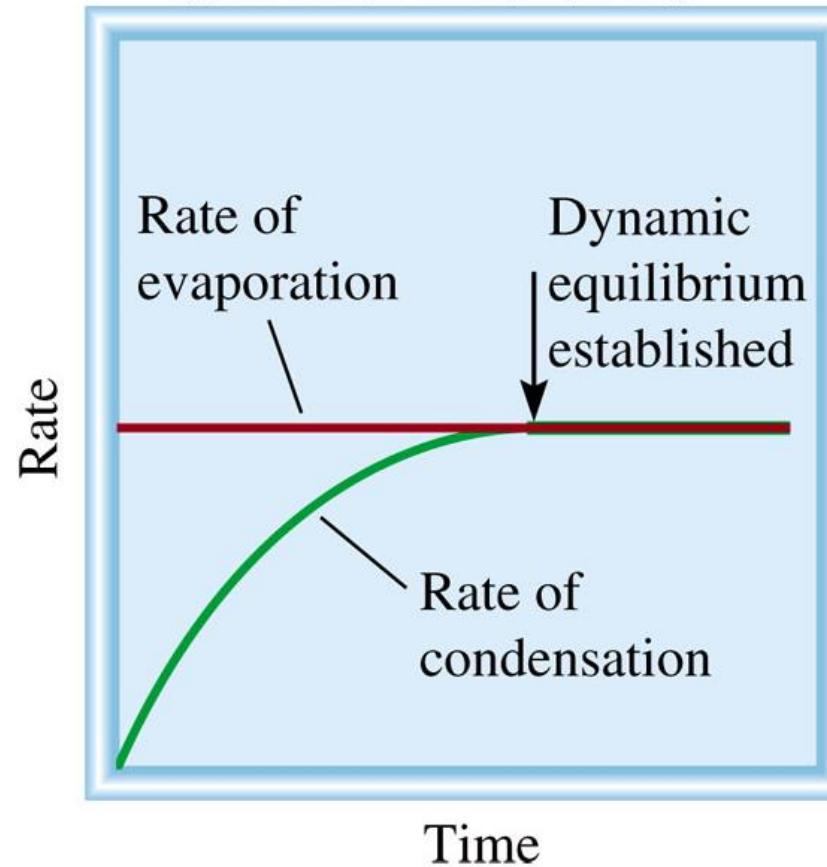


**Tekanan uap dalam kesetimbangan** adalah tekanan uap yang diukur pada saat **kesetimbangan dinamik** terjadi antara kondensasi dan penguapan

