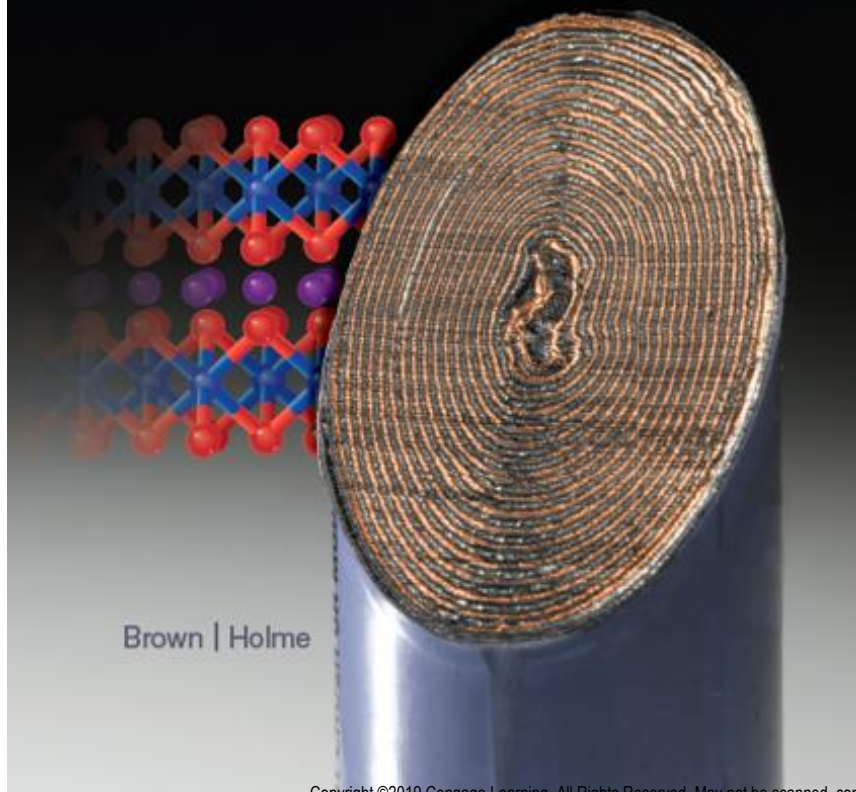


Chemistry

for Engineering Students 4th edition



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.

Bab 5 Gas

Jacqueline Bennett • SUNY Oneonta

www.cengage.com/chemistry/brown

Tujuan bab Gas

- Menjelaskan sifat-sifat gas
- Menjelaskan persamaan gas ideal
- Menghitung tekanan parsial gas dalam campuran
- Menghitung jumlah reaktan/ produk fasa gas dalam reaksi kimia
- Menjelaskan prinsip utama persamaan kinetik gas
- Menjelaskan persamaan keadaan van der Waals

TABLE 5.1**Some Substances Found as Gases at 1 atm and 25°C****Elements**

H₂ (molecular hydrogen)
N₂ (molecular nitrogen)
O₂ (molecular oxygen)
O₃ (ozone)
F₂ (molecular fluorine)
Cl₂ (molecular chlorine)
He (helium)
Ne (neon)
Ar (argon)
Kr (krypton)
Xe (xenon)
Rn (radon)

Compounds

HF (hydrogen fluoride)
HCl (hydrogen chloride)
HBr (hydrogen bromide)
HI (hydrogen iodide)
CO (carbon monoxide)
CO₂ (carbon dioxide)
NH₃ (ammonia)
NO (nitric oxide)
NO₂ (nitrogen dioxide)
N₂O (nitrous oxide)
SO₂ (sulfur dioxide)
H₂S (hydrogen sulfide)
HCN (hydrogen cyanide)*

*The boiling point of HCN is 26°C, but it is close enough to qualify as a gas at ordinary atmospheric conditions.

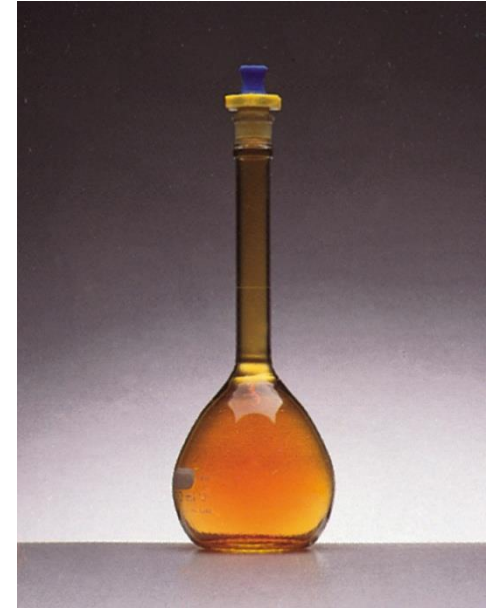
Gas alam

- Gas alam adalah campuran dari berbagai gas
- **Metana adalah komponen utama gas alam**
- Gas-gas lain selalu ada dalam gas alam dengan jumlah yang bervariasi

Gas	Formula	Percentage Range
Methane	CH_4	70–90%
Ethane, propane, butane	C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10}	0–20%
Carbon dioxide	CO_2	0–8%
Hydrogen sulfide	H_2S	0–5%
Nitrogen	N_2	0–5%
Oxygen	O_2	0–0.2%
Noble gases	He, Ne, Ar, Xe	Trace

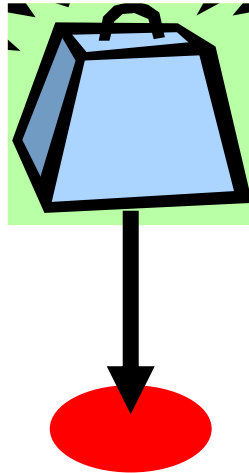
Sifat fisik Gas

- Gas mengikuti **bentuk dan volume** wadahnya.
- Gas adalah zat yang paling **mudah dikompresi**.
- Gas akan bercampur secara **homogen** dan sempurna di dalam wadah yang sama.
- Gas mempunyai **massa jenis** yang jauh lebih **rendah** dibandingkan cairan dan padatan.



$$\text{Tekanan} = \frac{\text{Gaya}}{\text{Luas}}$$

(gaya = massa x percepatan)

