

Pengapungan sebuah magnet di atas superkonduktor suhu tinggi yang direndam dalam nitrogen cair.

Gaya Antarmolekul dan Cairan dan Padatan

Bab 11

Fase adalah bagian homogen dari sistem yang bersentuhan dengan bagian lain dari sistem tetapi dipisahkan oleh batas yang jelas.

2 Fase

Fase padatan - es

Fase cairan - air



Tabel 11.1 | Ciri Khas Gas, Cairan, dan Padatan

Wujud Materi	Volume/Bentuk	Kerapatan	Ketermampatan	Gerak Molekul
Gas	Mengambil volume dan bentuk wadahnya	Rendah	Sangat termampatkan	Sangat bebas bergerak
Cairan	Memiliki volume tertentu tetapi mengambil bentuk wadahnya	Tinggi	Sedikit termampatkan	Meluncur satu terhadap yang lain dengan bebas
Padatan	Memiliki volume dan bentuk tertentu	Tinggi	Hampir tak termampatkan	Bergetar di tempat tertentu

Gaya Antarmolekul

Gaya antarmolekul merupakan gaya tarik-menarik di antara molekul-molekul.

Gaya intramolekul mengikat atom-atom dalam suatu molekul.

Antarmolekul vs Intramolekul

- 41 kJ untuk menguapkan 1 mol air (antar)
- 930 kJ untuk memutuskan semua ikatan OH dalam 1 mol air (intra)



Secara umum, gaya **antarmolekul** jauh lebih lemah dibandingkan gaya **intramolekul**.

“Ukuran” gaya antarmolekul

titik didih

titik leleh

$$\Delta H_{\text{vap}}$$

$$\Delta H_{\text{fus}}$$

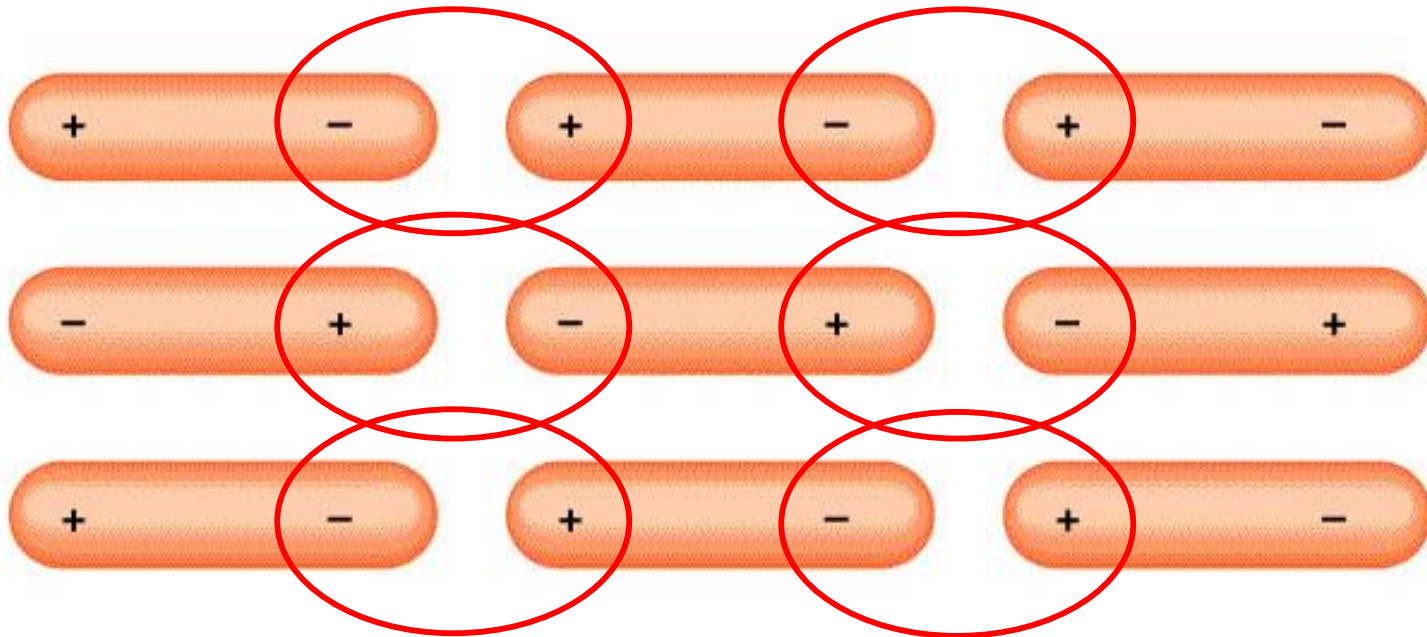
$$\Delta H_{\text{sub}}$$

Gaya Antarmolekul

Gaya Dipol-Dipol

Gaya tarik-menarik antara **molekul-molekul polar**

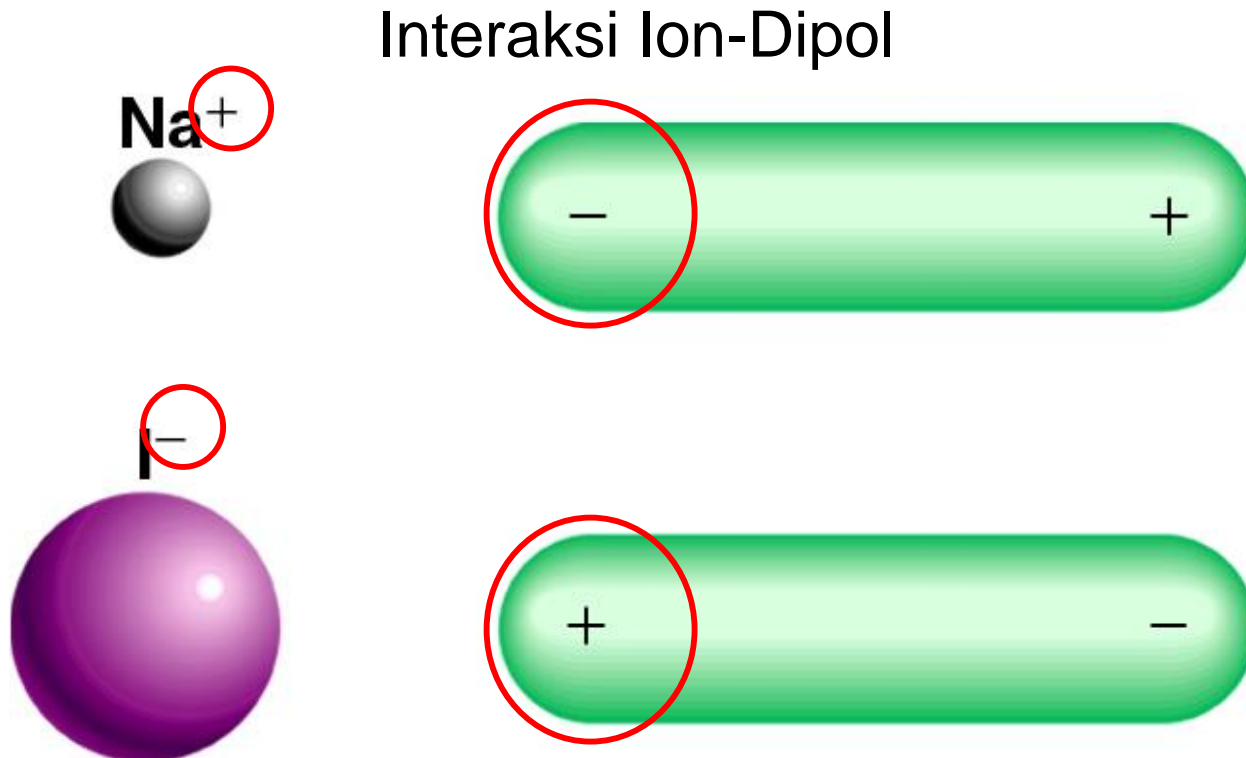
Orientasi Molekul-molekul Polar dalam suatu Padatan

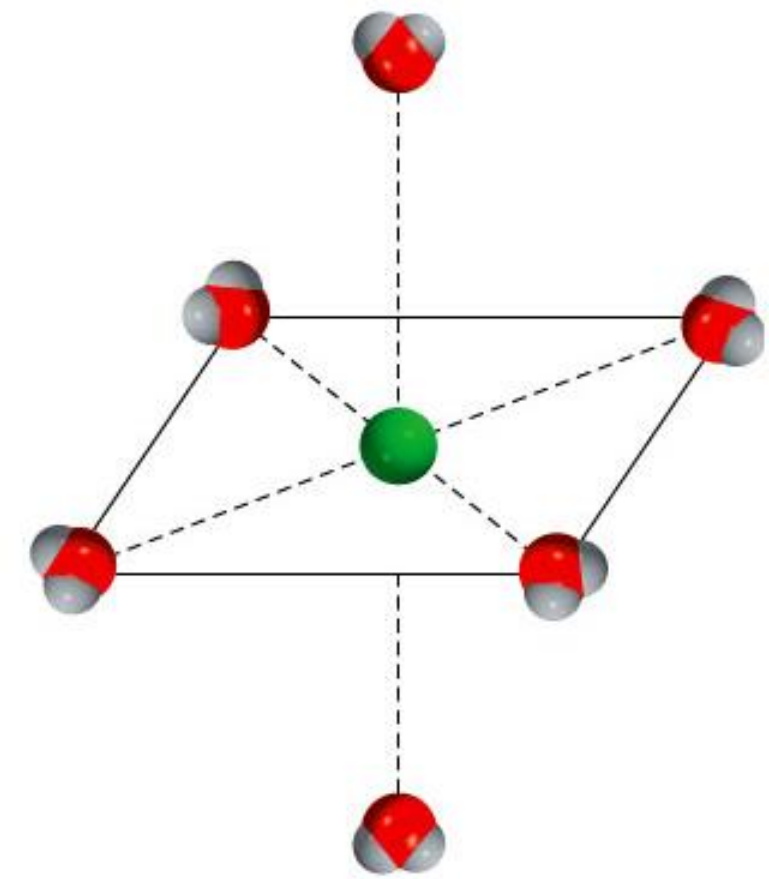
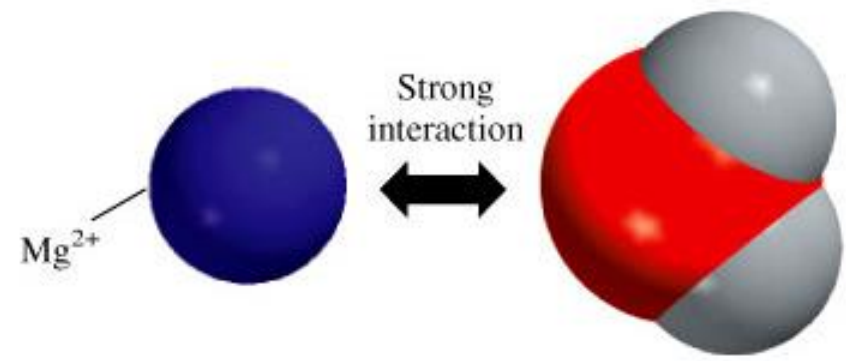
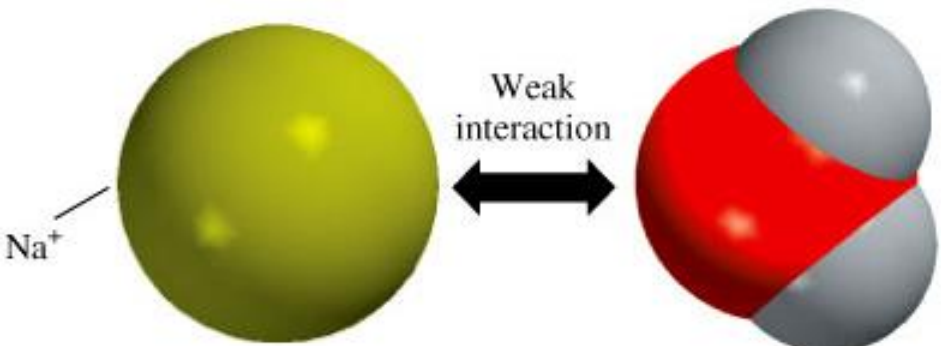


Gaya Antarmolekul

Gaya Ion-Dipol

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





Gaya Antarmolekul

Gaya Dispersi

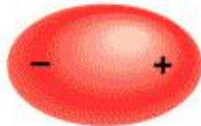
Gaya tarik-menarik yang timbul akibat **dipol sementara yang terinduksi** pada atom-atom atau molekul-molekul



Cation



Induced dipole

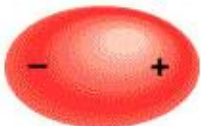


interaksi ion - dipol terinduksi

Dipole

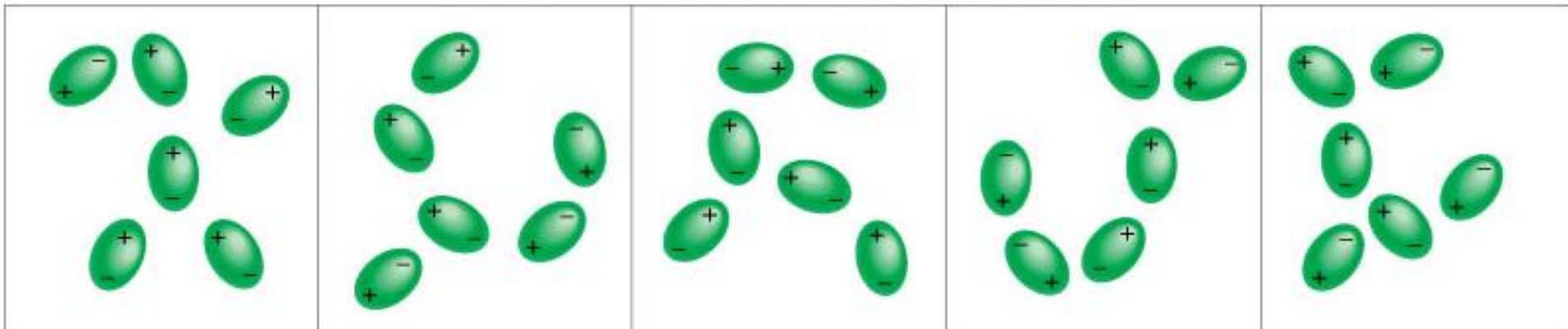


Induced dipole



interaksi dipol - dipol terinduksi

Dipol Terinduksi Berinteraksi Satu Sama Lain



Gaya Antarmolekul

Gaya Dispersi (lanjutan)

Polarisabilitas (Keterpolaran/*Polarizability*) adalah kemudahan distribusi elektron dalam atom atau molekul dapat terdistorsi/terganggu.

Polarisabilitas meningkat dengan:

- semakin **banyak** jumlah elektron
- semakin **menyebar** awan elektron

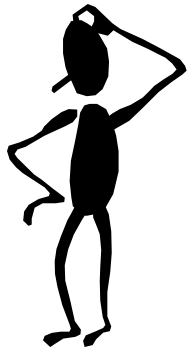


Gaya dispersi biasanya meningkat seiring dengan bertambahnya massa molar.

TABLE 11.2

Melting Points of Similar Nonpolar Compounds

Compound	Melting Point (°C)
CH ₄	-182.5
CF ₄	-150.0
CCl ₄	-23.0
CBr ₄	90.0
CI ₄	171.0



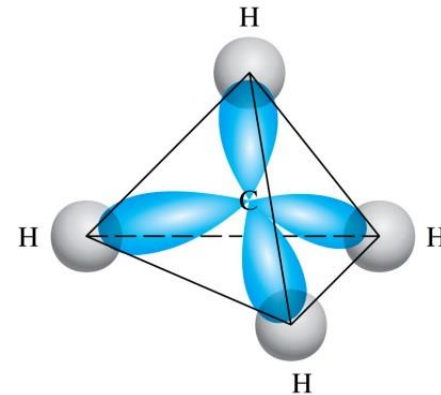
Jenis gaya antarmolekul apa yang ada di antara setiap molekul-molekul di bawah ini?

HBr

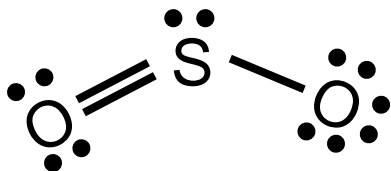
HBr adalah molekul polar: gaya dipol-dipol. Ada juga gaya dispersi di antara molekul-molekul HBr.

CH₄

CH₄ bersifat nonpolar: gaya dispersi.



SO₂



SO₂ adalah molekul polar: gaya dipol-dipol. Ada juga gaya dispersi di antara molekul-molekul SO₂.