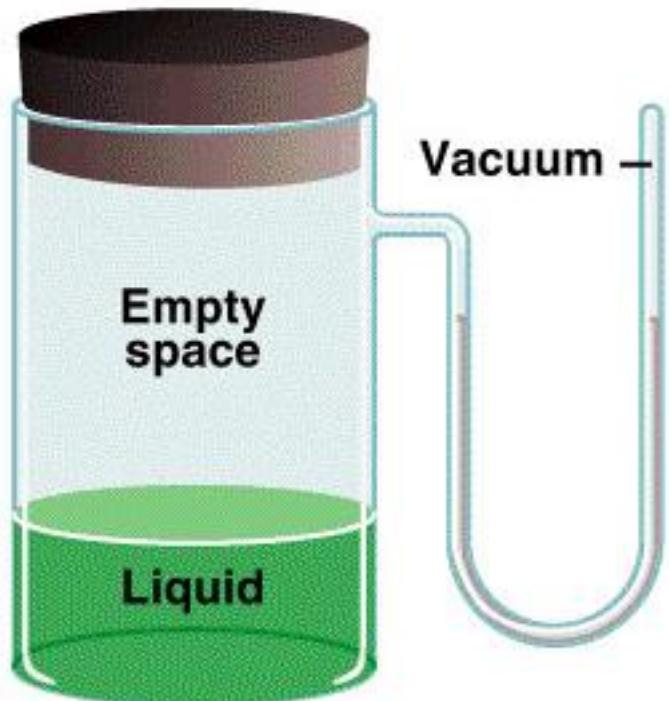


### Kesetimbangan dinamik

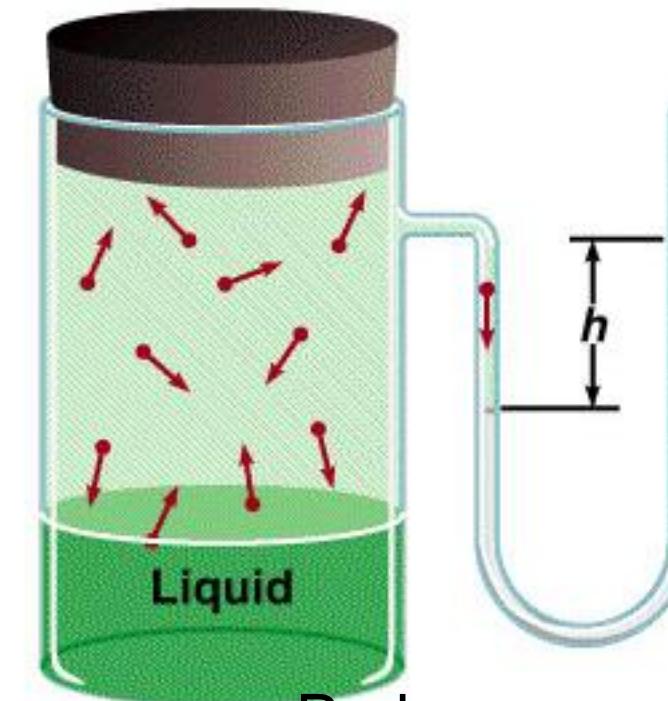
$$\text{kecepatan kondensasi} = \text{kecepatan penguapan}$$



# Apparatus for Measuring the Vapor Pressure of a Liquid



Sebelum penguapan



Pada kesetimbangan

# Tekanan uap beberapa zat pada 295 K

Table 8.1 Some vapor pressures and boiling points

Vapor pressures at 22°C and normal boiling points of a variety of substances		
Substance	Vapor Pressure (torr) ↕	Normal Boiling Point (°C)
Acetone	202	56.2
Br <sub>2</sub>	185	58.8
CClF <sub>3</sub>	24,940	-81.1
CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	4448	-29.8
CCl <sub>3</sub> F	717	23.8
CCl <sub>4</sub>	99.0	76.54
HCN	657	26
Formaldehyde	3525	-21
Methanol	108	64.96
<i>n</i> -Pentane	455	36.07
Neopentane	1163	9.5
Isobutane	2393	-11
<i>n</i> -Butane	1658	-0.5
Propane	6586	-42.07
Ethane	29,380	-88.63
Water	19.8	100

- Zat dengan gaya tarik menarik yang lemah:
  - tekanan uap lebih tinggi
  - titik didih lebih rendah
- Pada tekanan udara lebih rendah → titik didih lebih rendah

**Kalor penguapan molar** ( $\Delta H_{\text{vap}}$ ) adalah energi yang diperlukan untuk menguapkan 1 mol cairan pada titik didihnya