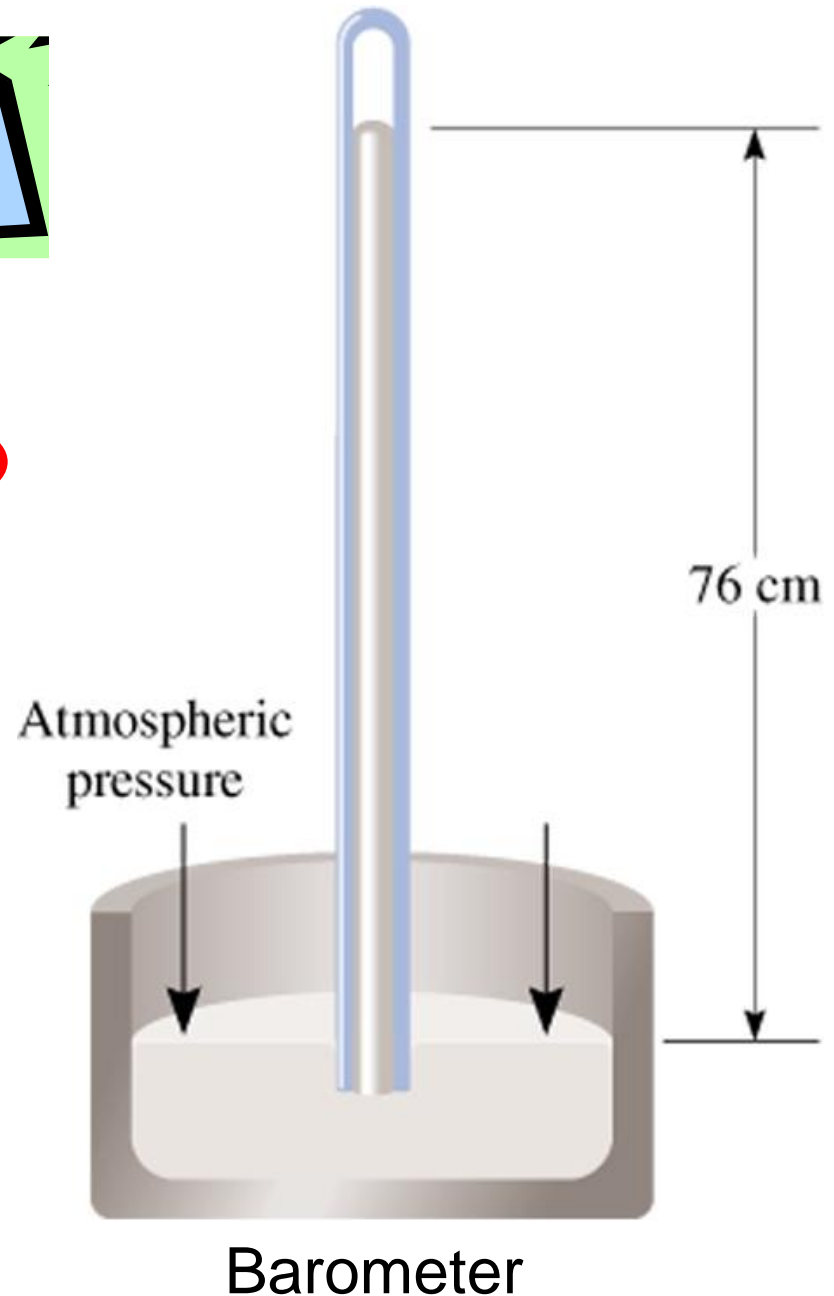


Satuan tekanan

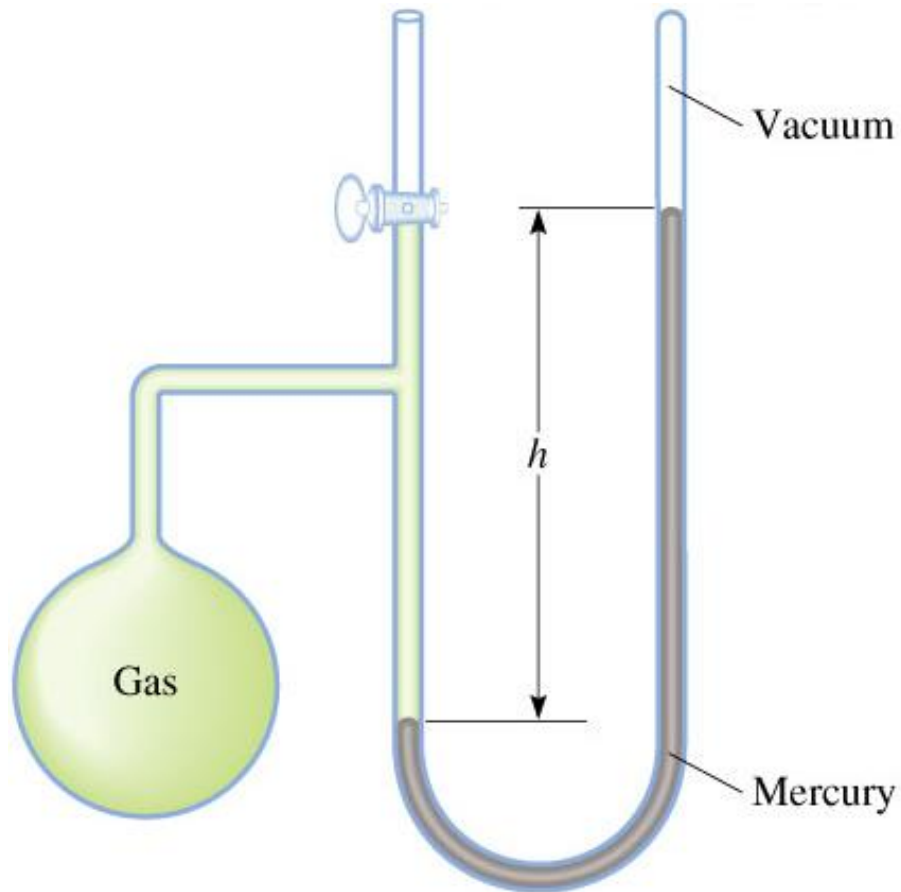
1 pascal (Pa) = 1 N/m²

1 atm = 760 mmHg = 760 torr

1 atm = 101325 Pa

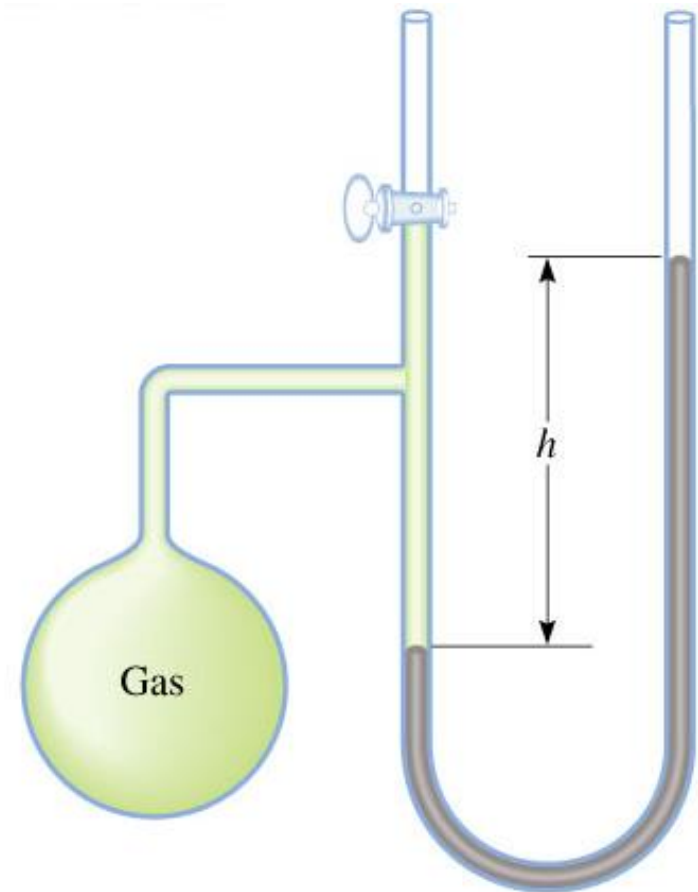


Manometer untuk mengukur tekanan gas



$$P_{\text{gas}} = P_h$$

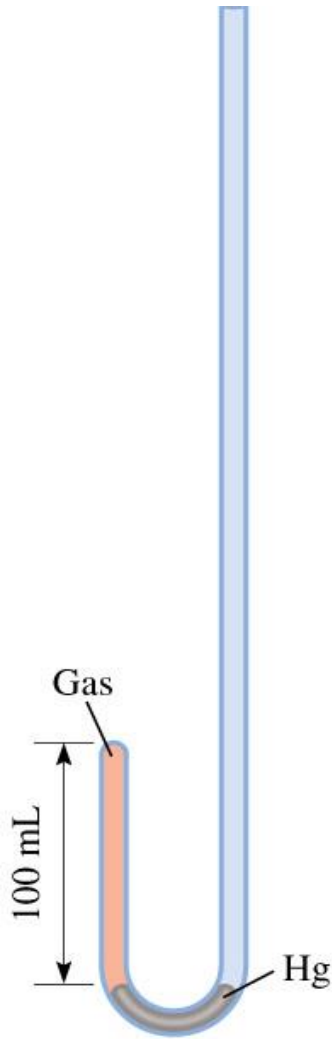
(a)



$$P_{\text{gas}} = P_h + P_{\text{atm}}$$

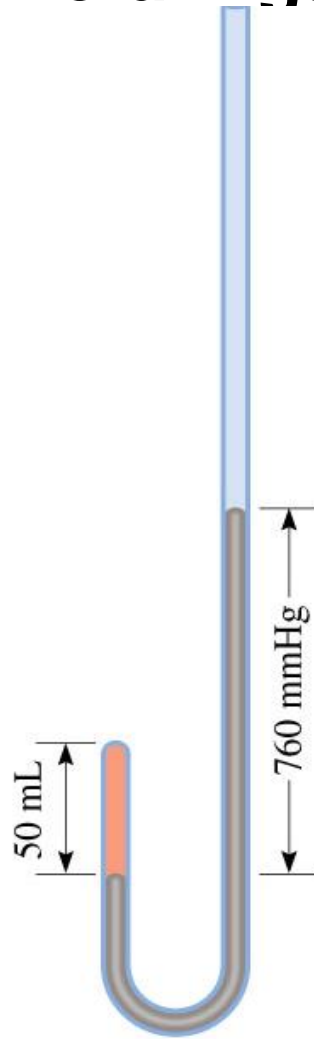
(b)

Peralatan untuk mempelajari hubungan tekanan dan volum gas



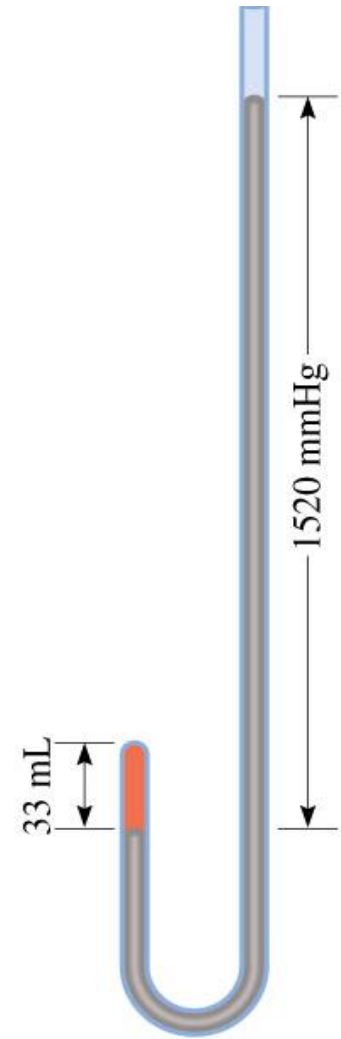
(a)