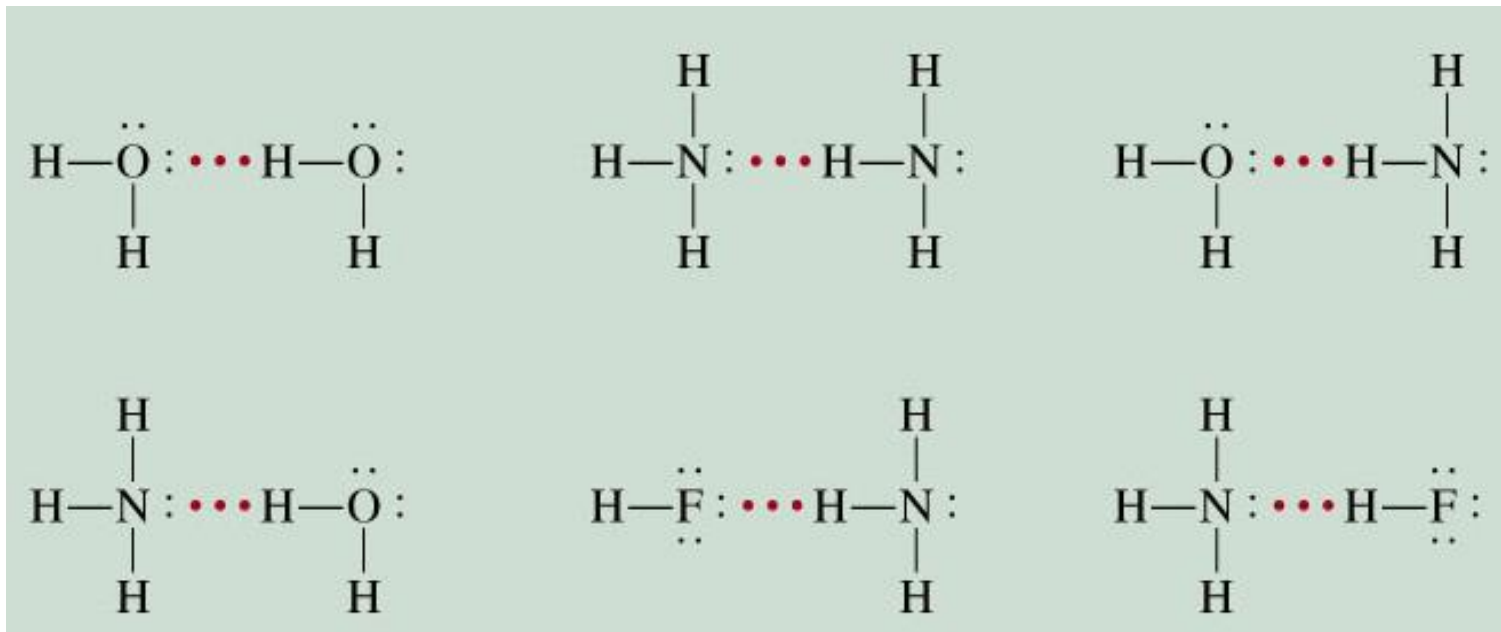
Gaya Antarmolekul

Ikatan Hidrogen

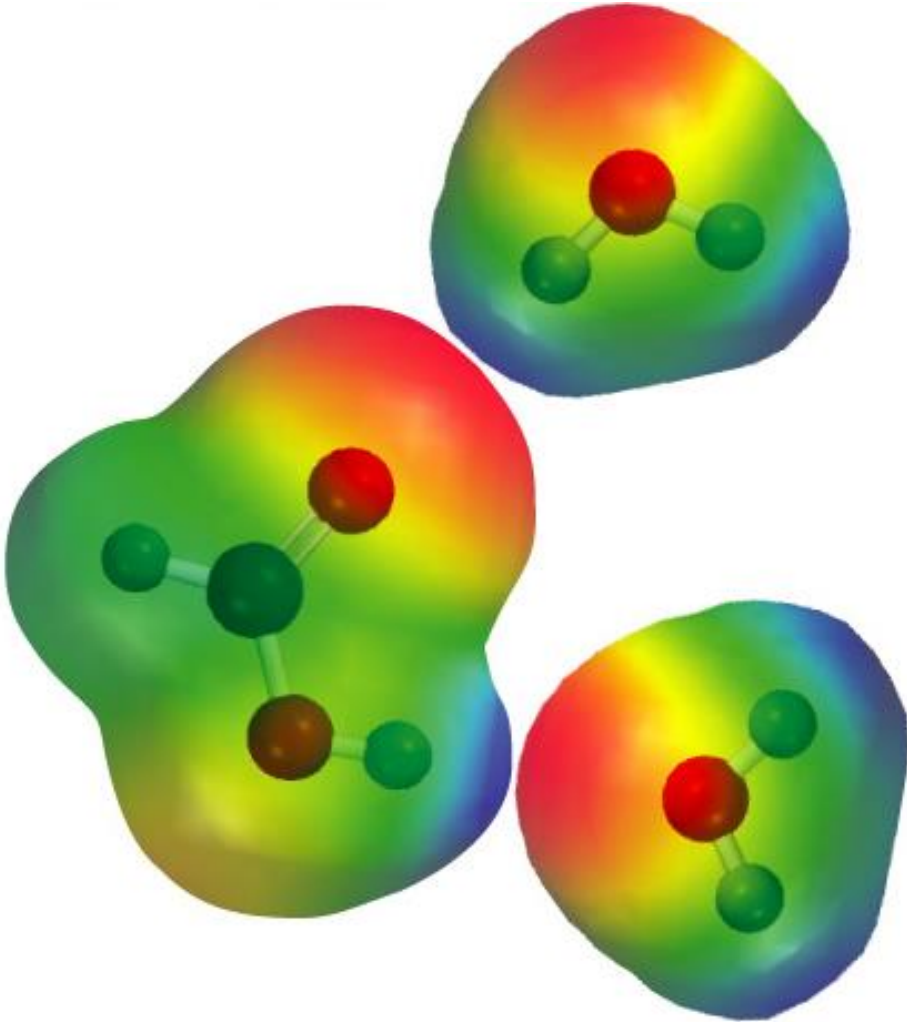
Ikatan **hidrogen** adalah interaksi dipol-dipol khusus antara atom hidrogen dalam suatu ikatan polar N-H, O-H, atau F-H dan suatu atom O, N, atau F yang elektronegatif.



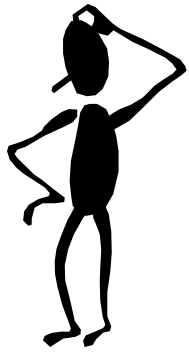
A & B adalah N, O, atau F



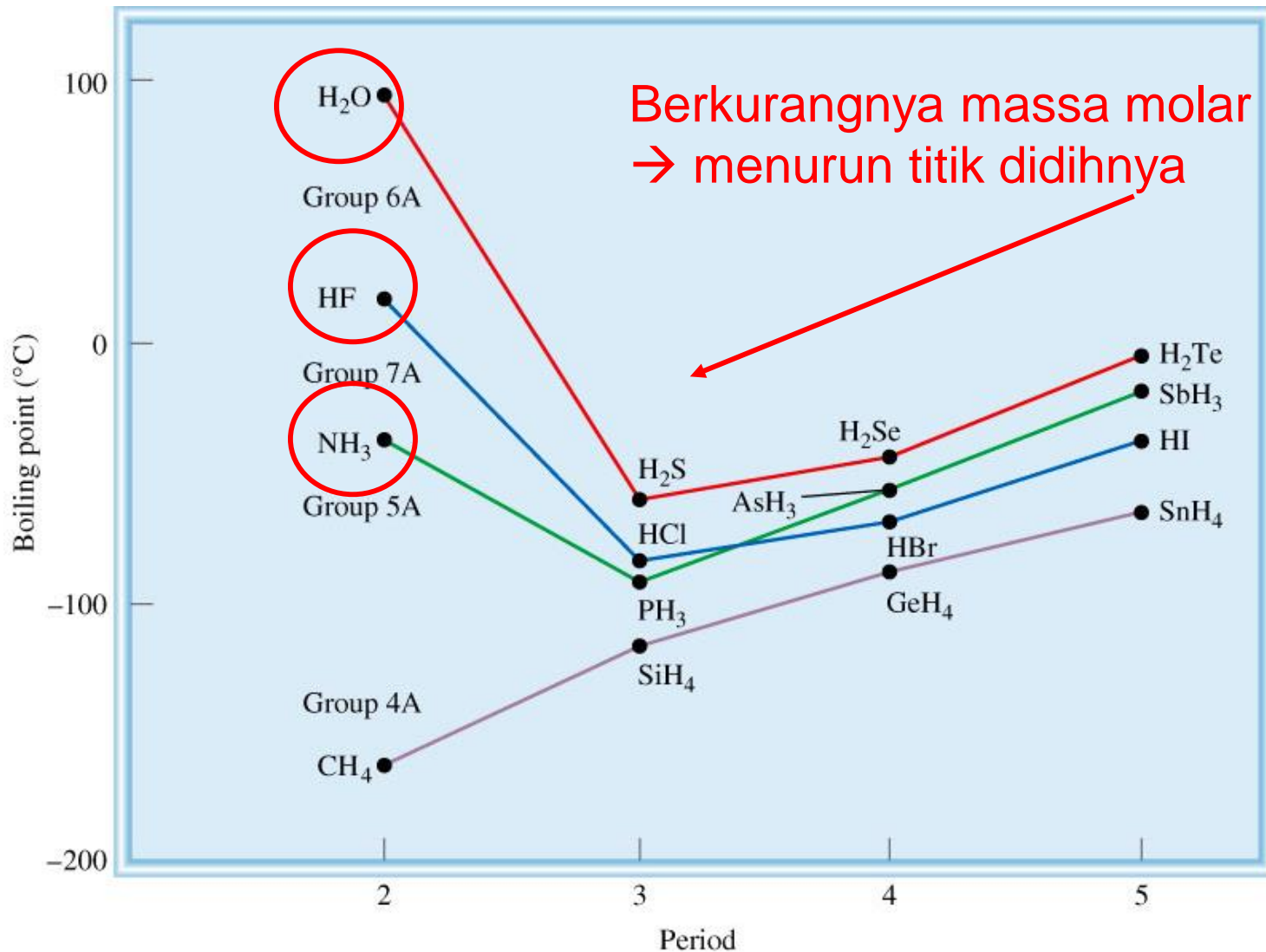
Ikatan Hidrogen



1A																			8A
	2A												3A	4A	5A	6A	7A		
																N	O	F	



Mengapa ikatan hidrogen dianggap sebagai interaksi dipol-dipol “khusus”?



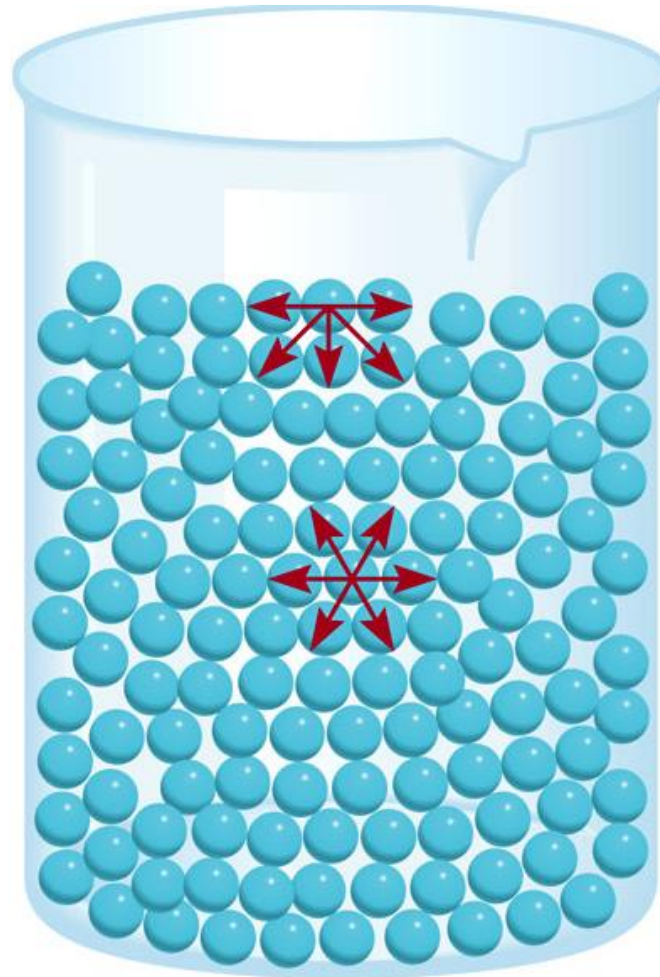
Sifat-sifat Cairan

Tegangan permukaan (*Surface tension*) adalah jumlah energi yang diperlukan untuk meregangkan atau memperbesar permukaan suatu zat cair sebesar satu satuan luas.

Gaya antarmolekul
kuat



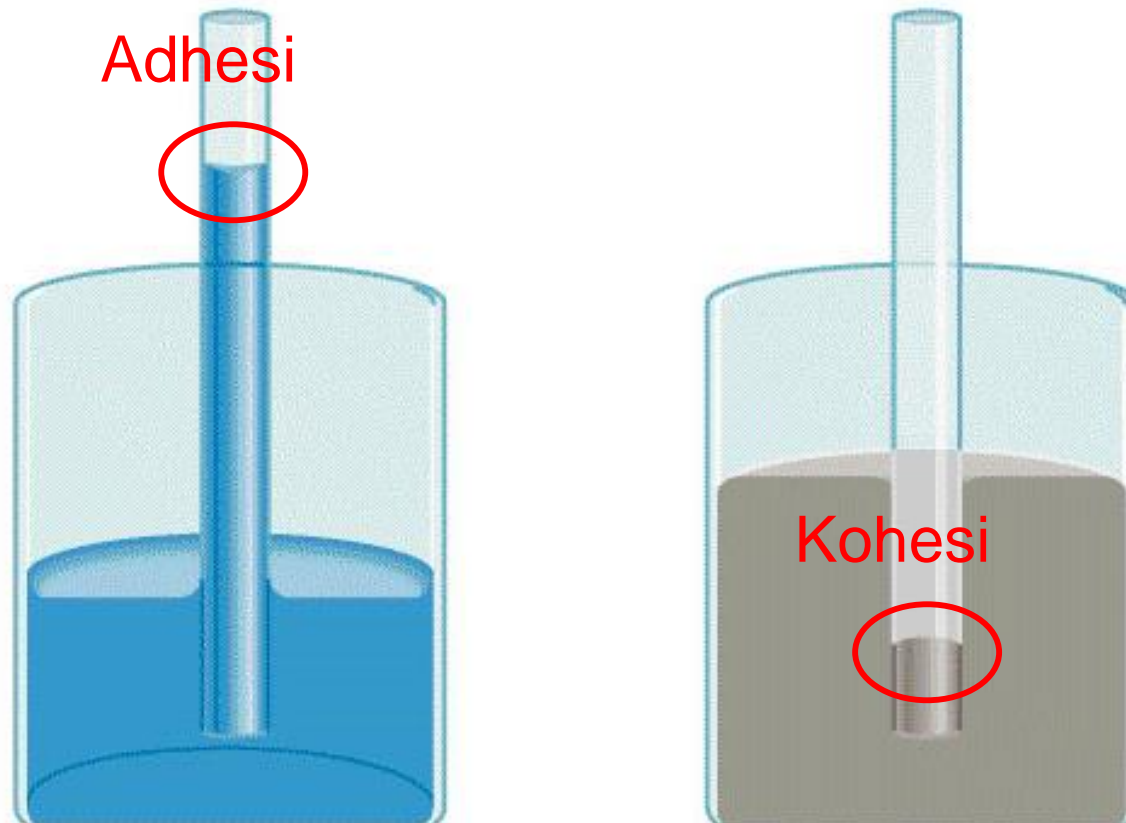
**Tegangan permukaan
yang tinggi**



Sifat-sifat Cairan

Kohesi adalah gaya tarik-menarik antarmolekul antara molekul-molekul sejenis

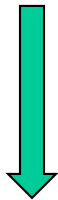
Adhesi adalah gaya tarik-menarik antara molekul-molekul yang berbeda



Sifat-sifat Cairan

Viskositas adalah ukuran hambatan suatu fluida untuk mengalir.

Gaya antarmolekul
kuat



**Viskositas
tinggi**

TABLE 11.3

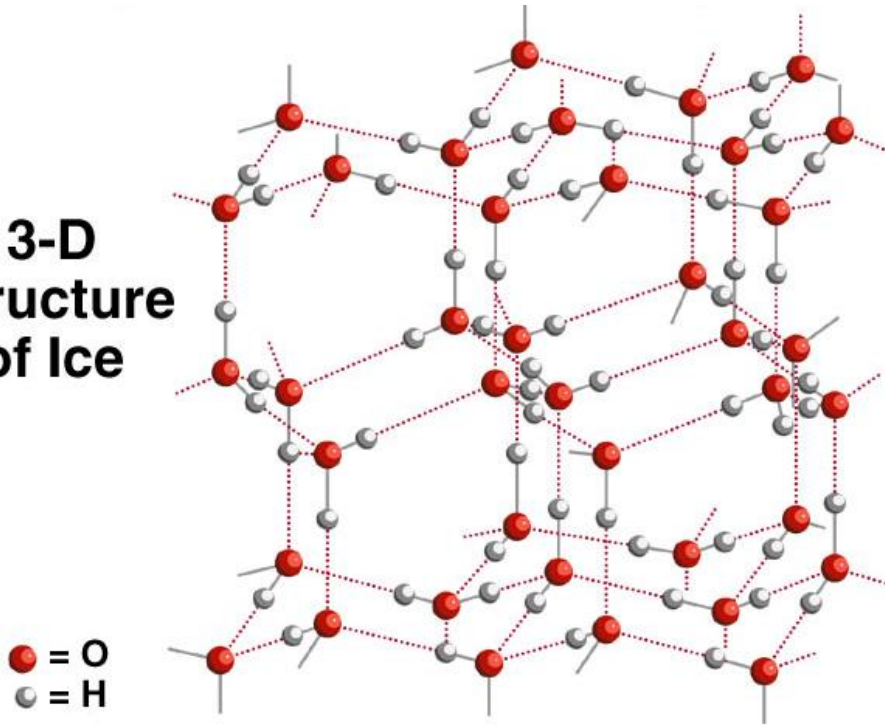
Viscosity of Some Common Liquids at 20°C

Liquid	Viscosity (N s/m ²)*
Acetone (C ₃ H ₆ O)	3.16×10^{-4}
Benzene (C ₆ H ₆)	6.25×10^{-4}
Blood	4×10^{-3}
Carbon tetrachloride (CCl ₄)	9.69×10^{-4}
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	1.20×10^{-3}
Diethyl ether (C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅)	2.33×10^{-4}
Glycerol (C ₃ H ₈ O ₃)	1.49
Mercury (Hg)	1.55×10^{-3}
Water (H ₂ O)	1.01×10^{-3}

*The SI units of viscosity are newton-second per meter squared.