## Persamaan Clausius-Clapeyron

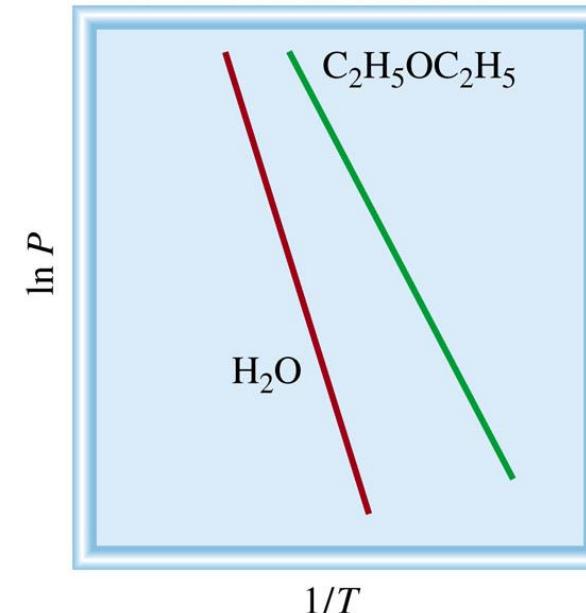
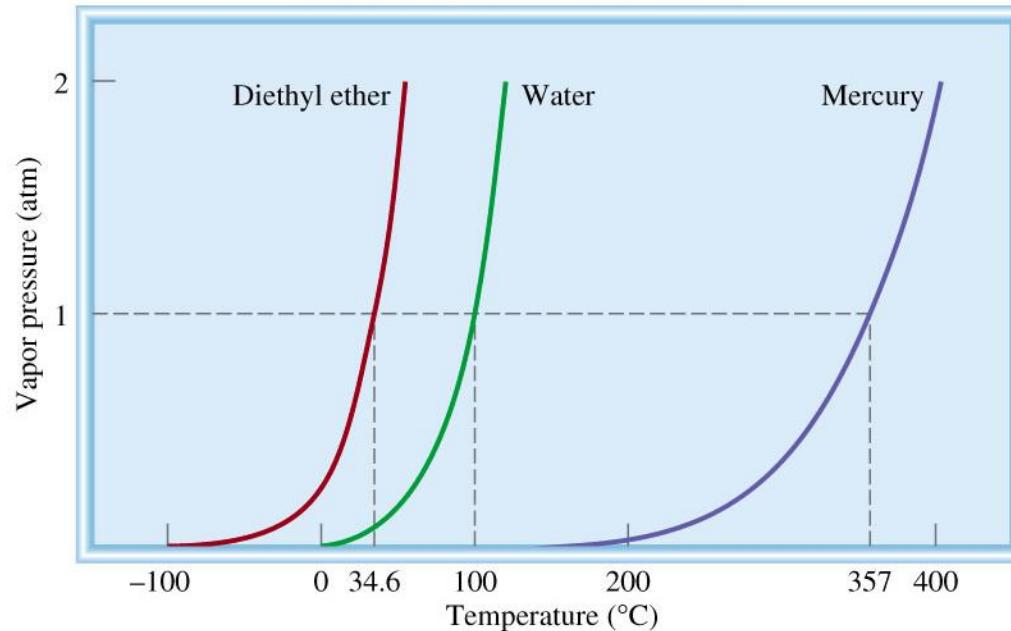
$$\ln P = - \frac{\Delta H_{\text{vap}}}{RT} + C$$

$P$  = tekanan uap pada kesetimbangan

$T$  = temperatur (K)

$R$  = tetapan gas (8,314 J/K·mol)

### Tekanan uap vs Temperatur



**Temperatur kritis** ( $T_c$ ) adalah temperatur di atas mana gas tidak dapat dicairkan, berapapun besarnya tekanan yang diberikan.  $T_c$  adalah batas temperatur di mana gas masih dapat dicairkan.

**Tekanan kritis** ( $P_c$ ) adalah tekanan yang harus digunakan untuk mencairkan gas pada temperatur kritis.

Substance	$T_c$ (°C)	$P_c$ (atm)
Ammonia (NH <sub>3</sub> )	132.4	111.5
Argon (Ar)	-186	6.3
Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	288.9	47.9
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	31.0	73.0
Ethanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	243	63.0
Diethyl ether (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> )	192.6	35.6
Mercury (Hg)	1462	1036
Methane (CH <sub>4</sub> )	-83.0	45.6
Molecular hydrogen (H <sub>2</sub> )	-239.9	12.8
Molecular nitrogen (N <sub>2</sub> )	-147.1	33.5
Molecular oxygen (O <sub>2</sub> )	-118.8	49.7
Sulfur hexafluoride (SF <sub>6</sub> )	45.5	37.6
Water (H <sub>2</sub> O)	374.4	219.5

**Titik didih** adalah temperatur di mana tekanan uap suatu cairan (pada kesetimbangan) = tekanan luar.

**Titik didih normal** adalah temperatur di mana suatu cairan mendidih pada tekanan luar sebesar 1 atm ( tekanan uap cairan tersebut = 1 atm).