P (h) naik



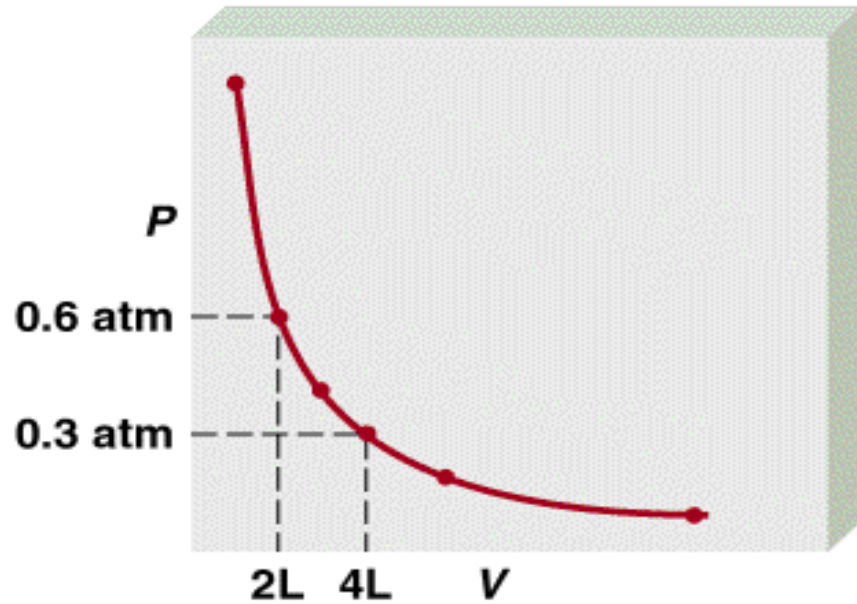
(b)

V turun



(c)

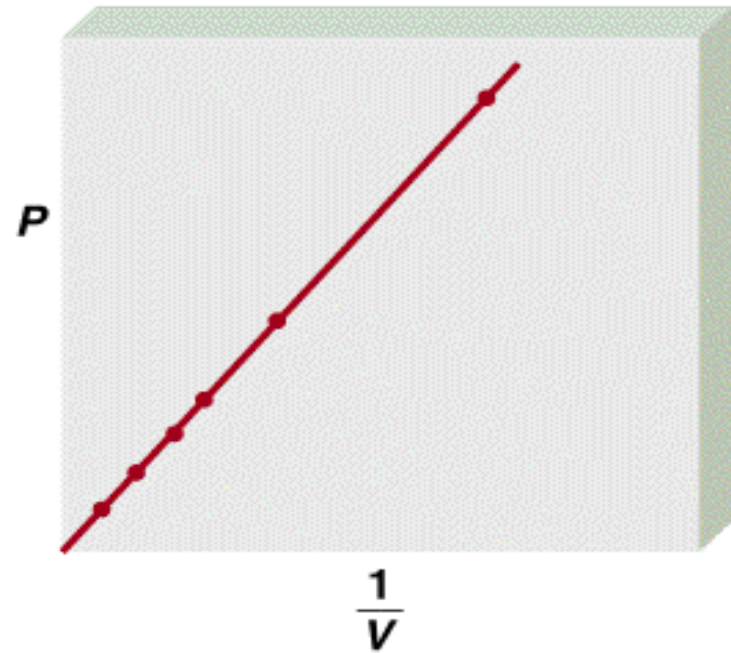
Hukum Boyle



$$P \propto 1/V$$

$$P \times V = \text{tetap}$$

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$



Temperatur tetap
Jumlah gas tetap

Gas klor mengisi volum 946 mL pada tekanan 726 mmHg. Hitung tekanan gas (dalam mm Hg) bila volum diperkecil menjadi 154 mL pada temperatur tetap?

$$P \times V = \text{tetap}$$

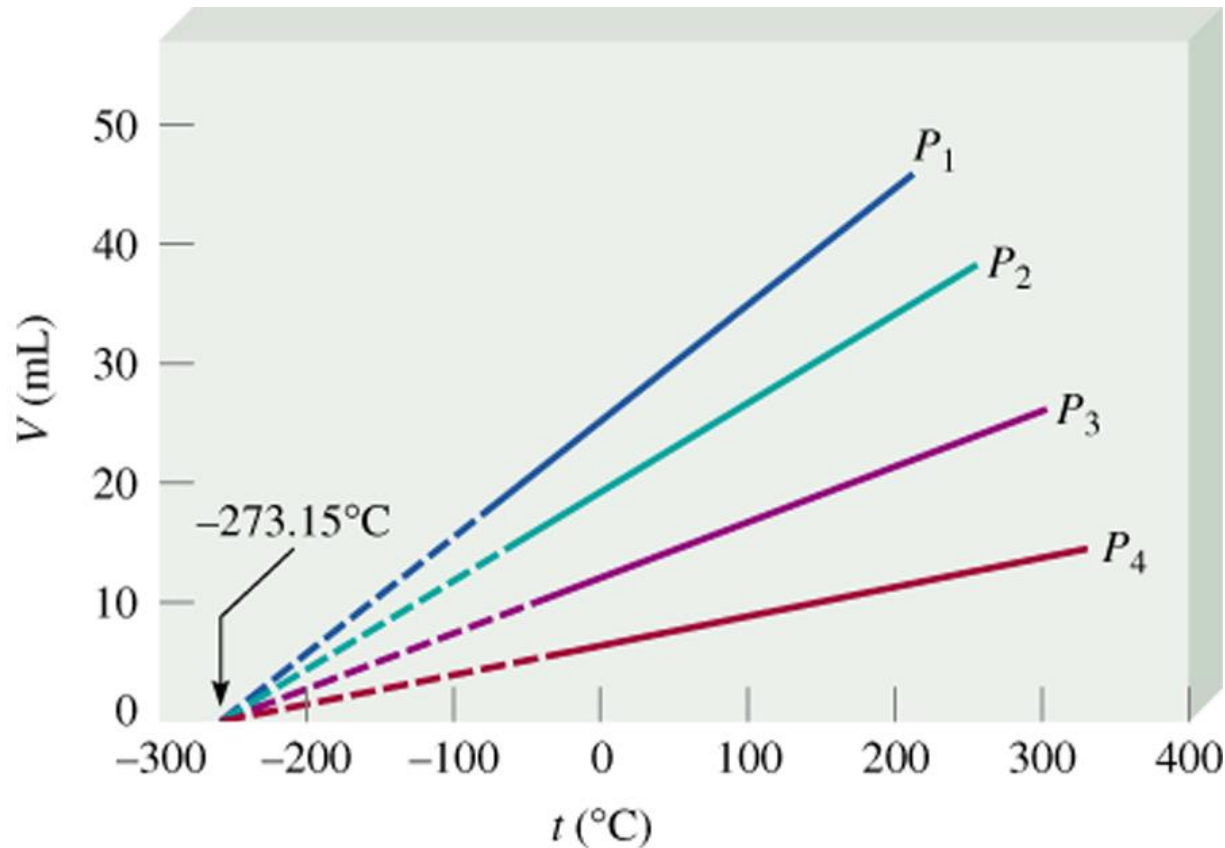
$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

$$P_1 = 726 \text{ mm Hg} \quad P_2 = ?$$

$$V_1 = 946 \text{ mL} \quad V_2 = 154 \text{ mL}$$

$$P_2 = \frac{P_1 \times V_1}{V_2} = \frac{726 \text{ mmHg} \times 946 \text{ mL}}{154 \text{ mL}} = 4460 \text{ mm Hg}$$

Perubahan volum gas terhadap temperatur pada tekanan tetap



Hukum Charles & Gay-Lussac

$$V \propto T$$

$$V = \text{tetapan} \times T$$

$$V_1/T_1 = V_2/T_2$$

Temperatur **harus**
dalam Kelvin

$$T (\text{K}) = t (^\circ\text{C}) + 273,15$$

Gas karbon monoksida mengisi ruang 3,20 L pada 125 °C. Pada temperatur berapa gas mengisi volum 1,54 L bila tekanan tetap?

$$V_1 / T_1 = V_2 / T_2$$

$$V_1 = 3,20 \text{ L}$$

$$V_2 = 1,54 \text{ L}$$

$$T_1 = 398,15 \text{ K}$$

$$T_2 = ?$$

$$T_1 = 125 (^{\circ}\text{C}) + 273,15 (\text{K}) = 398,15 \text{ K}$$

$$T_2 = \frac{V_2 \times T_1}{V_1} = \frac{1,54 \cancel{\text{ L}} \times 398,15 \text{ K}}{3,20 \cancel{\text{ L}}} = 192 \text{ K}$$