Air adalah Zat Unik

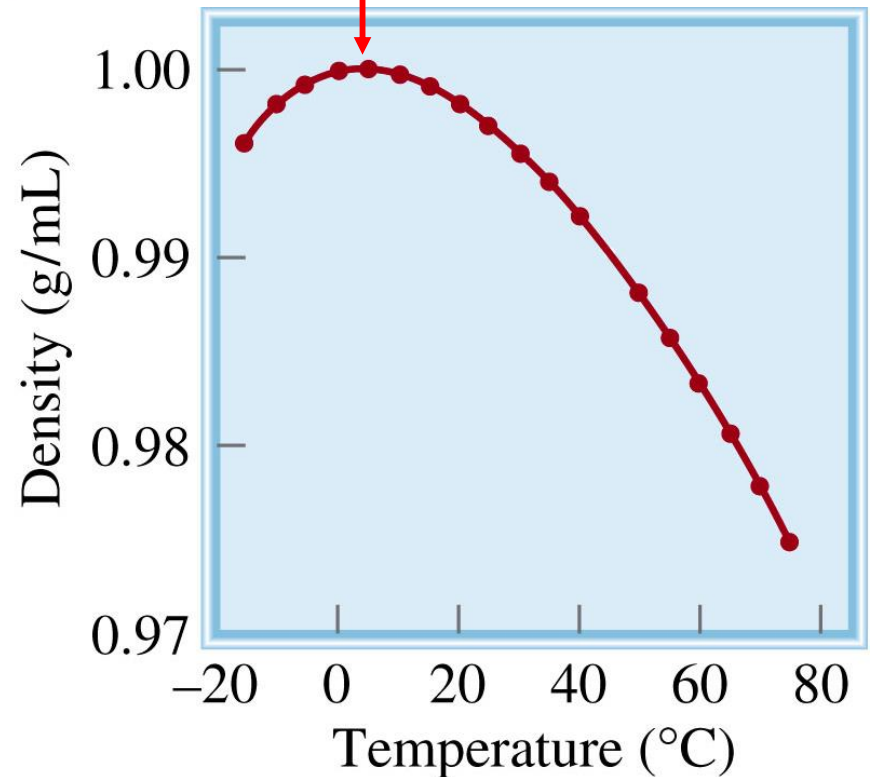
3-D Structure of Ice



Kerapatan Maksimum

4°C

Kerapatan Air



Es kurang rapat/padat dibandingkan air

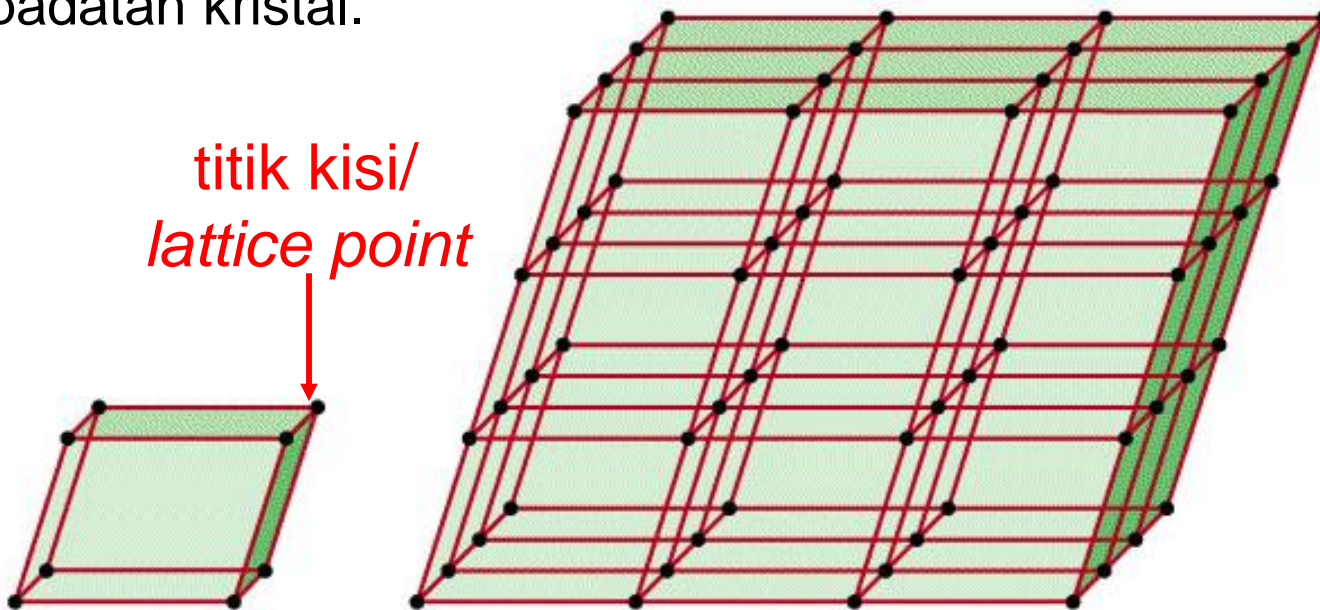


Padatan kristal memiliki keteraturan yang kaku dan berjangkauan panjang (*long-range order*).

Dalam suatu padatan kristal, atom-atom, molekul-molekul, atau ion-ion menempati posisi-posisi tertentu (dapat diprediksi).

Padatan amorf tidak memiliki susunan yang jelas dan tatanan molekul jangka panjang (*long-range*).

Sel satuan/unit cell adalah satuan/unit struktur dasar yang berulang pada padatan kristal.



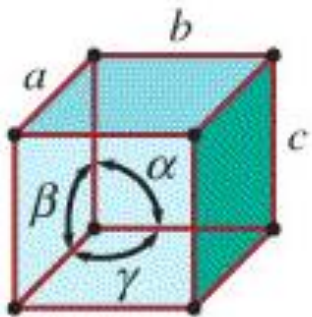
Pada titik kisi:

- Atom-atom
- Molekul-molekul
- Ion-ion

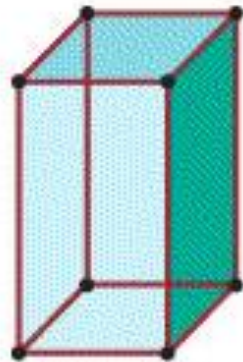
Sel Satuan

Sel satuan dalam 3 dimensi

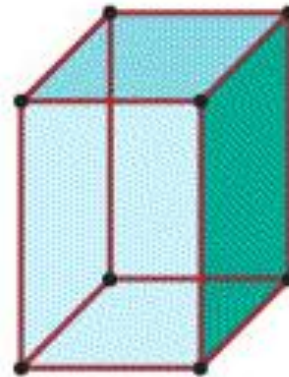
Seven Types of Unit Cells



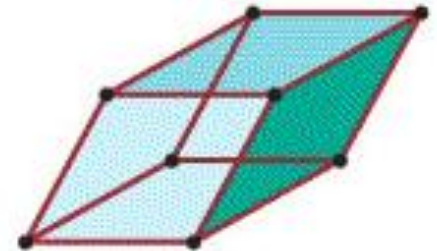
Simple cubic
 $a = b = c$
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



Tetragonal
 $a = b \neq c$
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



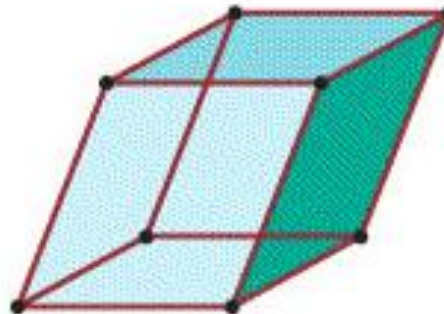
Orthorhombic
 $a \neq b \neq c$
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



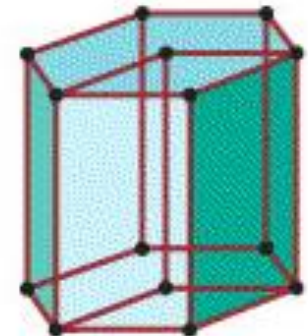
Rhombohedral
 $a = b = c$
 $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$



Monoclinic
 $a \neq b \neq c$
 $\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$

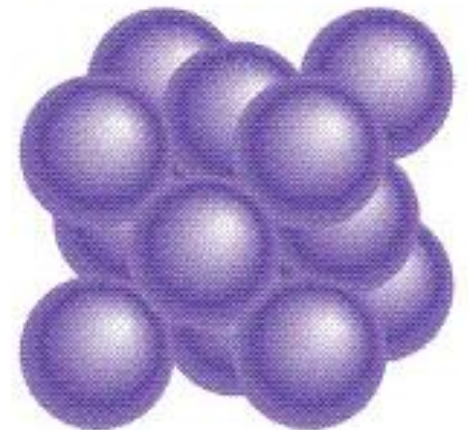
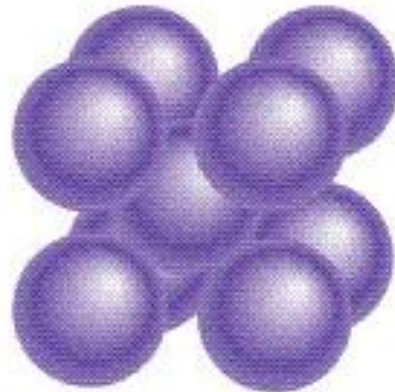
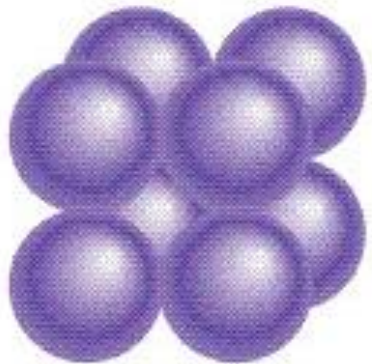
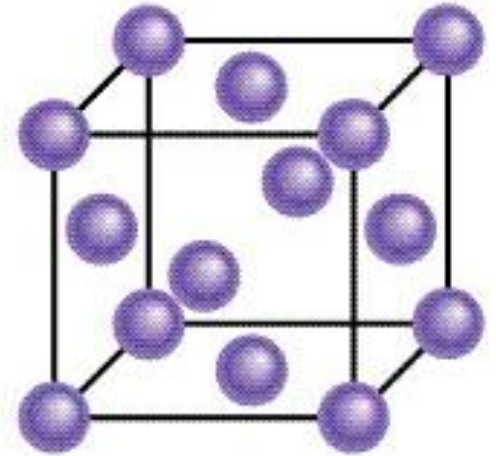
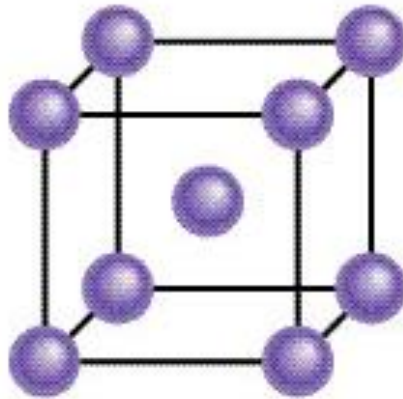
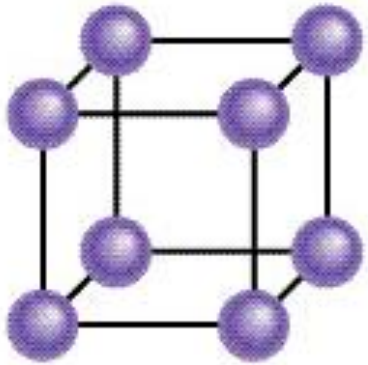


Triclinic
 $a \neq b \neq c$
 $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$



Hexagonal
 $a = b \neq c$
 $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$

Three Types of Cubic Cells

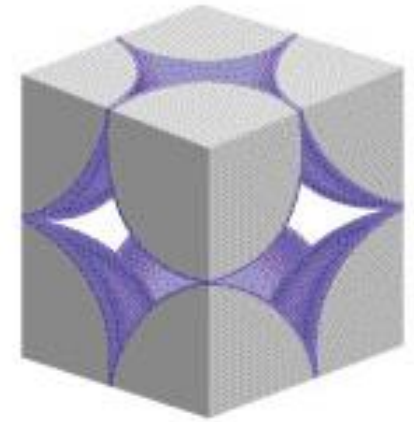
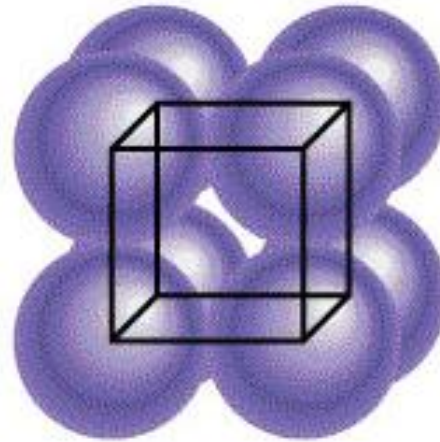
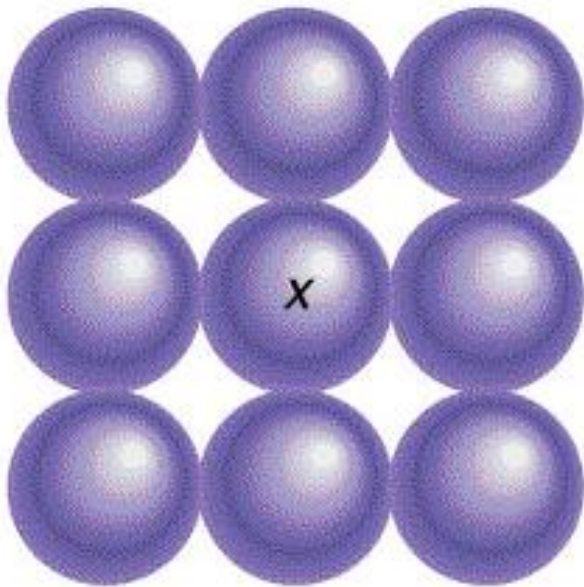


Simple cubic

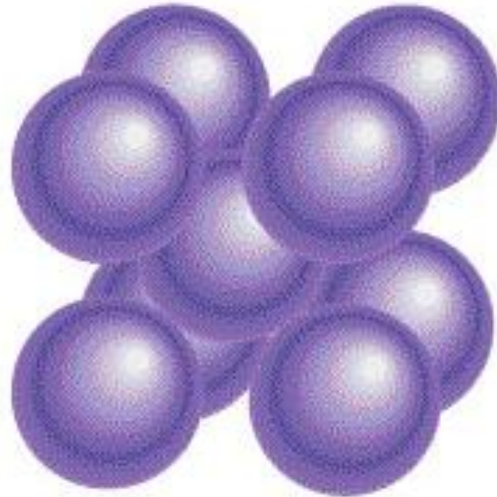
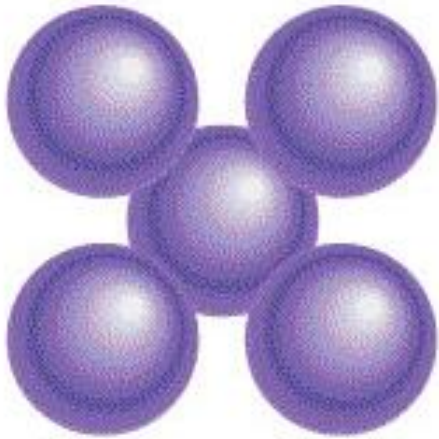
Body-centered cubic

Face-centered cubic

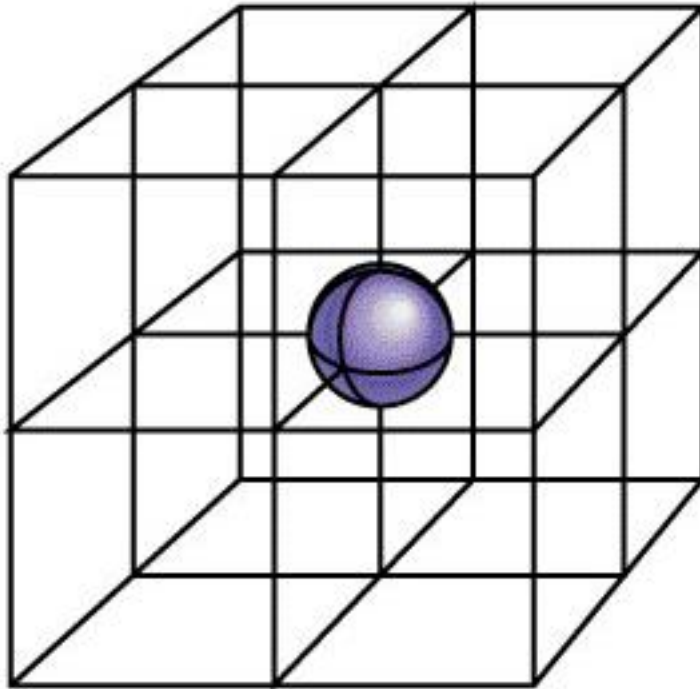
Susunan Bola-bola Identik dalam suatu Sel Kubus Sederhana/*Simple Cubic*