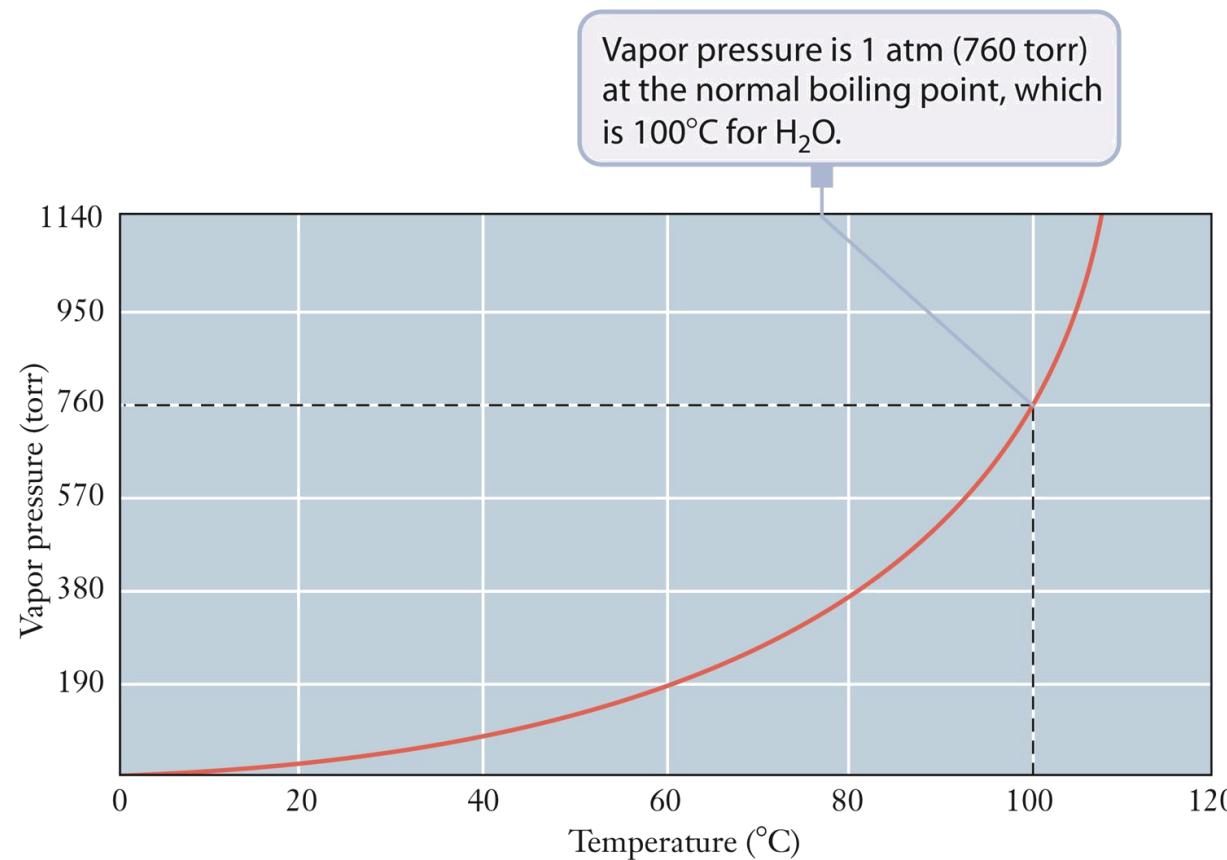
**TABLE 11.6** Molar Heats of Vaporization for Selected Liquids