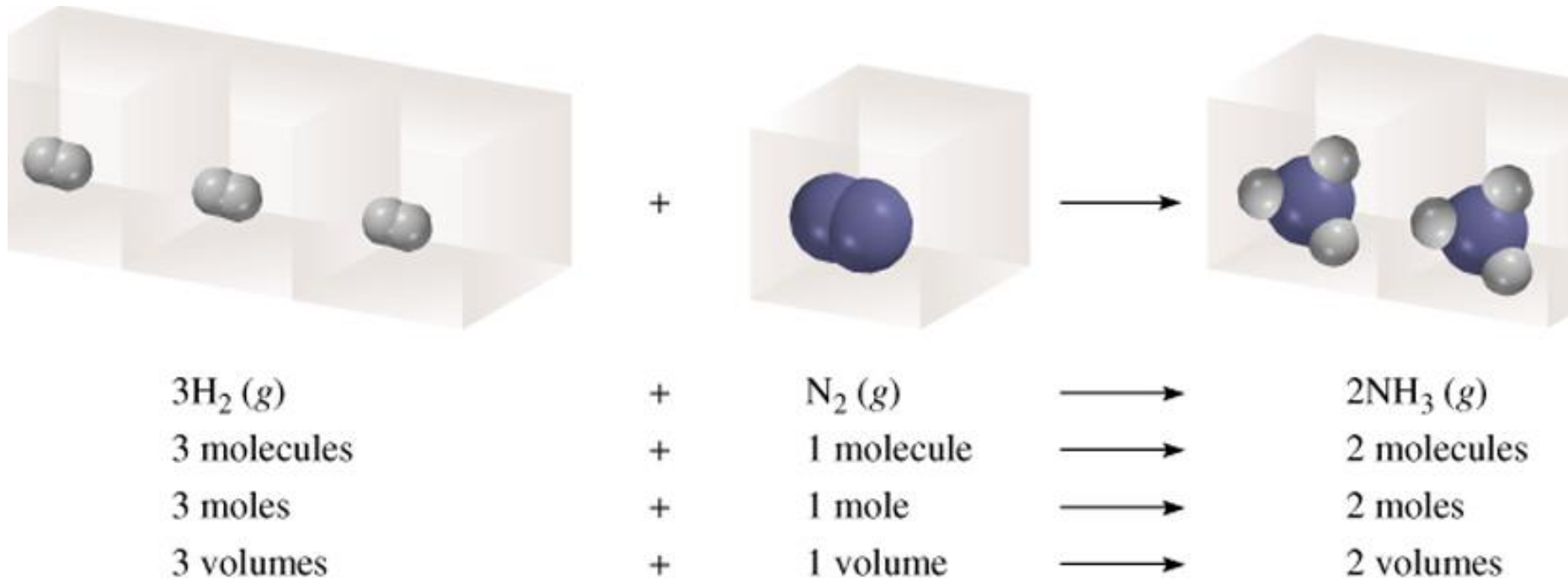
Hukum Avogadro

$V \propto \text{jumlah mol } (n)$

$V = \text{tetapan} \times n$

$$V_1 / n_1 = V_2 / n_2$$

Temperatur tetap
Tekanan tetap



Amonia direaksikan dengan oksigen untuk membentuk nitrogen oksida (NO) dan uap air. Hitung volum NO yang dihasilkan dari 1 volum amonia pada tekanan dan temperatur yang sama?



Pada T dan P tetap



Persamaan keadaan gas ideal

Hukum Boyle: $V \propto \frac{1}{P}$ (pada n dan T tetap)

Hukum Charles: $V \propto T$ (pada n dan P tetap)

Hukum Avogadro: $V \propto n$ (pada P dan T tetap)

$$V \propto \frac{nT}{P}$$

$V = \text{tetapan} \times \frac{nT}{P} = R \frac{nT}{P}$ R adalah **tetapan gas**

$$PV = nRT$$

Kondisi 0 °C dan 1 atm disebut **temperatur dan tetapan standar (STP)**.

Percobaan menunjukkan bahwa pada STP, 1 mol gas ideal mengisi volum sebesar 22,414 L.

$$PV = nRT$$

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{(1 \text{ atm})(22,414\text{L})}{(1 \text{ mol})(273,15 \text{ K})}$$

$$R = 0,082057 \text{ L} \cdot \text{atm} / (\text{mol} \cdot \text{K})$$

Hitung volum (dalam L) yang diisi oleh 49,8 g HCl pada STP?

$$T = 0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}$$

$$P = 1\text{ atm}$$

$$PV = nRT$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$n = 49,8\text{ g} \times \frac{1\text{ mol HCl}}{36,45\text{ g HCl}} = 1,37\text{ mol}$$

$$V = \frac{1.37\text{ mol} \times 0,0821 \frac{\text{L}\cdot\text{atm}}{\text{mol}\cdot\text{K}} \times 273,15\text{ K}}{1\text{ atm}}$$

$$V = 30,6\text{ L}$$

Argon adalah gas inert yang digunakan dalam bola lampu untuk memperlambat penguapan filamen. Sebuah bola lampu yang mengandung argon pada 1,20 atm dan 18 °C dipanaskan ke 85 °C pada volum tetap. Hitung tekanan akhir argon dalam bola lampu (dalam atm)?

$$PV = nRT \quad n, V \text{ dan } R \text{ tetap}$$

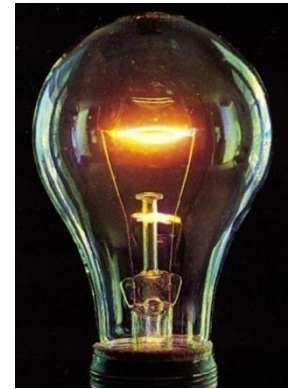
$$\frac{nR}{V} = \frac{P}{T} = \text{tetap}$$

$$P_1 = 1,20 \text{ atm} \quad P_2 = ?$$

$$T_1 = 291 \text{ K} \quad T_2 = 358 \text{ K}$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$P_2 = P_1 \times \frac{T_2}{T_1} = 1,20 \text{ atm} \times \frac{358 \text{ K}}{291 \text{ K}} = 1,48 \text{ atm}$$



Perhitungan rapat massa (d)

$$d = \frac{m}{V} = \frac{P\mathcal{M}}{RT}$$

m = massa gas dalam g

\mathcal{M} = massa molar gas

Massa Molar (\mathcal{M}) senyawa gas

$$\mathcal{M} = \frac{dRT}{P}$$

d = rapat massa gas dalam g/L

Labu sebesar 2,10 L mengandung 4,65 g gas pada 1,00 atm dan 27,0 °C. Hitung massa molar gas!

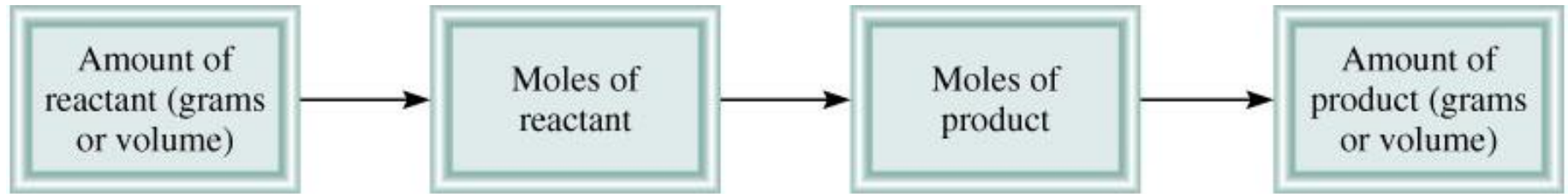
$$\mathcal{M} = \frac{dRT}{P}$$

$$d = \frac{m}{V} = \frac{4,65 \text{ g}}{2,10 \text{ L}} = 2,21 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