Susunan Bola-bola Identik dalam suatu Sel Kubus Berpusat-badan/ *Body-Centered Cubic*

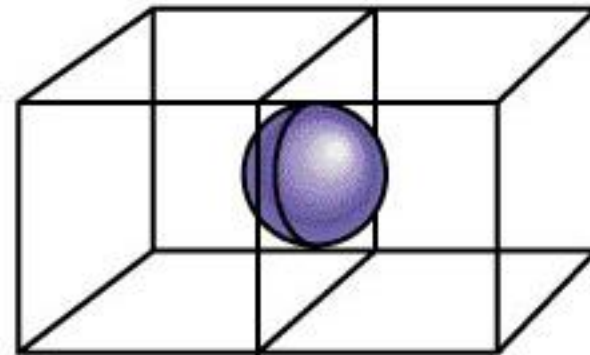


Atom Sudut dan Atom Berpusat-muka/*Face-centered*



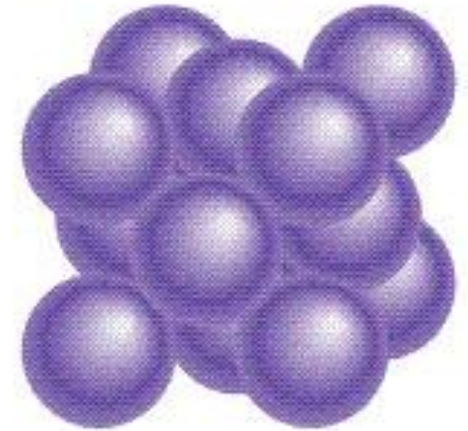
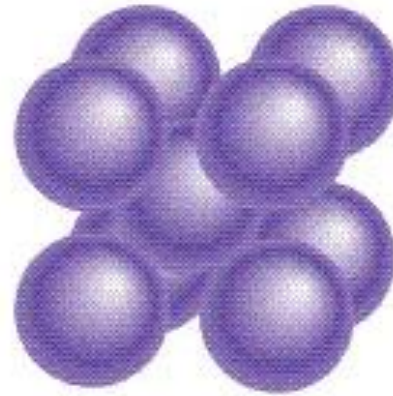
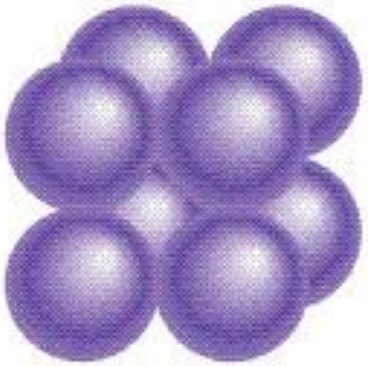
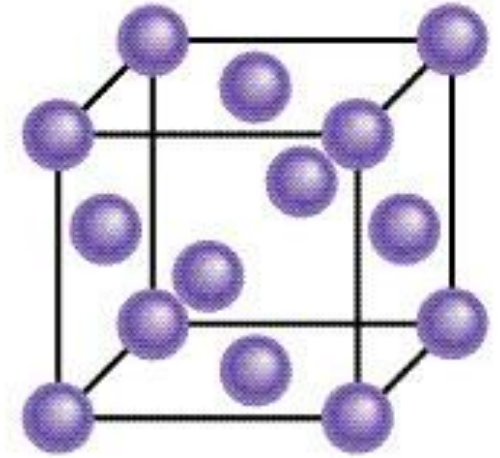
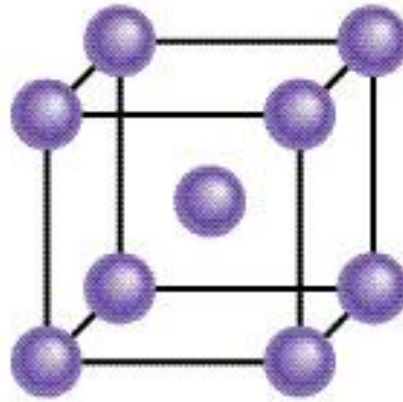
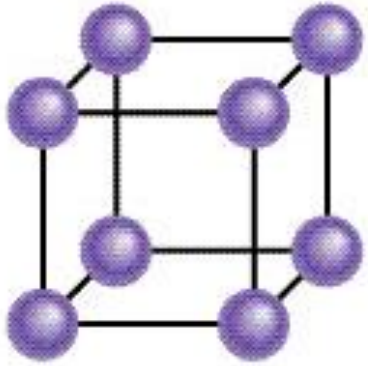
Atom Sudut

→ dibagi oleh
8 sel satuan



**Atom Berpusat-muka/
*Face-centered***

→ dibagi oleh
2 sel satuan



Simple cubic

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

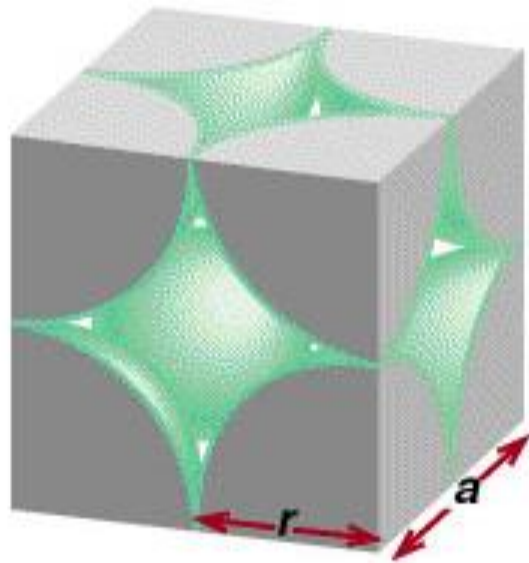
Body-centered cubic

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

Face-centered cubic

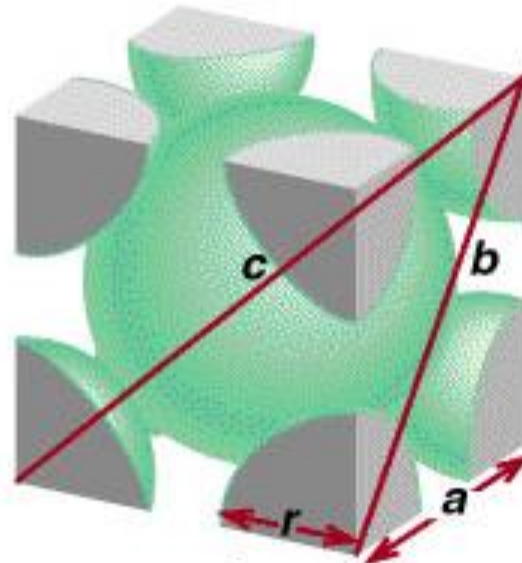
4 atom/sel satuan
 $(8 \times 1/8 + 6 \times 1/2 = 4)$

Hubungan Antara Jari-jari Atom r dan Panjang Rusuk/Tepi a dalam Tiga Sel Satuan Kubus yang Berbeda



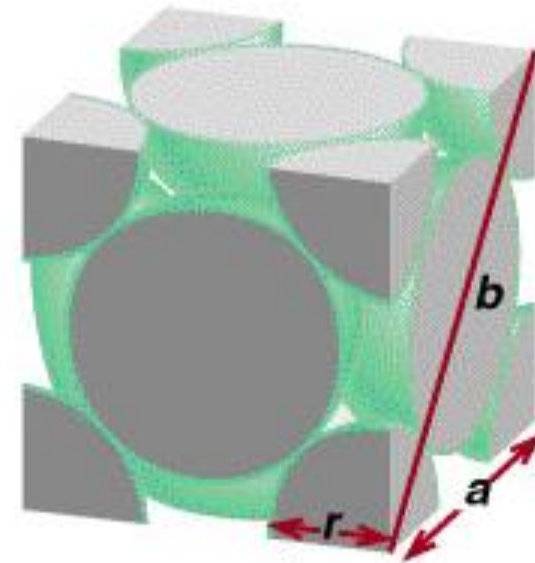
scc

$$a = 2r$$



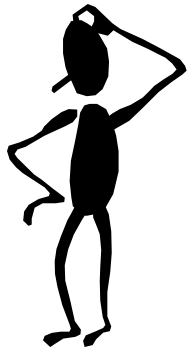
bcc

$$\begin{aligned} b^2 &= a^2 + a^2 \\ c^2 &= a^2 + b^2 \\ &= 3a^2 \\ c &= \sqrt{3}a = 4r \\ a &= \frac{4r}{\sqrt{3}} \end{aligned}$$



fcc

$$\begin{aligned} b &= 4r \\ b^2 &= a^2 + a^2 \\ 16r^2 &= 2a^2 \\ a &= \sqrt{8}r \end{aligned}$$



Ketika mengkristal, perak membentuk sel kubus berpusat-muka/*face-centered cubic*. Panjang tepi sel satuan adalah 409 pm. Hitung massa jenis perak.

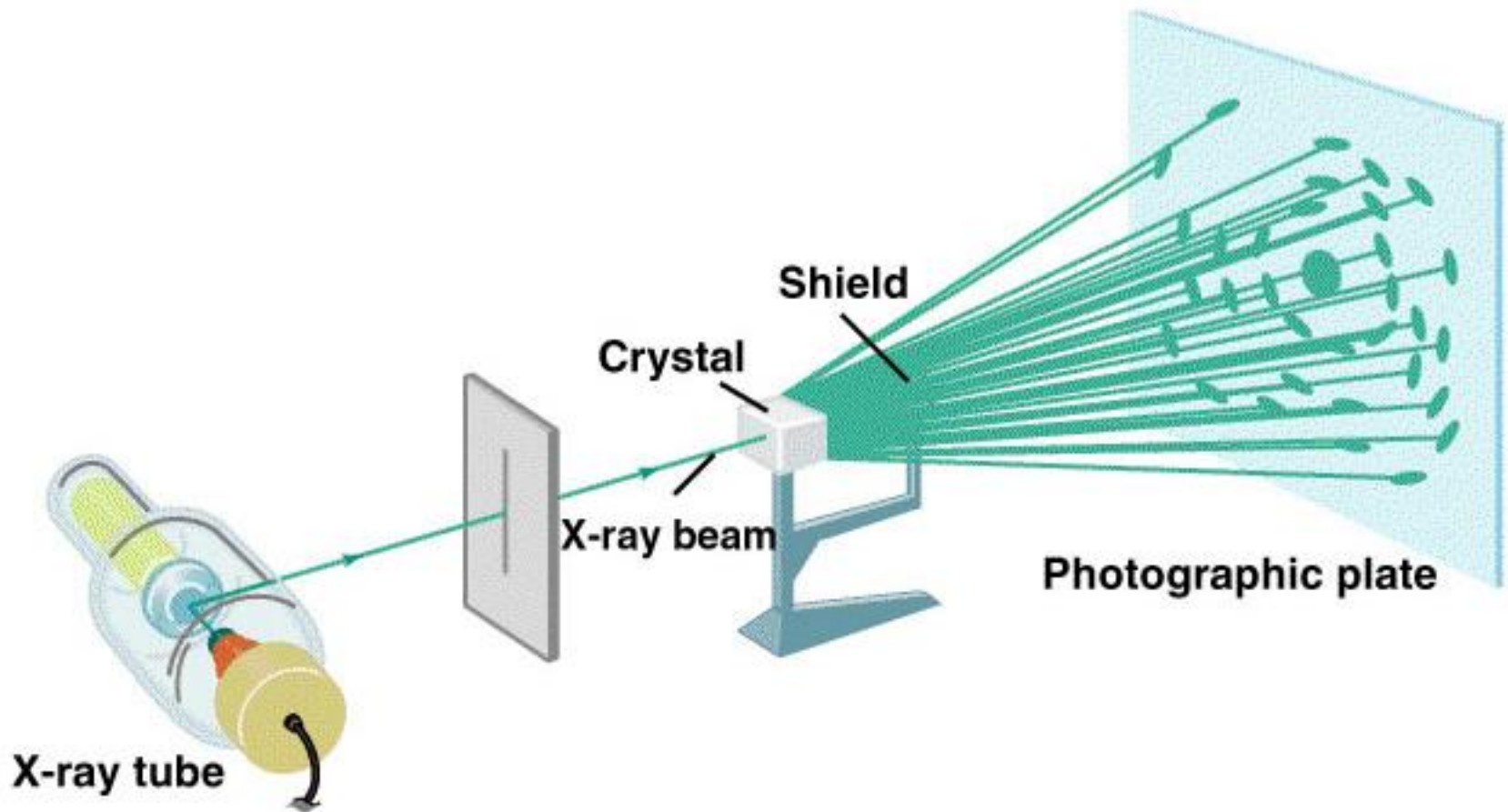
$$d = \frac{m}{V} \quad V = a^3 = (409 \text{ pm})^3 = 6,83 \times 10^{-23} \text{ cm}^3$$

4 atom/sel satuan dalam sel *face-centered cubic*

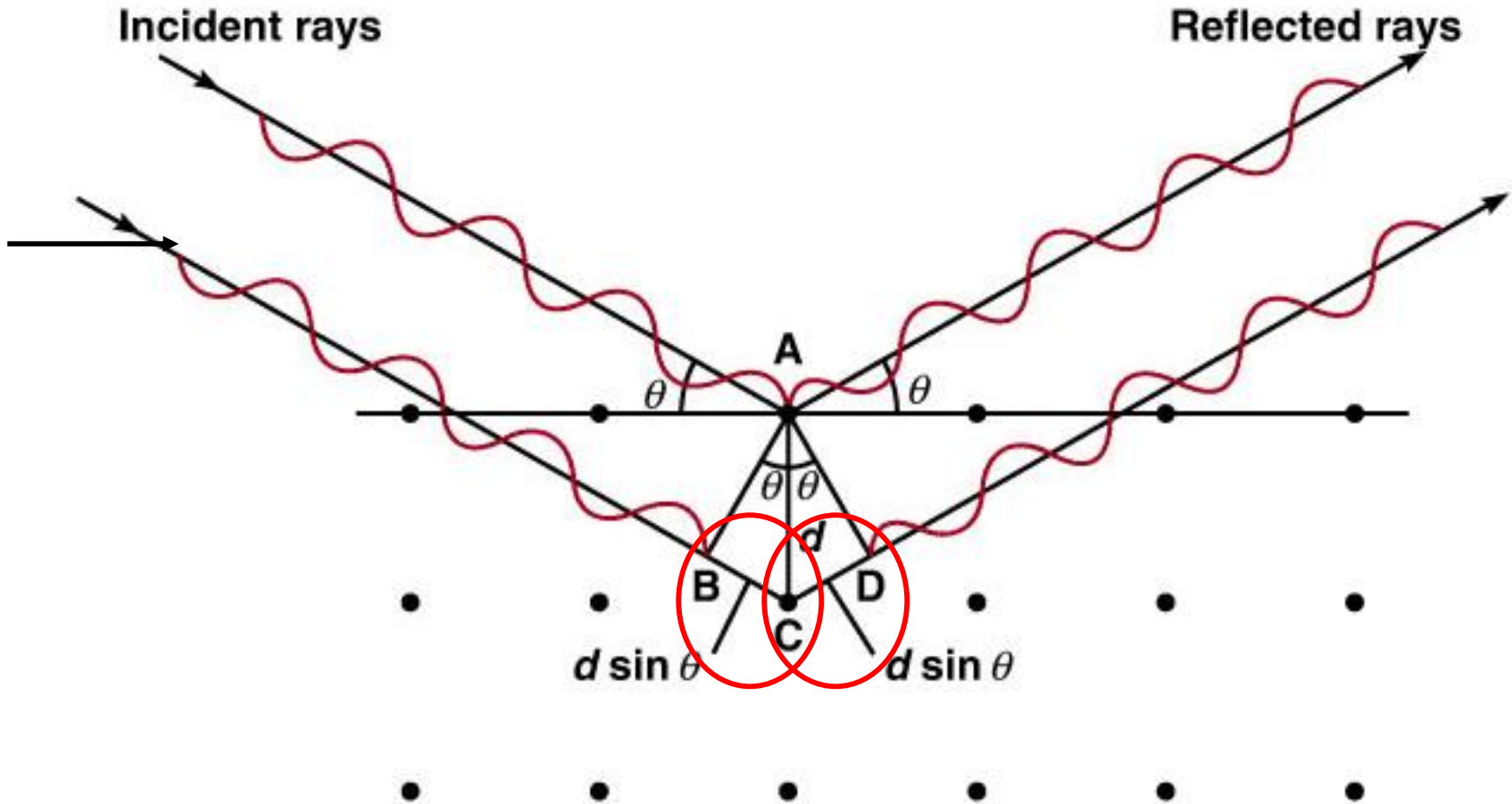
$$m = 4 \text{ Ag atom} \times \frac{107,9 \text{ g}}{\text{mol Ag}} \times \frac{1 \text{ mol Ag}}{6,022 \times 10^{23} \text{ atom}} = 7,17 \times 10^{-22} \text{ g}$$

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

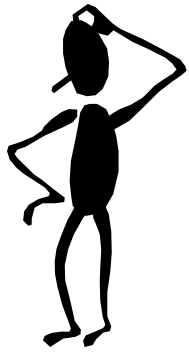
Arrangement for Obtaining the X-Ray Diffraction Pattern of a Crystal



Reflection of X Rays from Two Layers of Atoms



Extra distance = $BC + CD = 2d \sin \theta = n\lambda$ (Bragg Equation)



Sinar X dengan panjang gelombang 0,154 nm didifraksikan dari suatu kristal dengan sudut $14,17^\circ$. Dengan asumsi $n = 1$, berapakah jarak (dalam pm) antar lapisan-lapisan dalam kristal tersebut?