Substance	Boiling Point* (°C)	$\Delta H_{\text{vap}}$ (kJ/mol)
Argon (Ar)	–186	6.3
Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	80.1	31.0
Ethanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	78.3	39.3
Diethyl ether (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> )	34.6	26.0
Mercury (Hg)	357	59.0
Methane (CH <sub>4</sub> )	–164	9.2
Water (H <sub>2</sub> O)	100	40.79

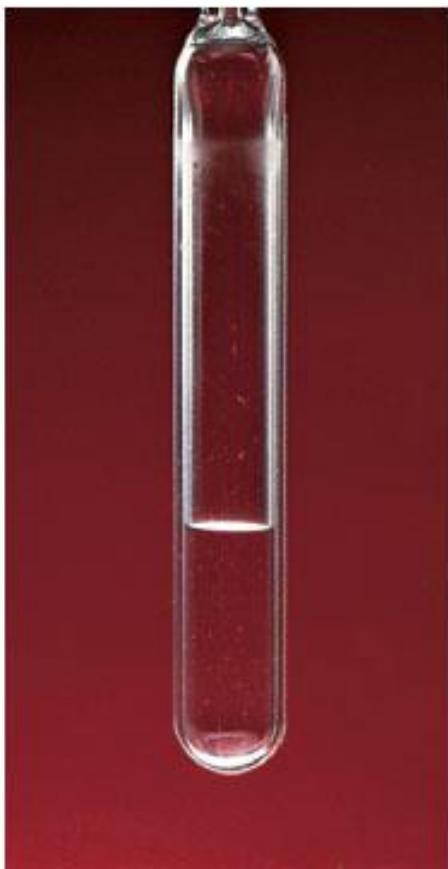
\* Measured at 1 atm.

# Titik didih

- Makin kuat gaya intermolekuler dalam cairan, tekanan uap makin rendah dan titik didih makin tinggi



# Fenomena yang terkait dengan temperatur kritis $SF_6$



$T < T_c$



$T > T_c$

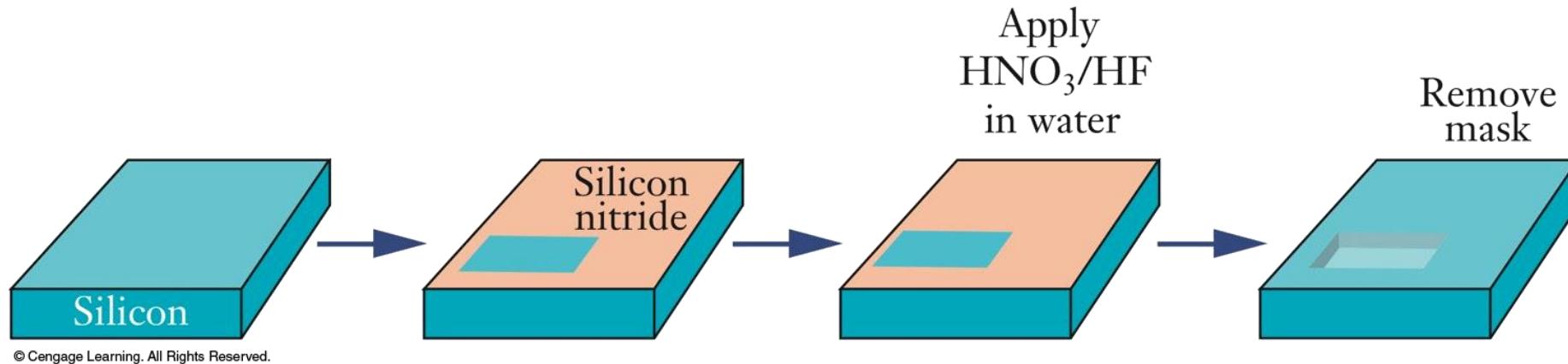


$T \sim T_c$



$T < T_c$

# Micro-Electrical Mechanical Systems or MEMS



- Steps in the wet etching of silicon to fabricate MEMS
  - Size ranges from a few microns to a few millimeters
  - Devices such as microsensors, microactuators, and accelerometers found in modern smart phones are made using this procedure