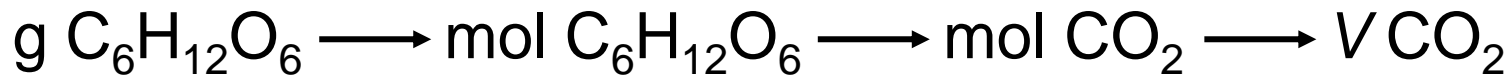
$$\mathcal{M} = \frac{2,21 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times 0,0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 300,15 \text{ K}}{1 \text{ atm}}$$

$$\mathcal{M} = 54,6 \text{ g/mol}$$

Stoikiometri Gas



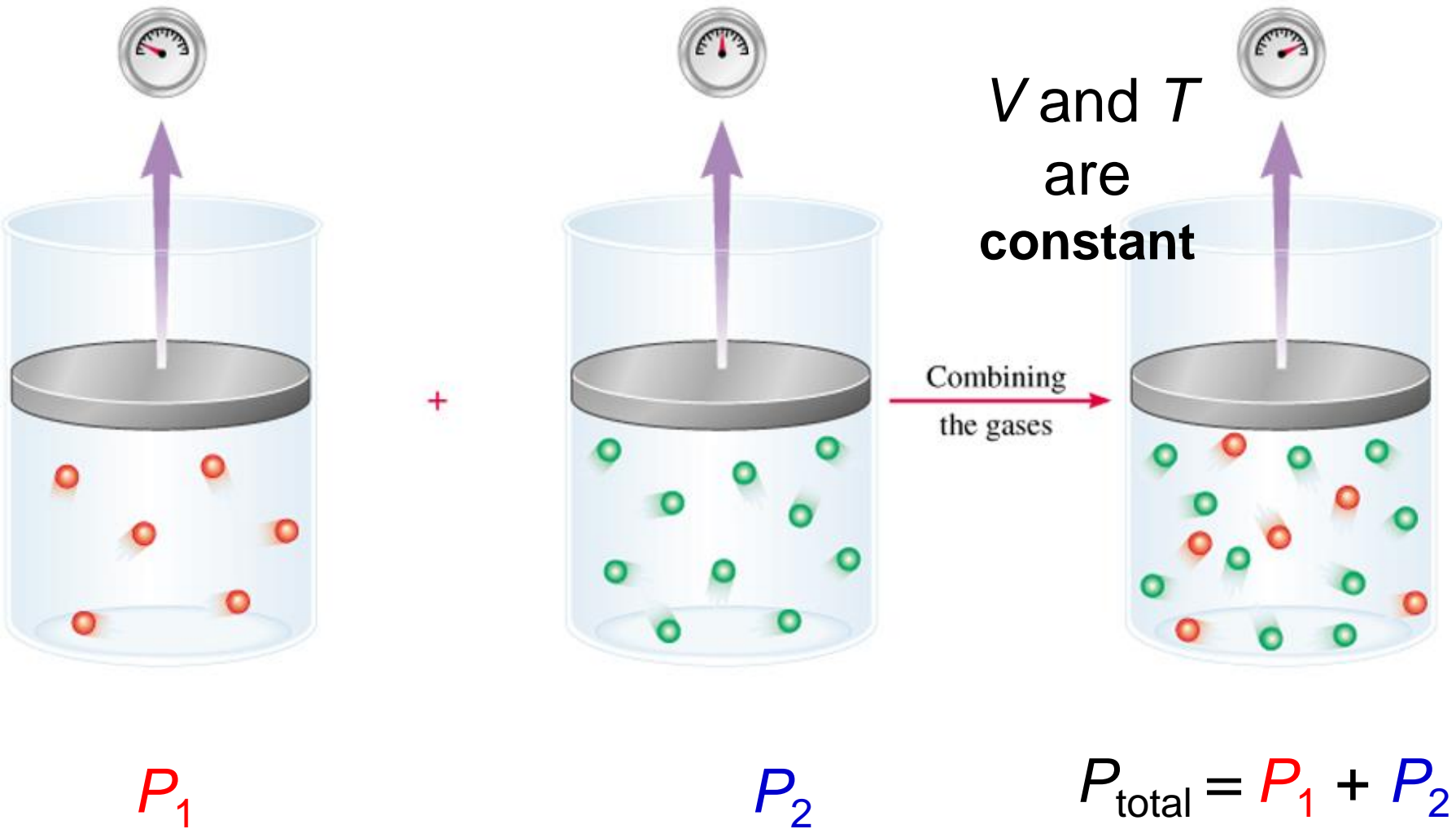
Hitung volum CO₂ yang dihasilkan pada 37 °C dan 1,00 atm bila 5,60 g glukosa digunakan dalam reaksi:



$$5,60 \text{ g } \cancel{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} \times \frac{1 \text{ mol } \cancel{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}}{180 \text{ g } \cancel{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}} \times \frac{6 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol } \cancel{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}} = 0,187 \text{ mol CO}_2$$

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{0,187 \text{ mol} \times 0,0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 310,15 \text{ K}}{1,00 \text{ atm}} = 4,76 \text{ L}$$

Hukum Dalton: Tekanan Parsial



Perhatikan suatu keadaan dimana dua jenis gas, **A** dan **B**, berada dalam satu wadah dengan volum V .

$$P_A = \frac{n_A RT}{V}$$

n_A = jumlah mol **A**

$$P_B = \frac{n_B RT}{V}$$

n_B = jumlah mol **B**

$$P_T = P_A + P_B$$

$$X_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

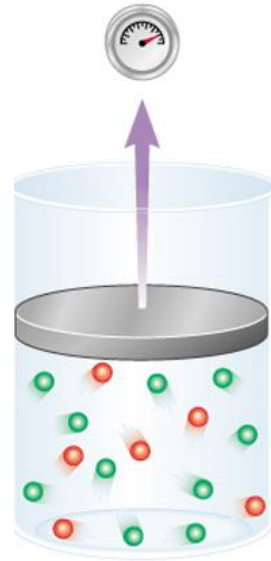
$$X_B = \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

$$P_A = X_A P_T$$

$$P_B = X_B P_T$$

$$P_i = X_i P_T$$

$$\text{Fraksi mol } (X_i) = \frac{n_i}{n_T}$$

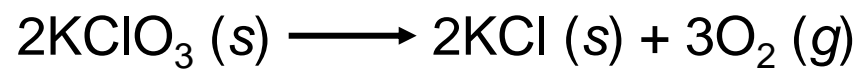
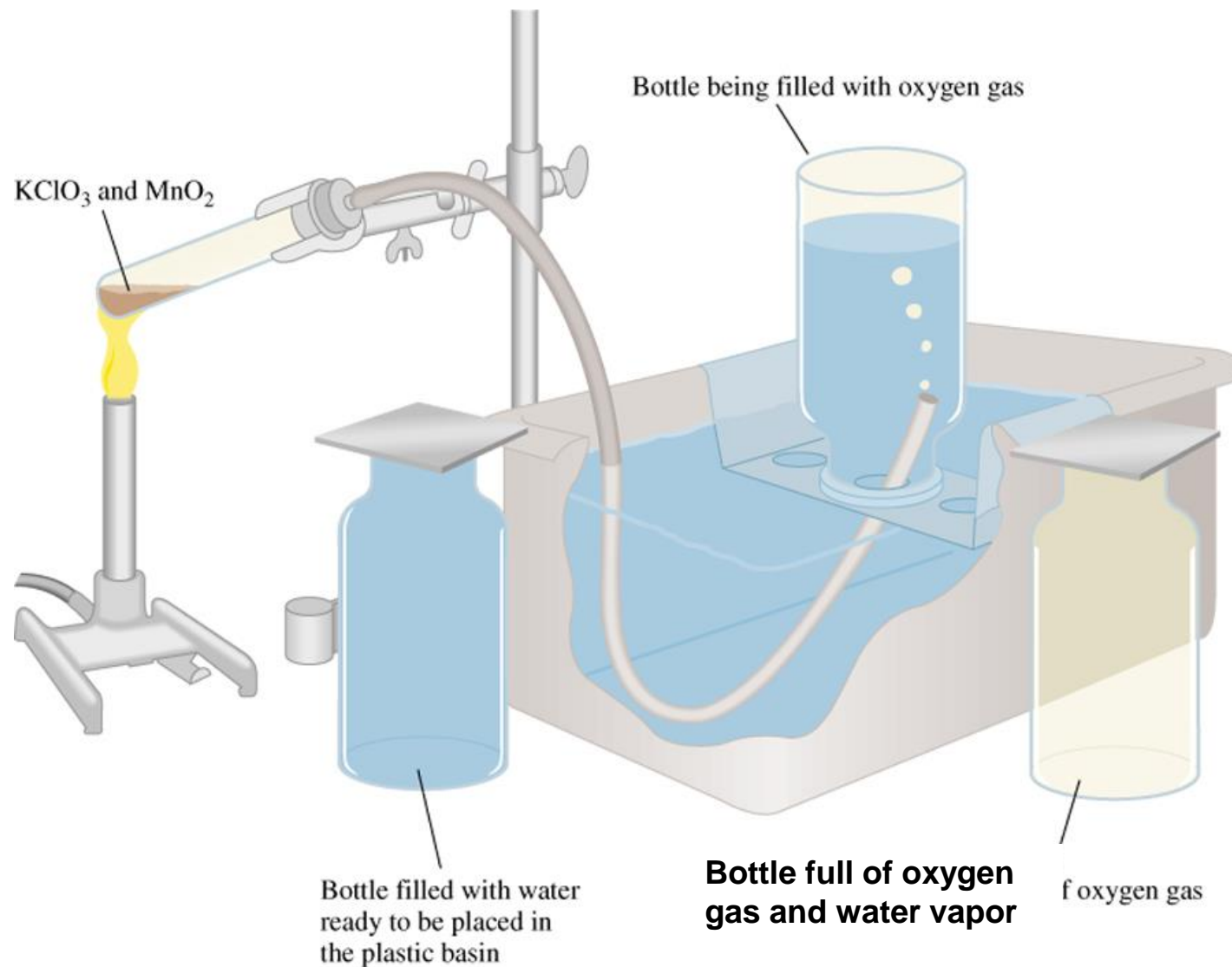