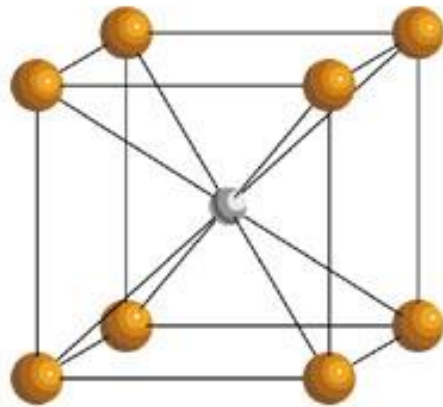
$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad n = 1 \quad \theta = 14,17^\circ \quad \lambda = 0,154 \text{ nm} = 154 \text{ pm}$$

$$d = \frac{n\lambda}{2\sin\theta} = \frac{1 \times 154 \text{ pm}}{2 \times \sin 14,17} = 314,0 \text{ pm}$$

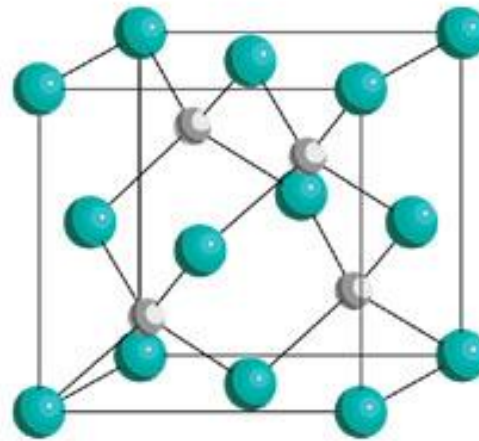
Jenis Kristal

Kristal Ionik

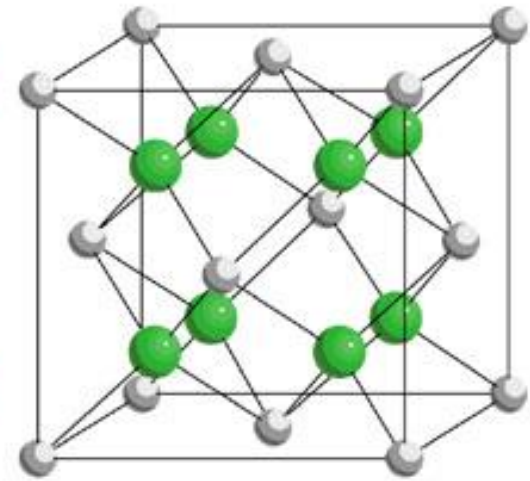
- Titik-titik kisi (*lattice points*) ditempati oleh kation-kation dan anion-anion
- Disatukan oleh tarik-menarik elektrostatis
- Keras, rapuh, titik leleh tinggi
- Konduktor panas dan listrik yang buruk dalam keadaan padat
- Dapat menghantarkan panas dan listrik jika dilelehkan atau dilarutkan



CsCl



ZnS



CaF₂

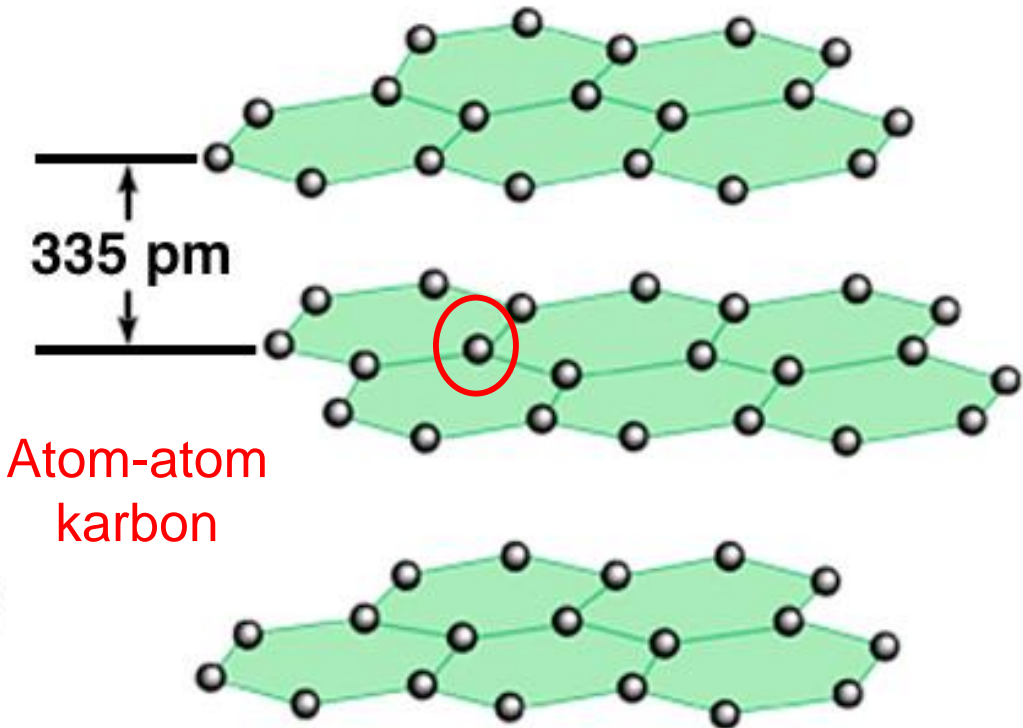
Jenis Kristal

Kristal Kovalen

- Titik-titik kisi (*lattice points*) ditempati oleh atom-atom
- Disatukan oleh ikatan-ikatan kovalen
- Keras, titik leleh tinggi
- Konduktor panas dan listrik yang buruk



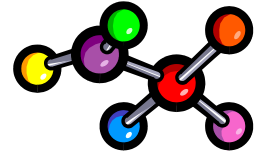
berlian



Atom-atom karbon

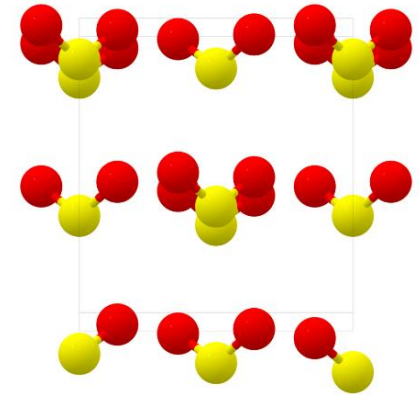
grafit

Jenis Kristal

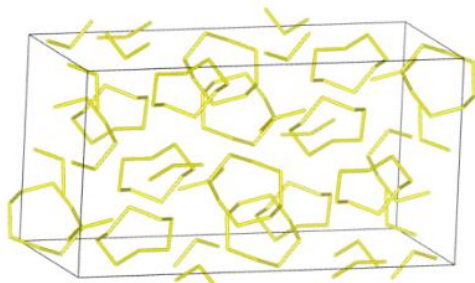


Kristal Molekular

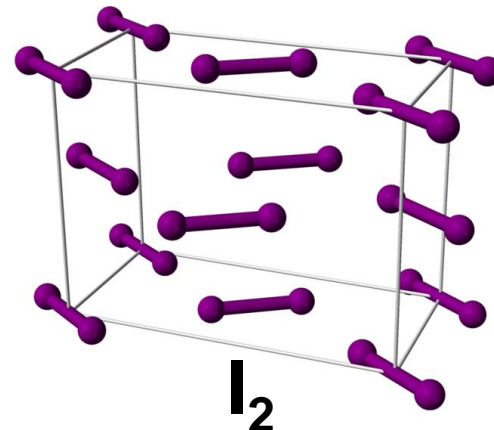
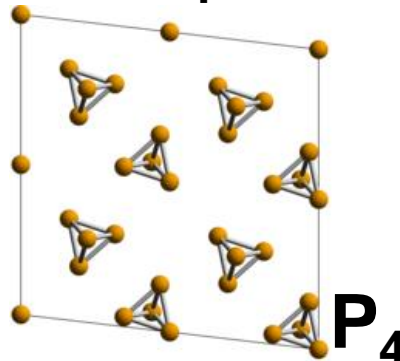
- Titik-titik kisi (*lattice points*) ditempati oleh molekul-molekul
- Disatukan oleh gaya antarmolekul
- Lembut, titik leleh rendah
- Konduktor panas dan listrik yang buruk



Sulfur



Fosfor putih



Padatan Iodin



Larutan Iodin

Jenis Kristal

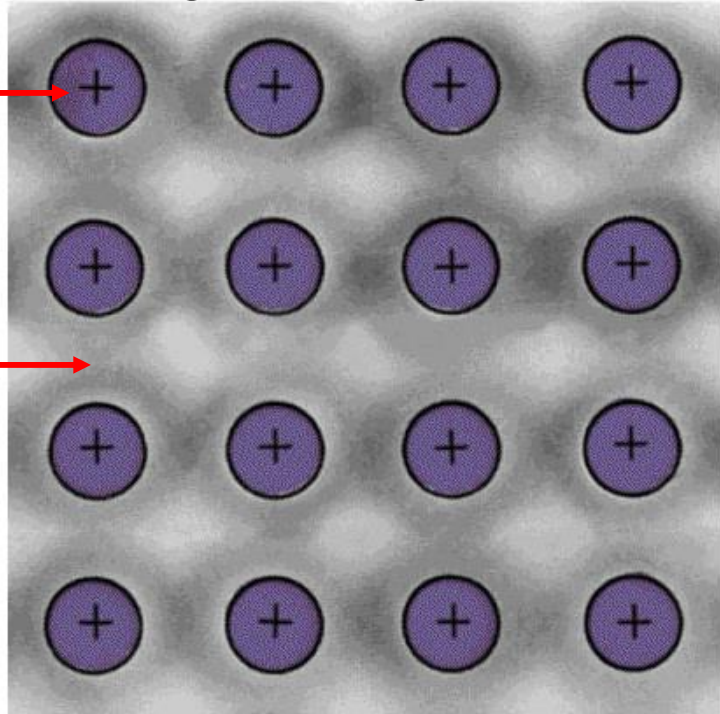
Kristal Logam

- Titik-titik kisi (*lattice points*) ditempati oleh atom-atom logam
- Disatukan oleh ikatan logam
- Lembut hingga keras, titik leleh rendah hingga tinggi
- Konduktor panas dan listrik yang baik

Penampang Lintang Kristal Logam

inti & e⁻ pada kulit
bagian dalam
(*inner shell*)

“Lautan” e⁻
yang bergerak



Struktur Kristal Logam

1 1A	2 2A												13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A
Li	Be																	
Na	Mg	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B	9 8B	10 8B	11 1B	12 2B	Al						
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn					
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb					

	Hexagonal close-packed		Body-centered cubic
	Face-centered cubic		Other structures

Jenis Kristal

TABLE 11.4 Types of Crystals and General Properties

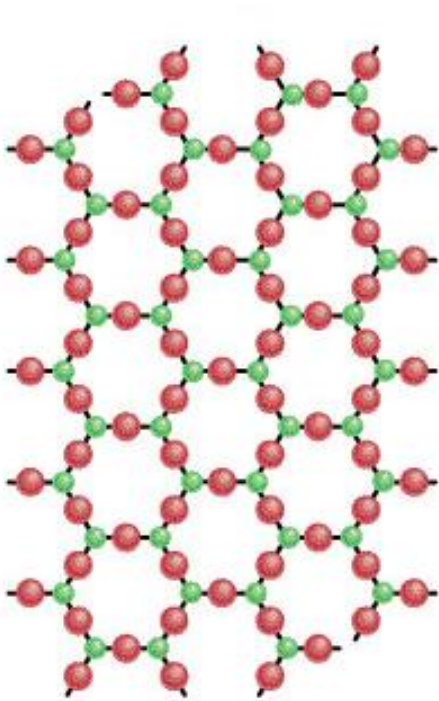
Type of Crystal	Force(s) Holding the Units Together	General Properties	Examples
Ionic	Electrostatic attraction	Hard, brittle, high melting point, poor conductor of heat and electricity	NaCl, LiF, MgO, CaCO ₃
Covalent	Covalent bond	Hard, high melting point, poor conductor of heat and electricity	C (diamond), [†] SiO ₂ (quartz)
Molecular*	Dispersion forces, dipole-dipole forces, hydrogen bonds	Soft, low melting point, poor conductor of heat and electricity	Ar, CO ₂ , I ₂ , H ₂ O, C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (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.

[†]Diamond is a good thermal conductor.

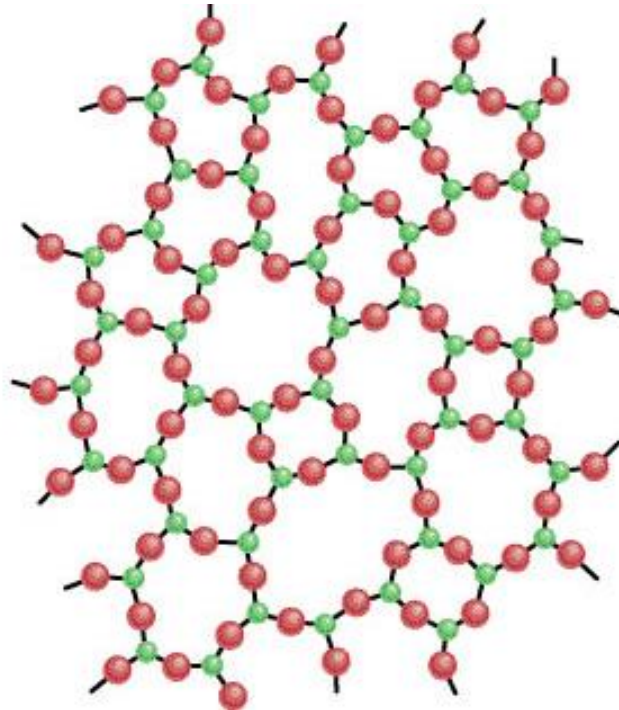
Padatan amorf tidak memiliki susunan yang jelas dan tatanan molekul jangka panjang (*long-range*).

Kaca adalah produk fusi transparan optik dari bahan anorganik yang telah didinginkan hingga menjadi kaku **tanpa pengkristalan**



Kristal

Kuarsa/
quartz (SiO_2)



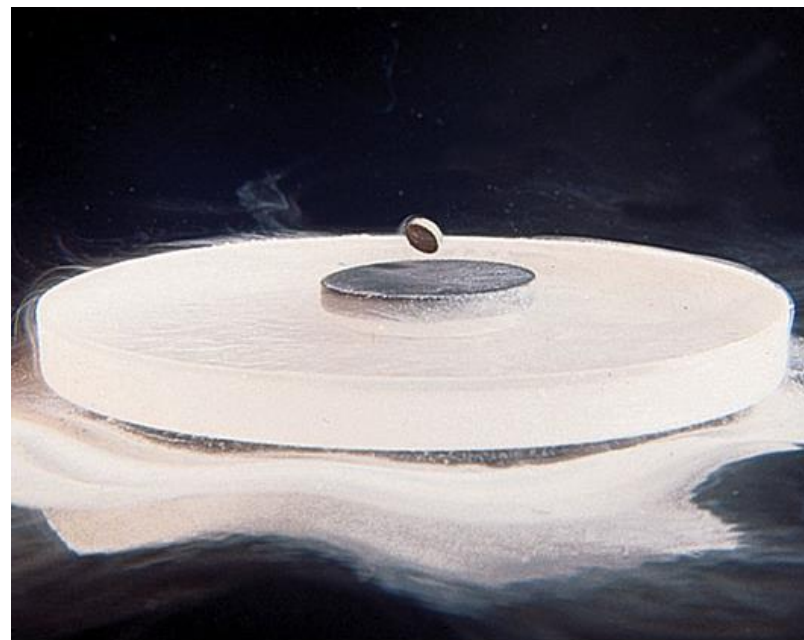
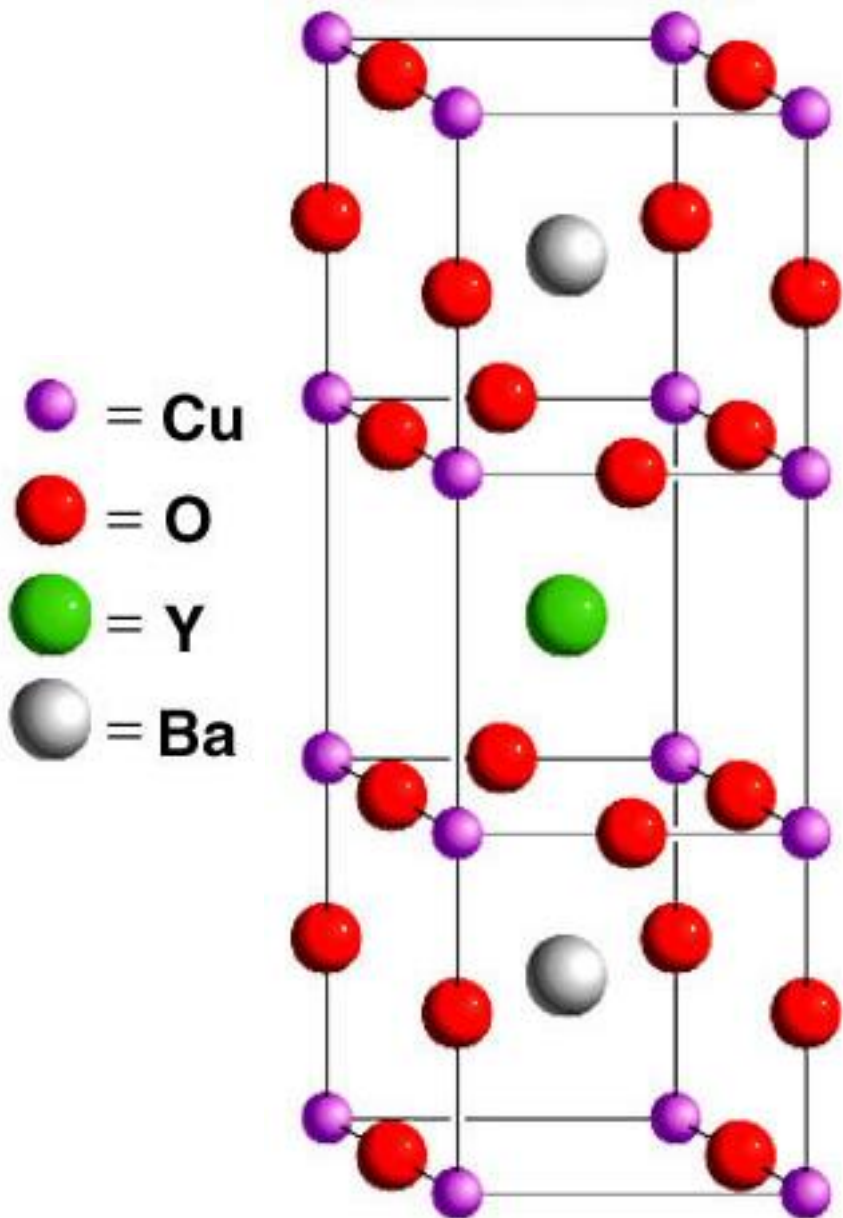
Non-kristal

Kaca kuarsa/
quartz glass



Quartz.