Cuplikan gas alam mengandung 8,24 mol CH_4 , 0,421 mol C_2H_6 , dan 0,116 mol C_3H_8 . Bila tekanan total gas adalah 1,37 atm, hitung tekanan parsial propana (C_3H_8) !

$$P_i = X_i P_T \quad P_T = 1,37 \text{ atm}$$

$$X_{\text{propane}} = \frac{0,116}{8,24 + 0,421 + 0,116} = 0,0132$$

$$P_{\text{propane}} = 0,0132 \times 1,37 \text{ atm} = 0,0181 \text{ atm}$$



$$P_{\text{T}} = P_{\text{O}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}}$$

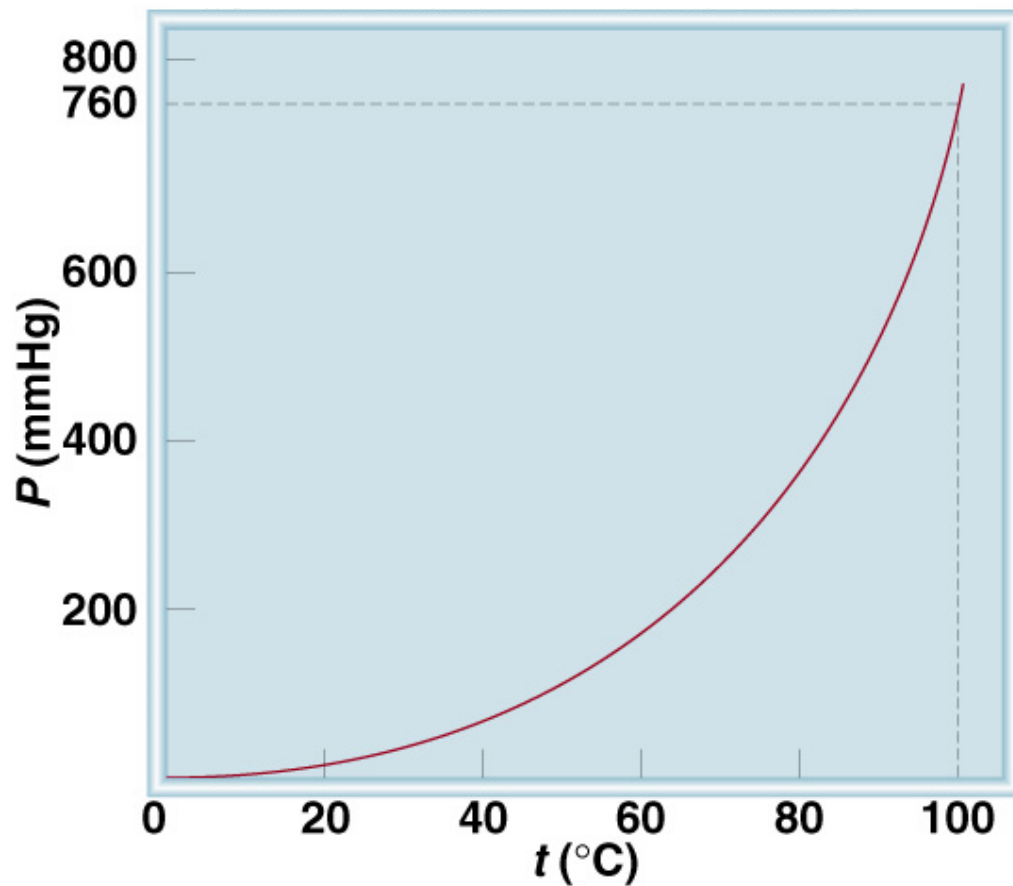


TABLE 5.3

**Pressure of Water Vapor
at Various Temperatures**

Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Water Vapor Pressure (mmHg)
0	4.58
5	6.54
10	9.21
15	12.79
20	17.54
25	23.76
30	31.82
35	42.18
40	55.32
45	71.88
50	92.51
55	118.04
60	149.38
65	187.54
70	233.7
75	289.1
80	355.1
85	433.6
90	525.76
95	633.90
100	760.00

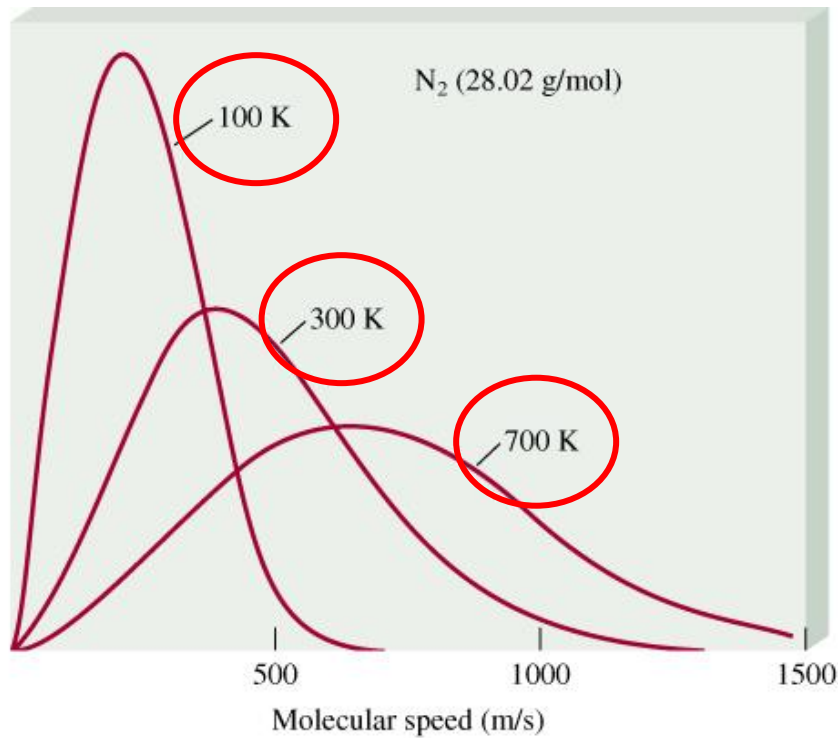
Aplikasi:

Scuba Diving dan tekanan gas

kedalaman (ft)	tekanan(atm)
0	1
33	2
66	3



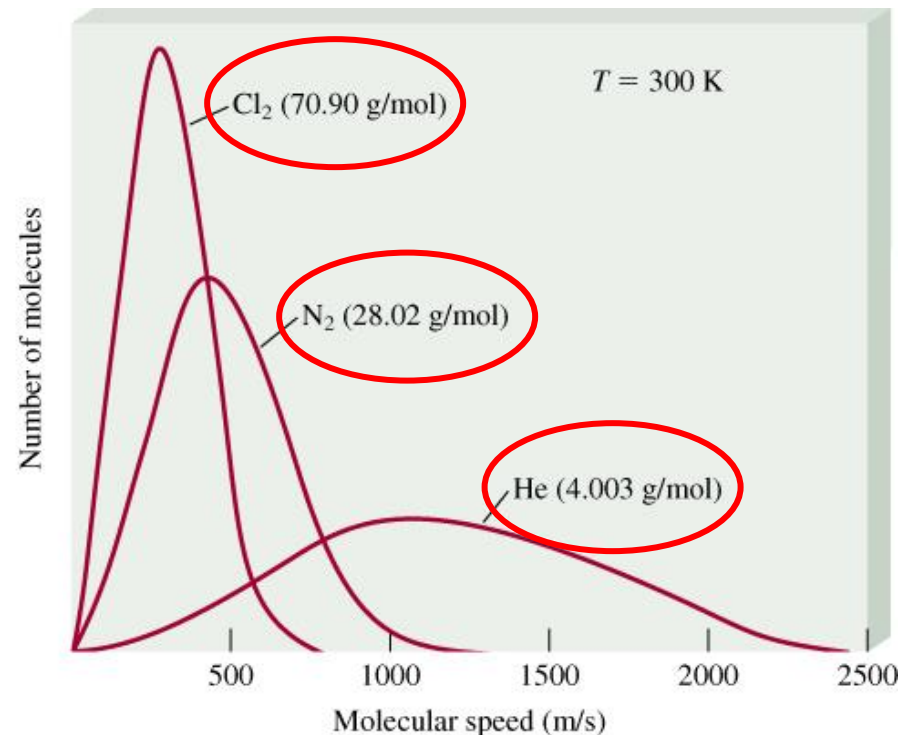
Number of molecules



Distribusi kecepatan molekul gas nitrogen pada 3 temperatur berbeda

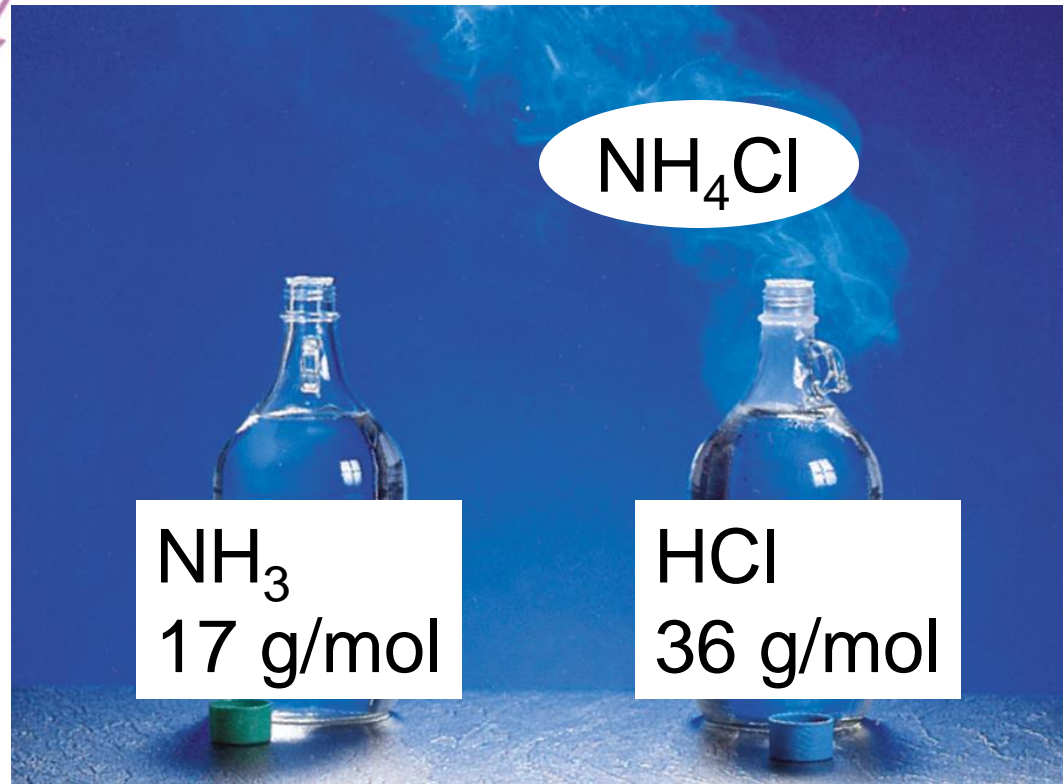
$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Distribusi kecepatan 3 jenis gas pada temperatur yang sama

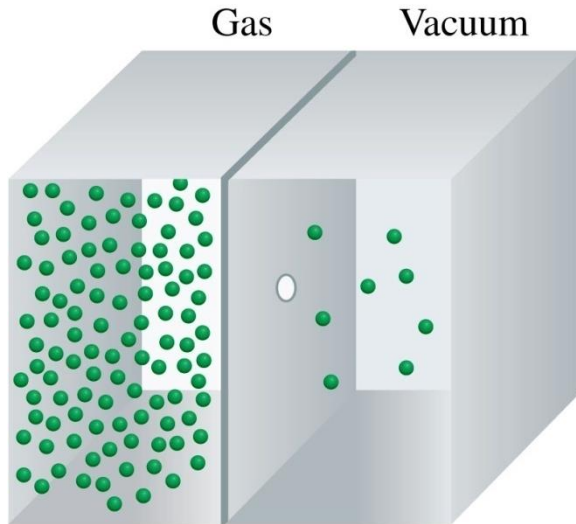


Difusi gas adalah proses mengalirnya gas dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah melalui proses pencampuran secara bertahap (sebagai akibat dari sifat kinetik gas).

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{\mathcal{M}_2}{\mathcal{M}_1}}$$



Efusi gas adalah proses berpindahnya gas dari satu bagian wadah ke bagian lain melalui celah kecil.



$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{t_2}{t_1} = \sqrt{\frac{\mathcal{M}_2}{\mathcal{M}_1}}$$

Nikel membentuk senyawa gas $\text{Ni}(\text{CO})_x$. Tentukan nilai x bila pada kondisi yang sama metana (CH_4) berefusi 3,3 kali lebih cepat dari senyawa tersebut?

$$\begin{aligned} r_1 &= 3,3 \times r_2 & \mathcal{M}_2 &= \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \times \mathcal{M}_1 = (3,3)^2 \times 16 = 174,2 \\ \mathcal{M}_1 &= 16 \text{ g/mol} & 58,7 + x \cdot 28 &= 174,2 & x &= 4,1 \sim 4 \end{aligned}$$

Teori kinetik gas – teori molekuler dan ideal vs gas nyata

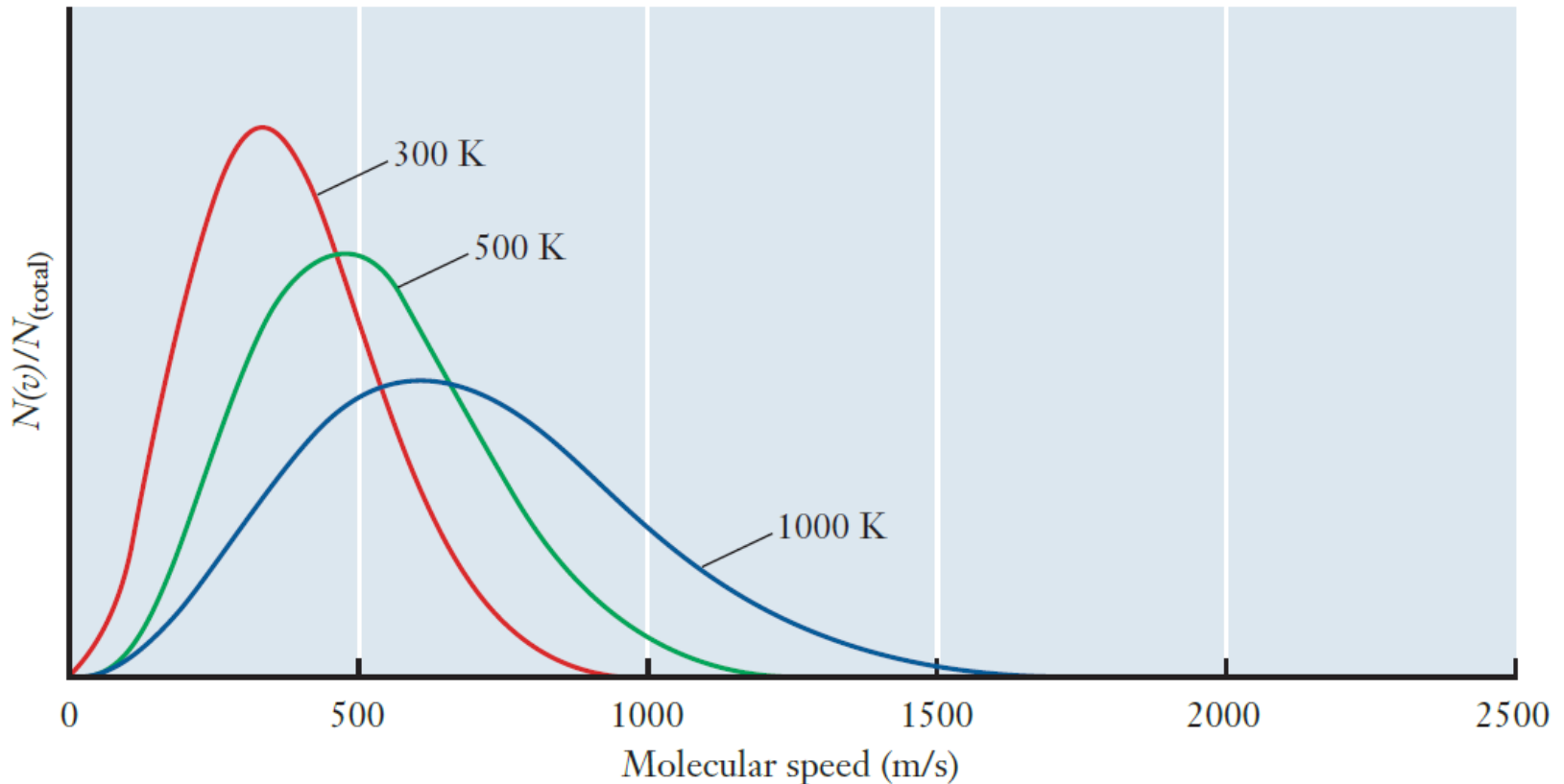
- Gas tidak selalu bersifat ideal terutama pada tekanan tinggi dan temperatur rendah
 - Sifat gas yang tidak ideal dapat dijelaskan dengan teori kinetik molekuler