Kimia "in Action": Superkonduktor Suhu Tinggi



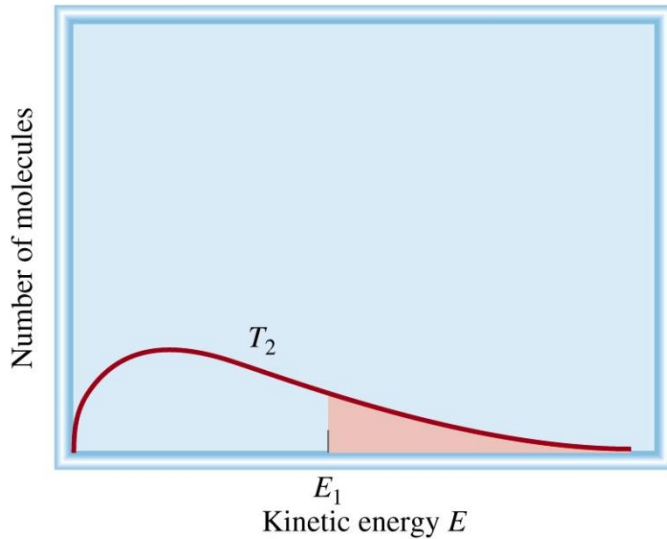
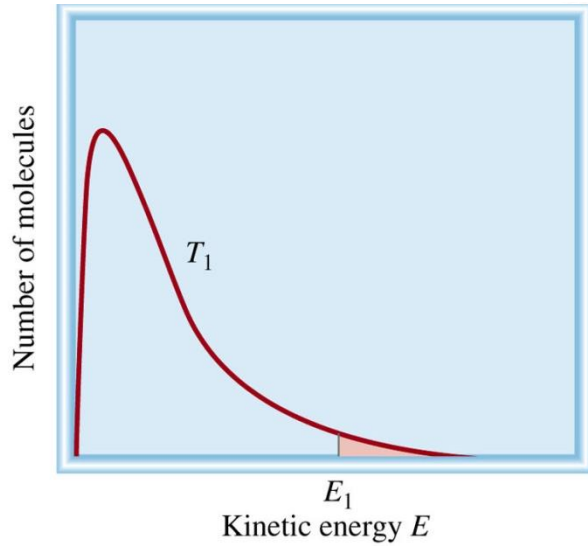
Kimia “*in Action*”:

Dan Semuanya Hanya Karena Menginginkan Suatu Tombol

$T < 13^{\circ}\text{C}$
timah putih \longrightarrow timah abu-abu
stabil lemah

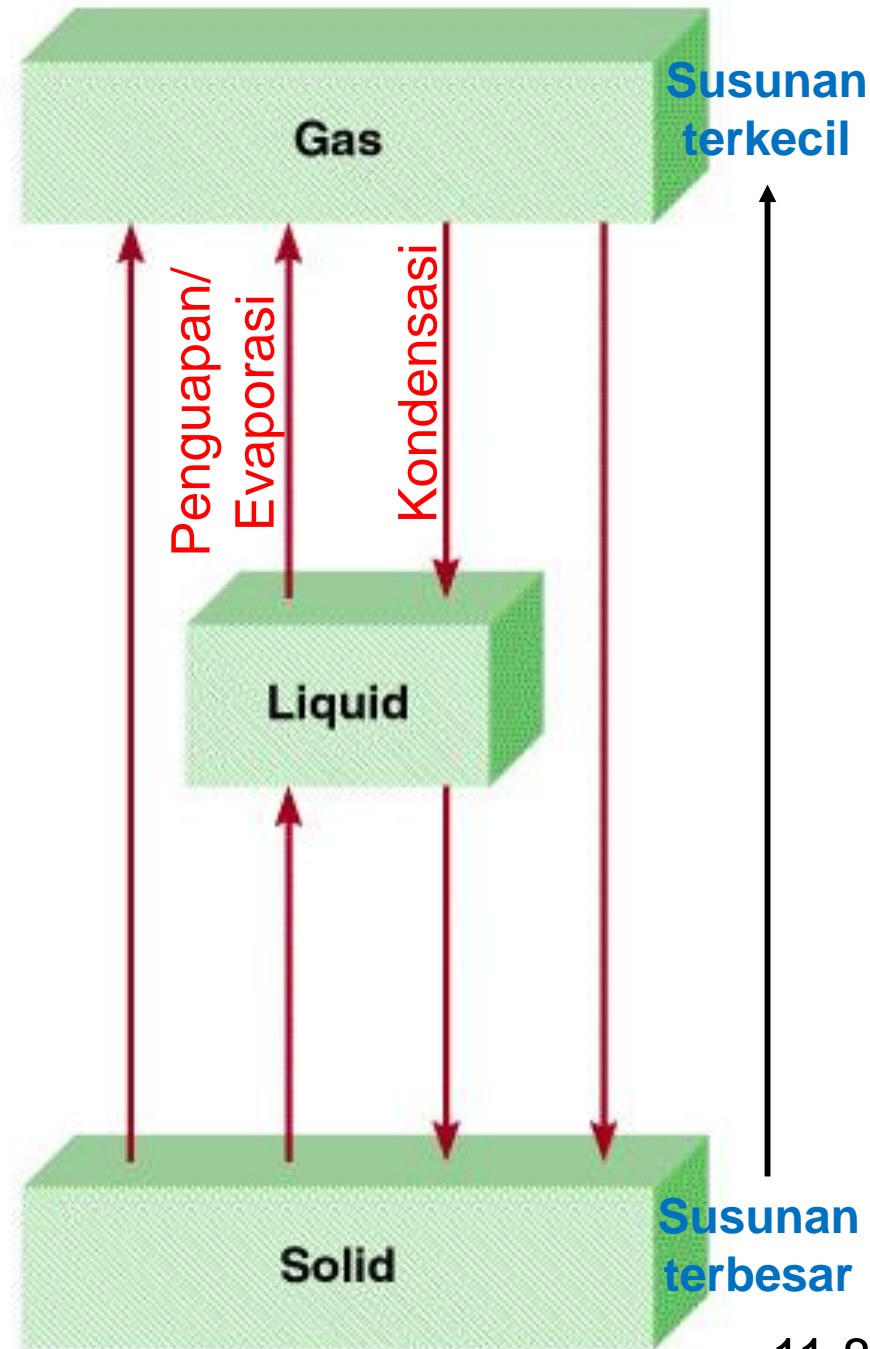


Perubahan Fase

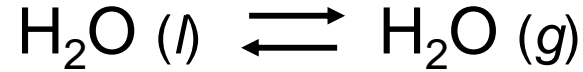


$$T_2 > T_1$$

Temperature

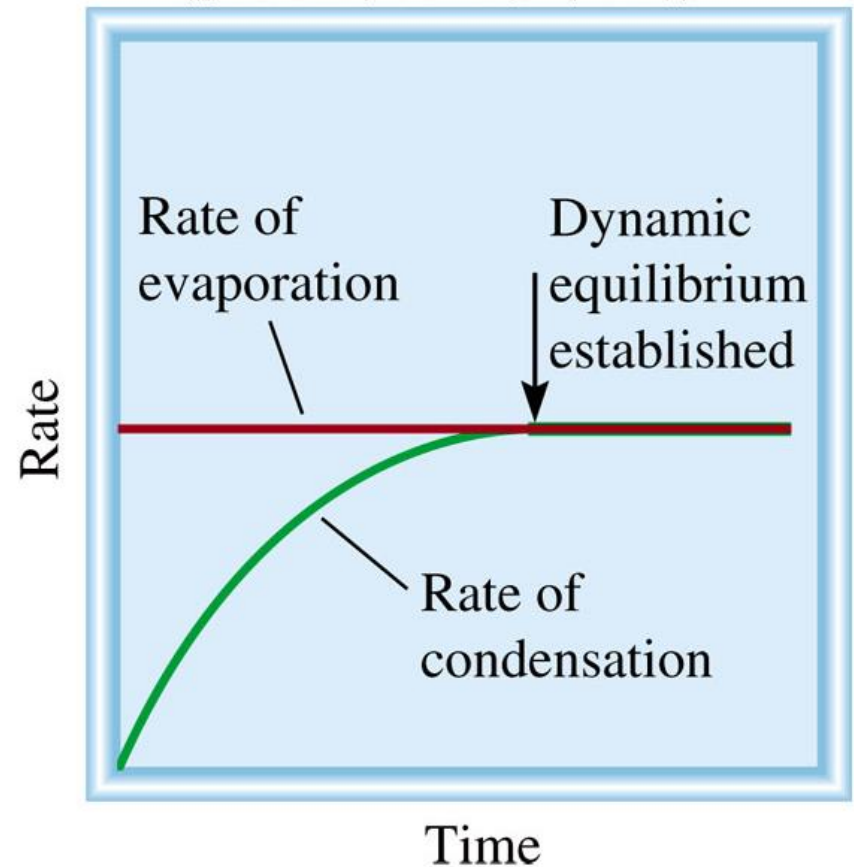


Tekanan uap kesetimbangan (*equilibrium vapor pressure*) adalah tekanan uap yang diukur ketika terjadi kesetimbangan dinamis antara kondensasi dan penguapan.

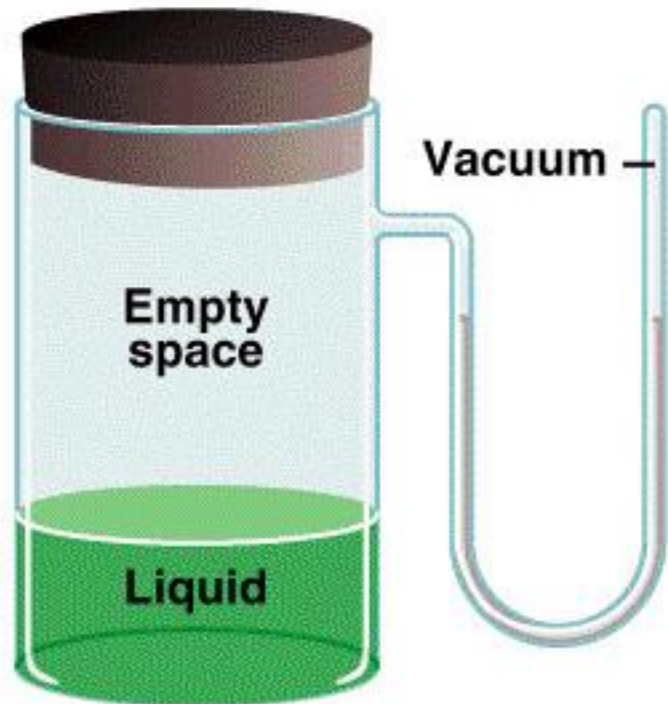


Kesetimbangan Dinamis

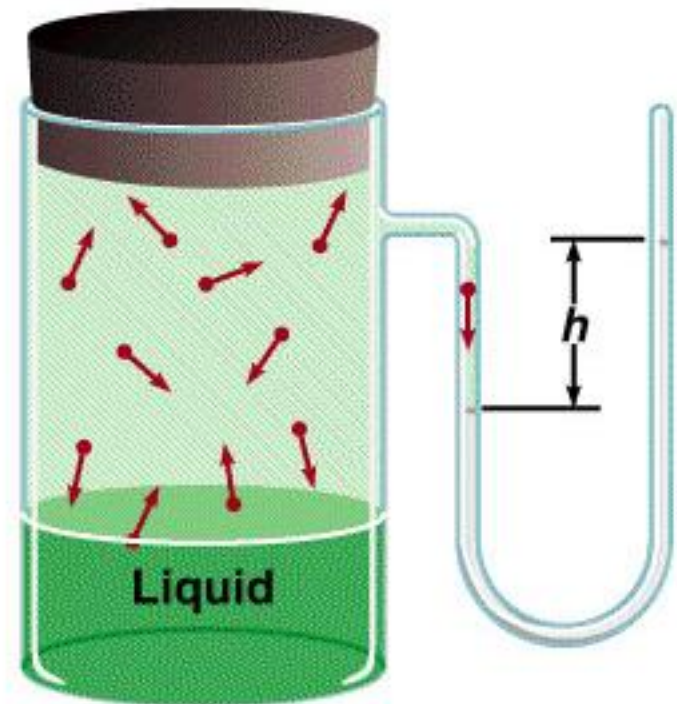
Laju kondensasi = Laju evaporasi/
penguapan



Peralatan untuk Mengukur Tekanan Uap Cairan



Sebelum
Penguapan



Pada
Kesetimbangan/
Equilibrium

Panas penguapan molar / Molar heat of vaporization (ΔH_{vap}) adalah energi yang diperlukan untuk menguapkan 1 mol suatu cairan pada titik didihnya.

Persamaan Clausius-Clapeyron

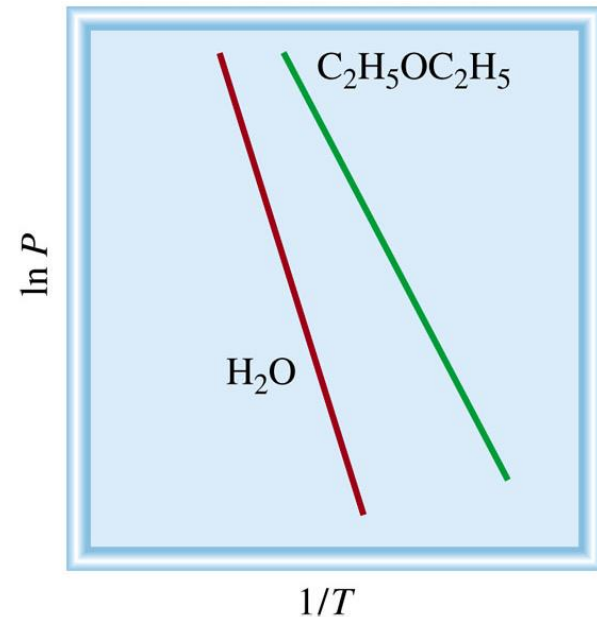
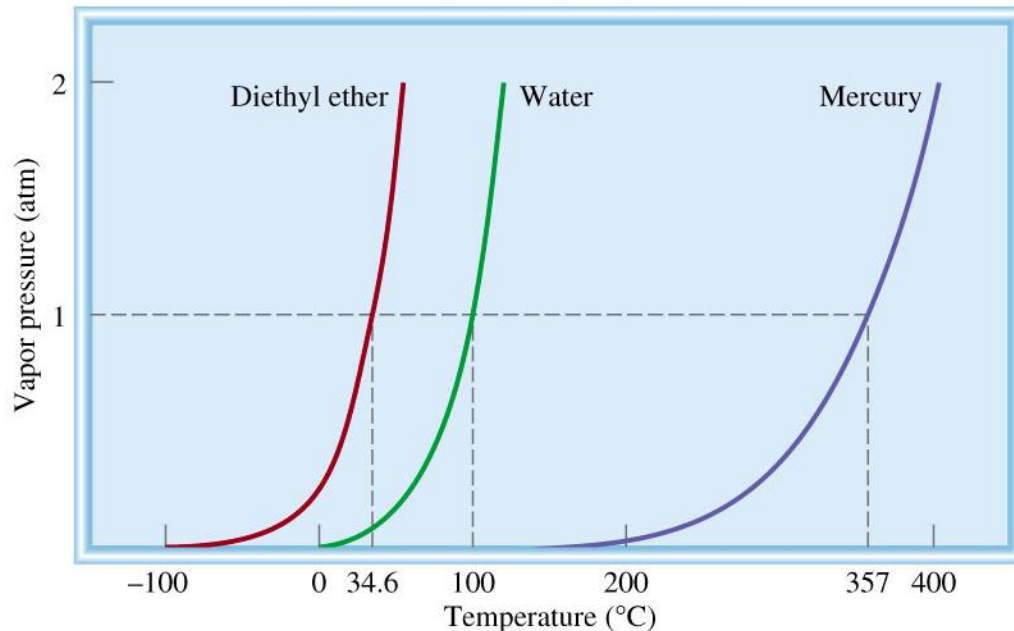
$$\ln P = - \frac{\Delta H_{\text{vap}}}{RT} + C$$

P = (kesetimbangan) tekanan uap

T = suhu (K)

R = konstanta gas (8,314 J/K•mol)

Tekanan Uap Versus Suhu



Titik didih adalah suhu di mana tekanan uap (kesetimbangan) suatu cairan sama dengan tekanan luar.

Titik didih normal adalah suhu di mana suatu cairan mendidih ketika tekanan luarnya 1 atm.

TABLE 11.6 Molar Heats of Vaporization for Selected Liquids

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

* Measured at 1 atm.

Temperatur kritis (T_c) adalah temperatur di mana gas tidak dapat dicairkan, berapa pun besarnya tekanan yang diberikan.

Tekanan kritis (P_c) adalah tekanan minimum yang harus diterapkan untuk menyebabkan pencairan pada suhu kritis.

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

Fenomena Kritis SF₆



$T < T_c$



$T > T_c$

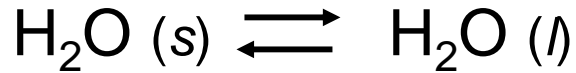


$T \sim T_c$

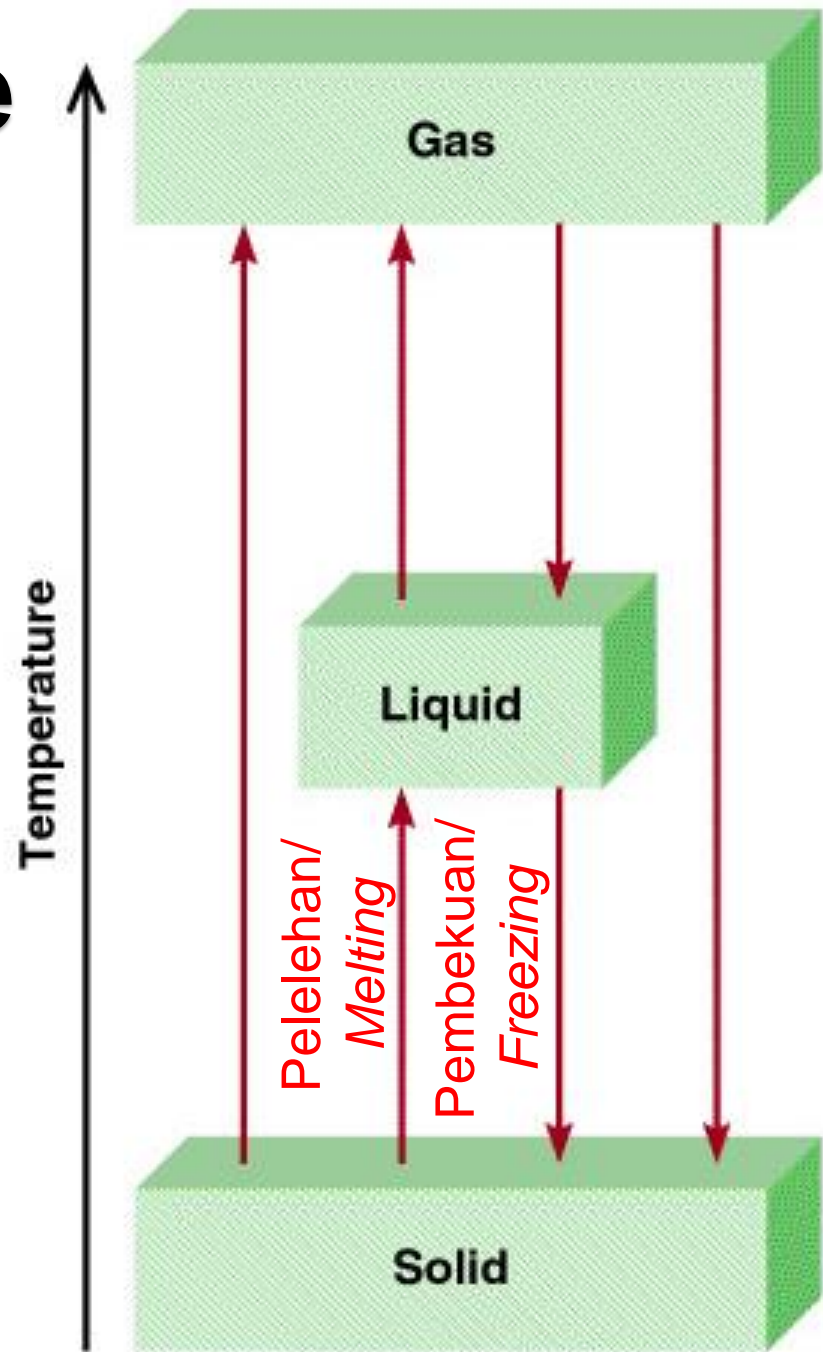


$T < T_c$

Perubahan Fase



Titik leleh (*melting point*)
suatu padatan atau
Titik beku (*freezing point*)
suatu cairan adalah suhu
di mana fase padatan dan
cairan berada berdampingan
dalam kesetimbangan.



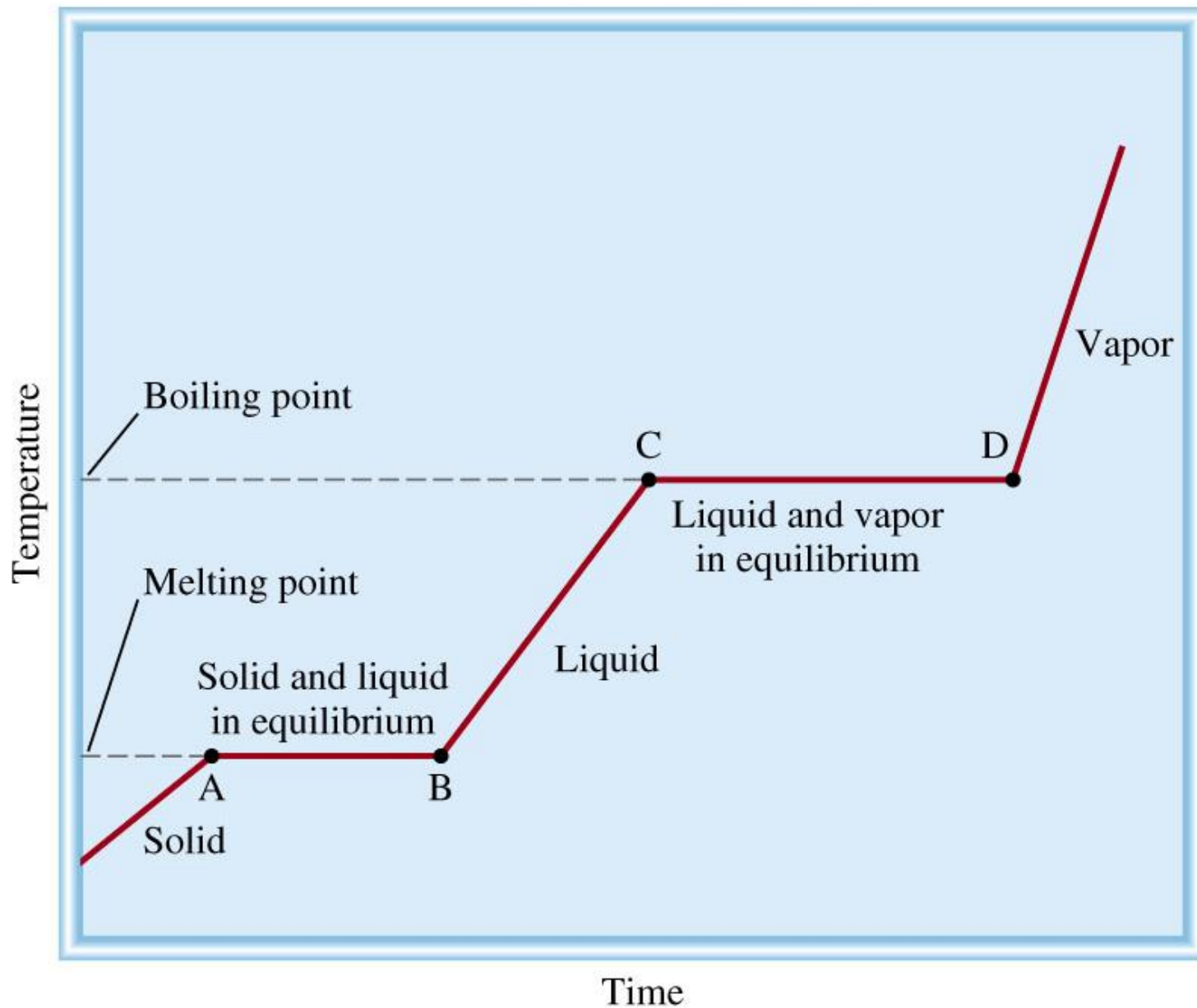
Panas peleburan molar (ΔH_{fus}) adalah energi yang dibutuhkan untuk melelehkan 1 mol suatu zat padat pada titik bekunya.

TABLE 11.8 Molar Heats of Fusion for Selected Substances

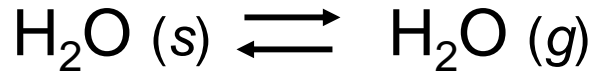
Substance	Melting Point* (°C)	ΔH_{fus} (kJ/mol)
Argon (Ar)	-190	1.3
Benzene (C ₆ H ₆)	5.5	10.9
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	-117.3	7.61
Diethyl ether (C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅)	-116.2	6.90
Mercury (Hg)	-39	23.4
Methane (CH ₄)	-183	0.84
Water (H ₂ O)	0	6.01

*Measured at 1 atm.

Kurva Pemanasan



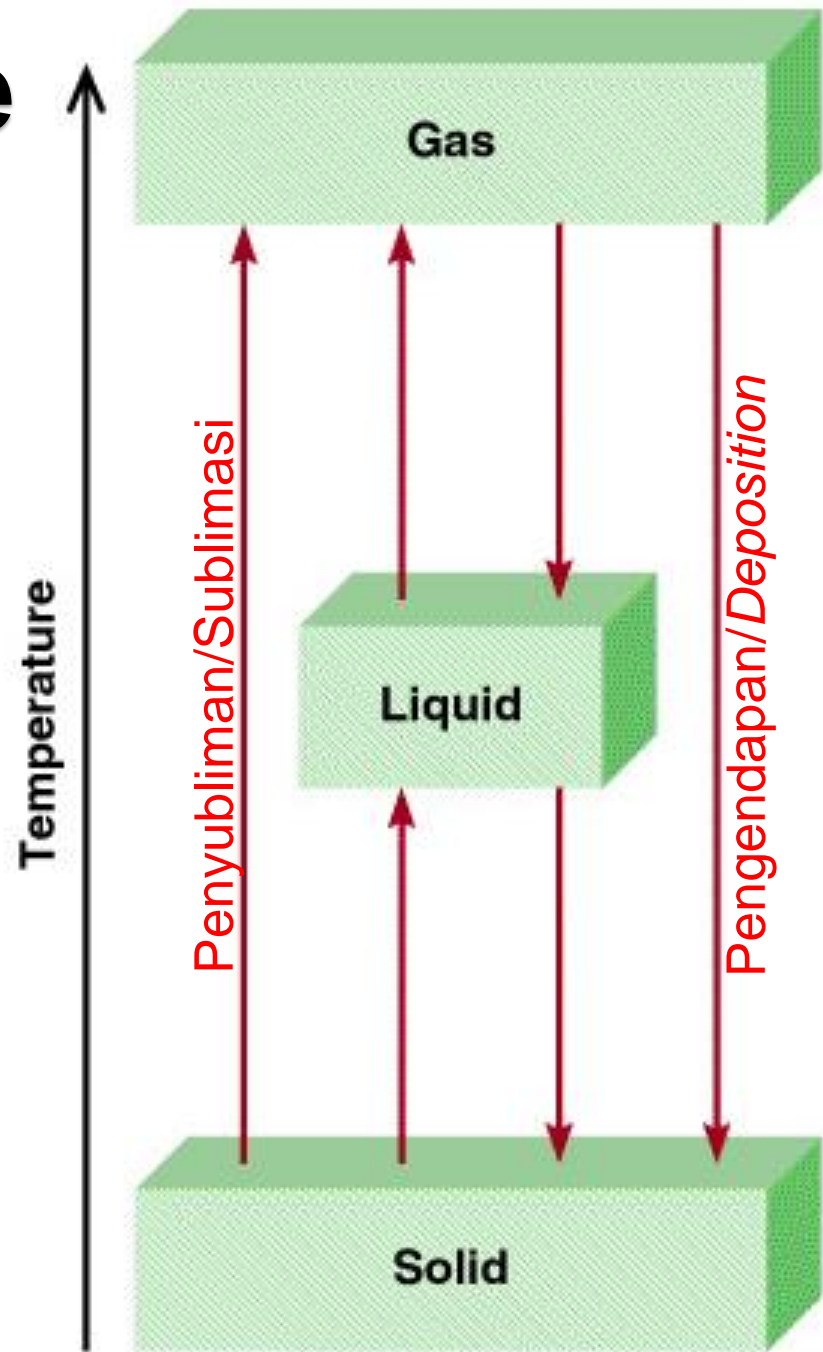
Perubahan Fase



Panas sublimasi molar (ΔH_{sub}) adalah energi yang dibutuhkan untuk menyublimkan 1 mol suatu padatan

$$\Delta H_{\text{sub}} = \Delta H_{\text{fus}} + \Delta H_{\text{vap}}$$

(Hukum Hess)



Perubahan Fase

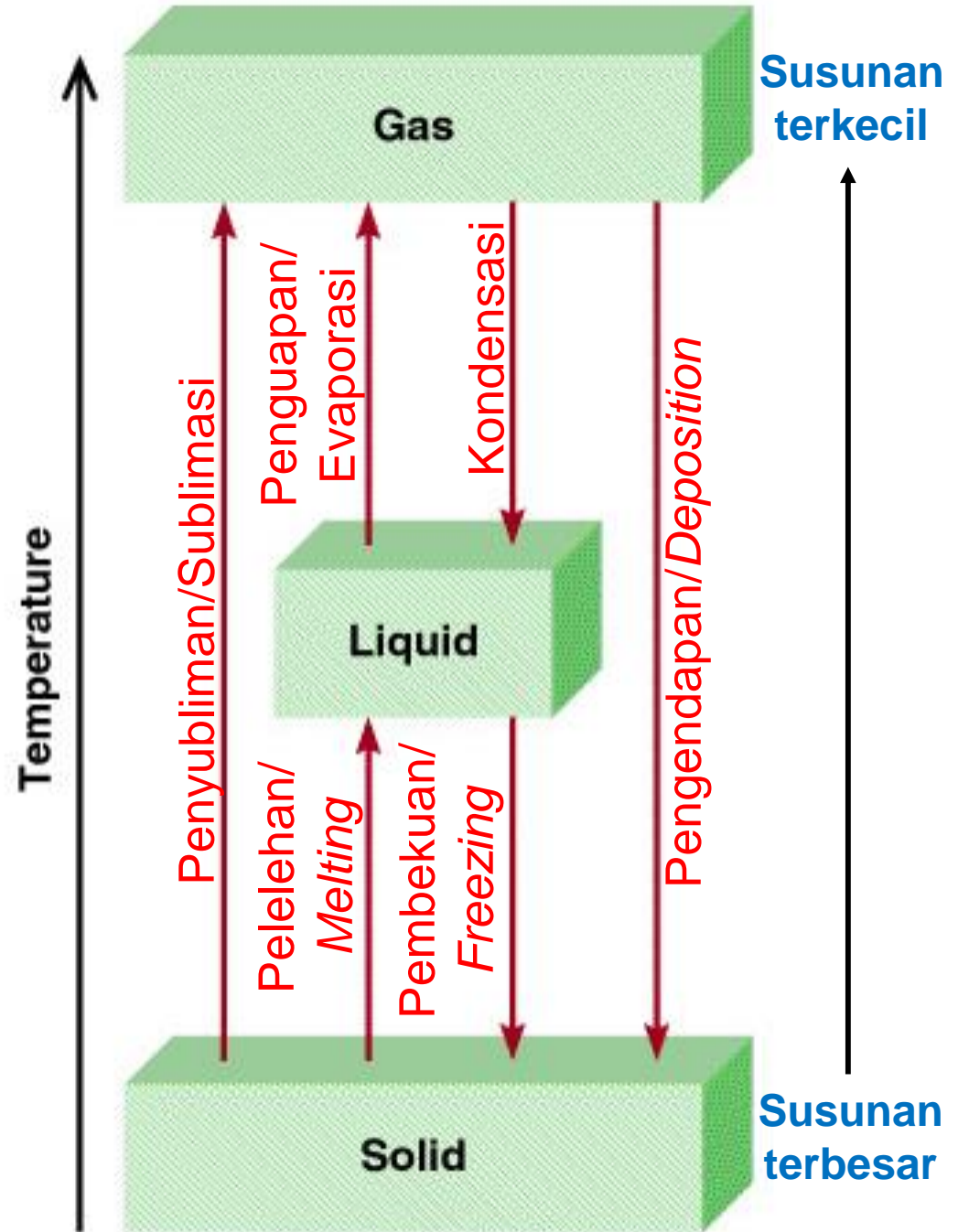


Diagram fase merangkum kondisi di mana suatu zat berada dalam bentuk padatan, cairan, atau gas.

Diagram Fase Air

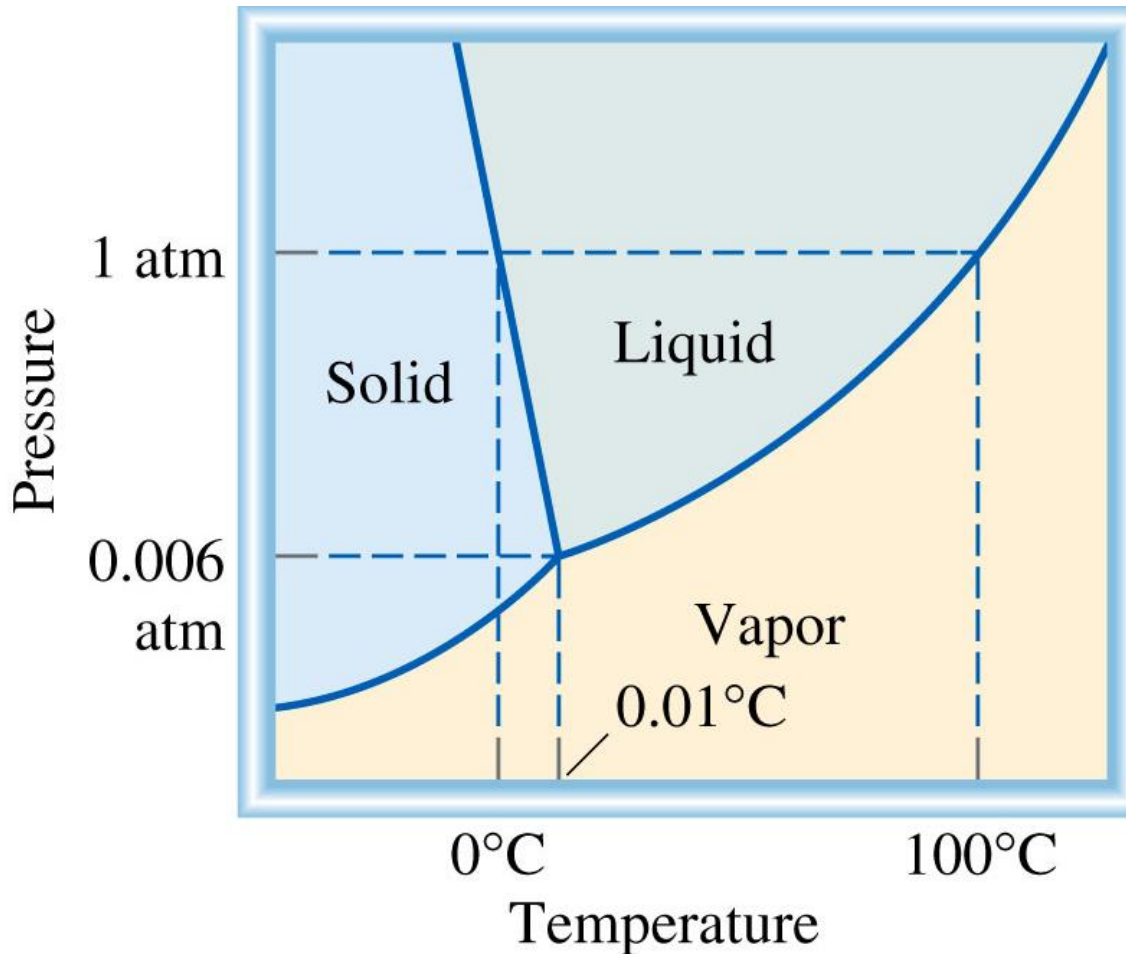
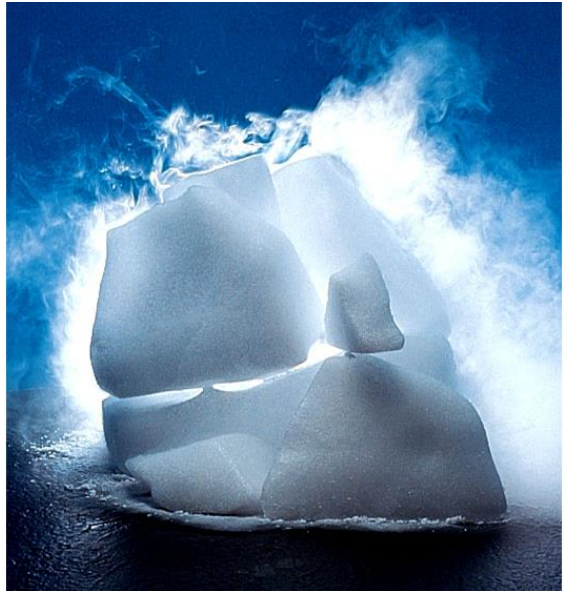
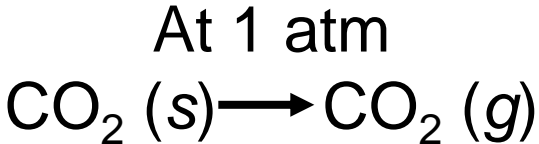
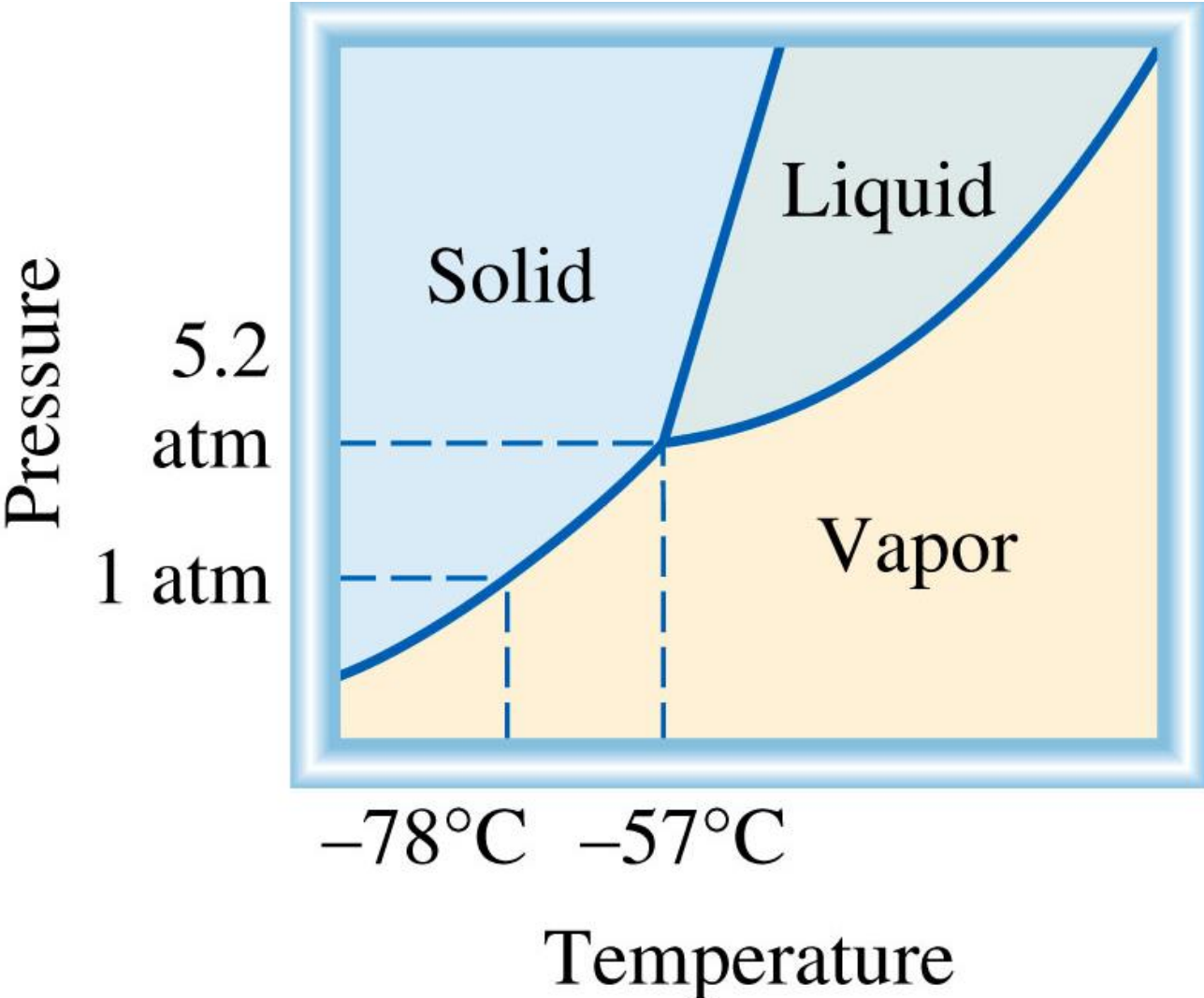
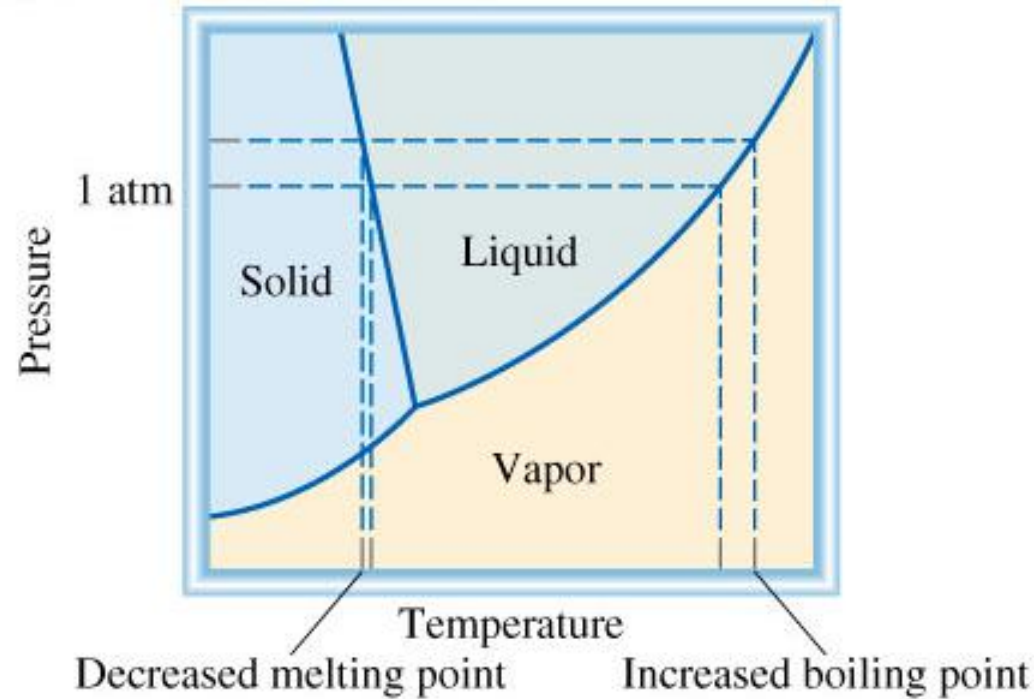
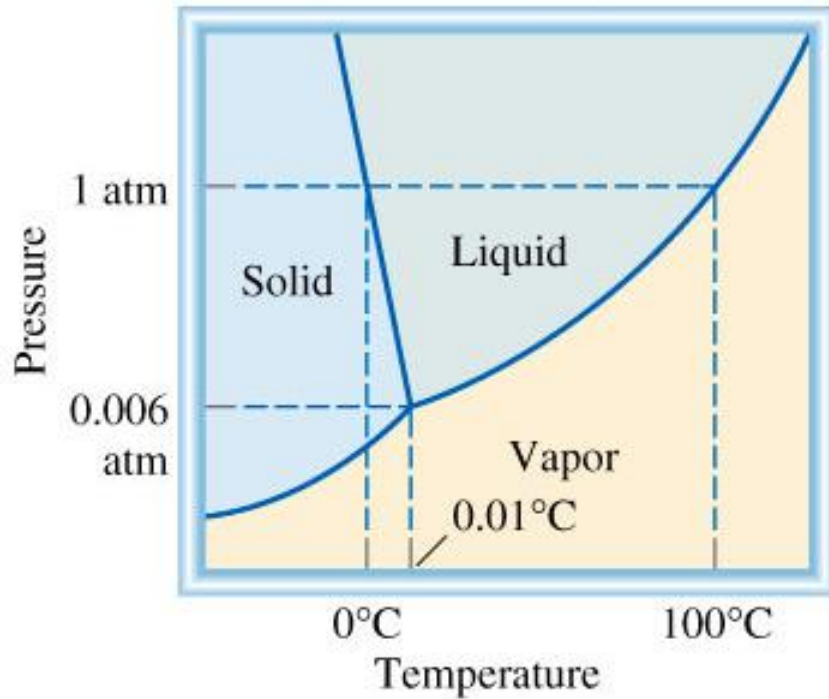


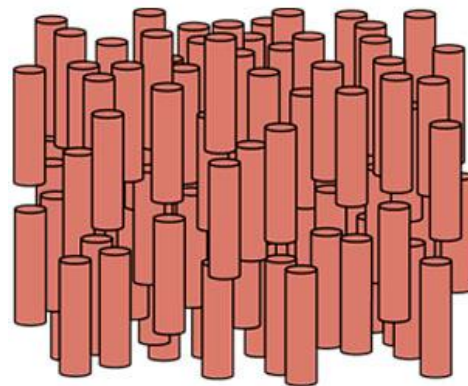
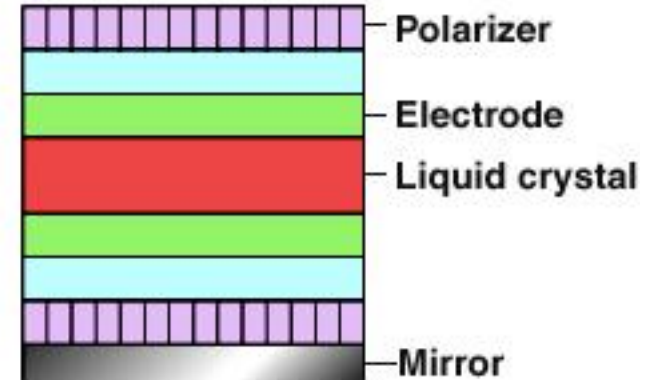
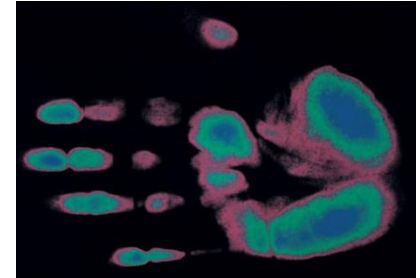
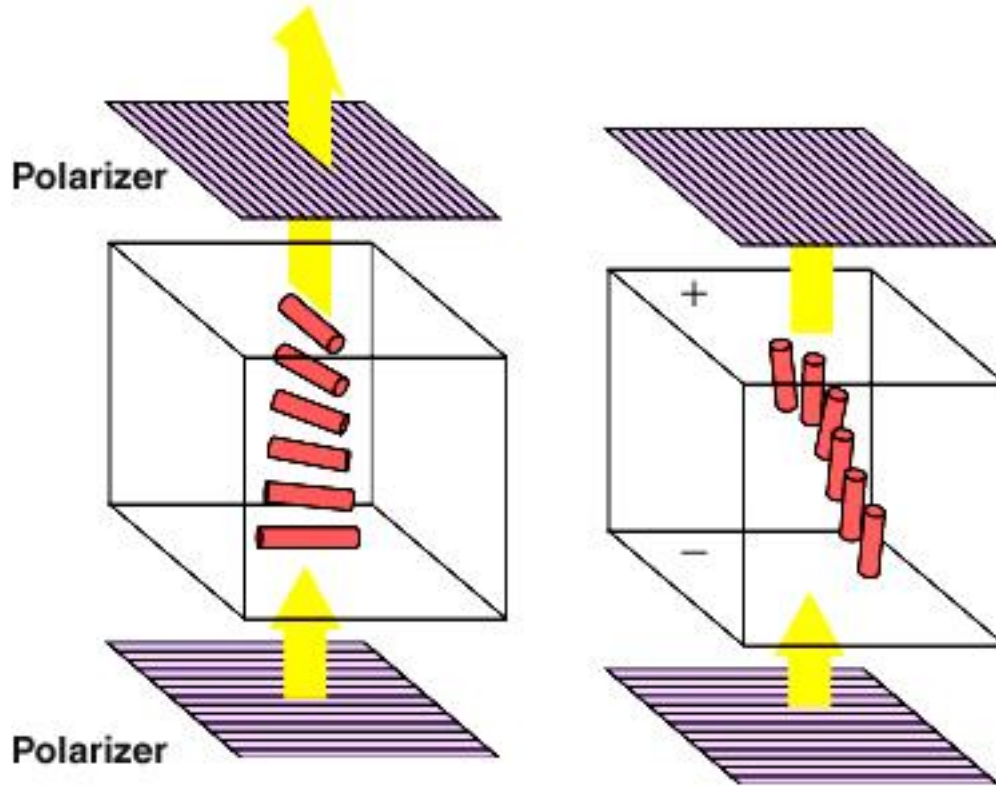
Diagram Fase Karbon Dioksida



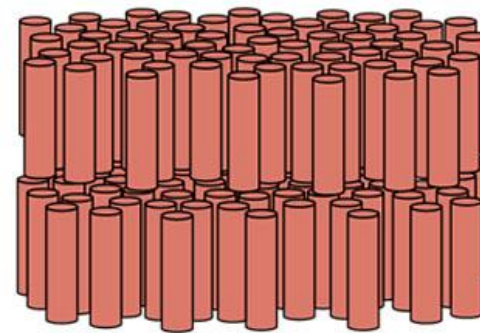
Pengaruh Kenaikan Tekanan pada Titik Leleh Es dan Titik Didih Air



Kimia "in Action": Kristal Cair



Nematic



Smectic