Teori Kinetik gas

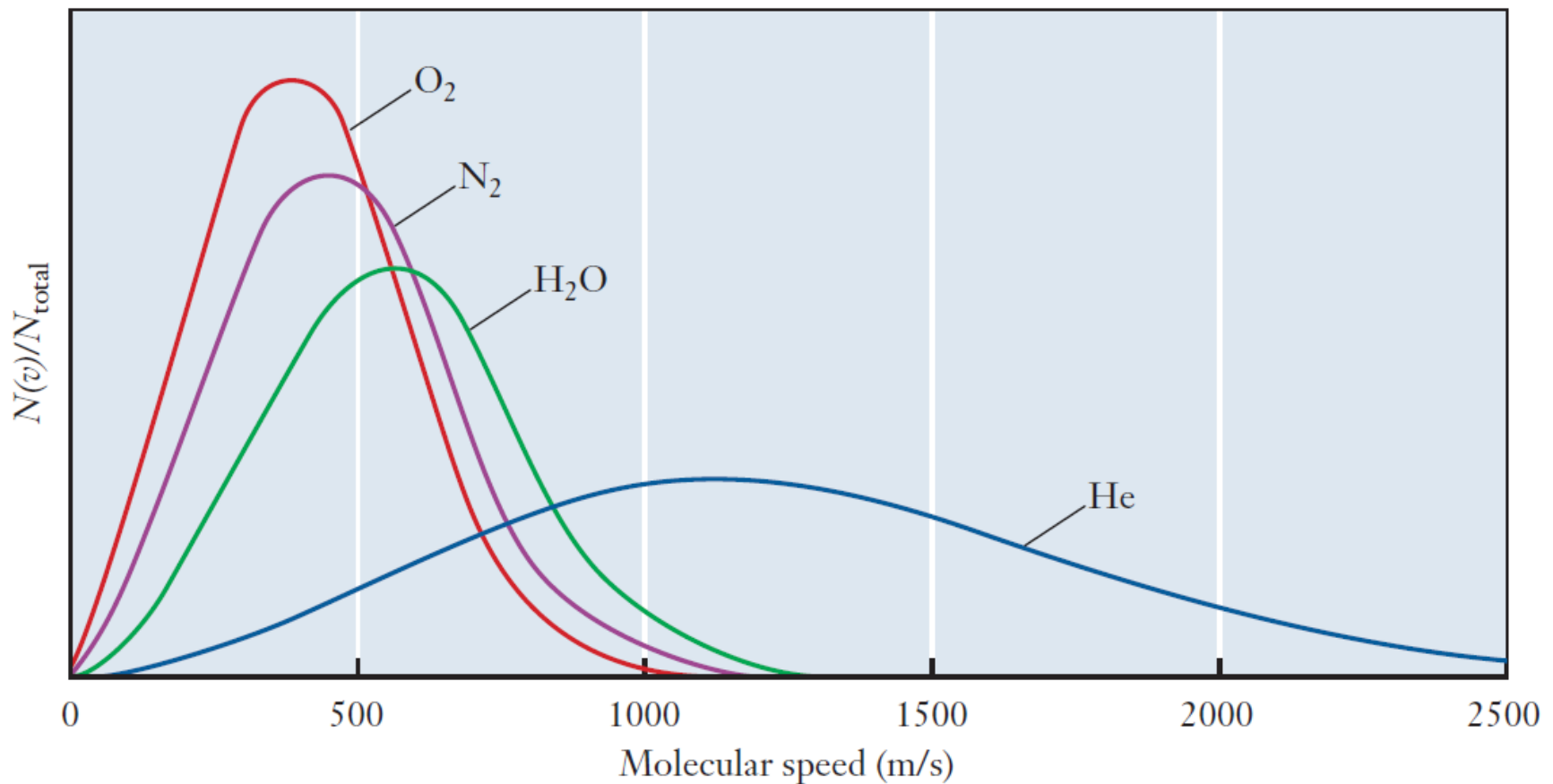
1. Gas terdiri dari molekul-molekul yang dipisahkan satu sama lain pada jarak yang jauh lebih besar dari ukuran molekul gas tersebut. Jadi molekul dianggap sebagai sebuah **titik** di dalam ruang, yang mempunyai massa tetapi volumenya diabaikan.
2. Molekul gas bergerak secara acak dengan kecepatan yang sama dan sering bertumbukan dengan molekul-molekul lain. Tumbukan antar molekul dianggap sebagai tumbukan yang elastis sempurna.
3. Molekul gas tidak mengalami gaya tarik menarik maupun tolak menolak dengan sesamanya.
4. Energi Kinetik (EK) rata-rata molekul sebanding dengan temperatur dalam satuan K. Dua gas pada temperatur yang sama mempunyai EK rata-rata yang sama.

$$KE = \frac{1}{2} mu^2$$

- Bila temperatur naik, fraksi molekul yang bergerak dengan kecepatan tinggi naik



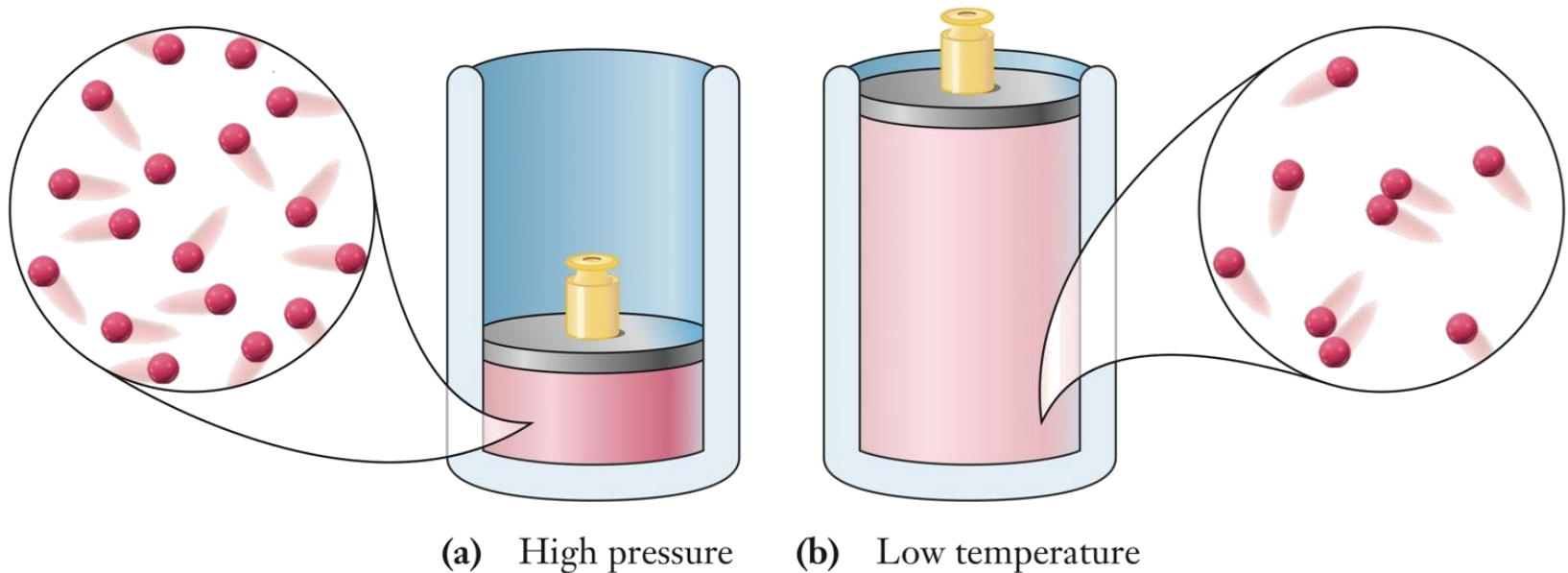
Bila massa molekul turun, fraksi molekul yang bergerak dengan kecepatan tinggi naik



Keterbatasan teori kinetik gas

- Volume gas dianggap nol
- Pada tekanan tinggi, volume partikel gas tidak bisa diabaikan terhadap volume ruang kosong

- Molekul gas bergerak seperti garis lurus dan hanya mempunyai tumbukan elastis
 - Molekul gas tidak saling tarik menarik atau tolak menolak
 - Gaya tarik menarik kecil dibandingkan energi kinetic molekul gas
- Gaya tarik menarik dan tolak menolak tidak bias diabaikan pada temperatur rendah
 - Energi kinetic menurun dengan temperatur
 - Molekul gas mengalami tumbukan yang melekat
 - Laju tumbukan menurun dan tekanan menurun



© Cengage Learning. All Rights Reserved.

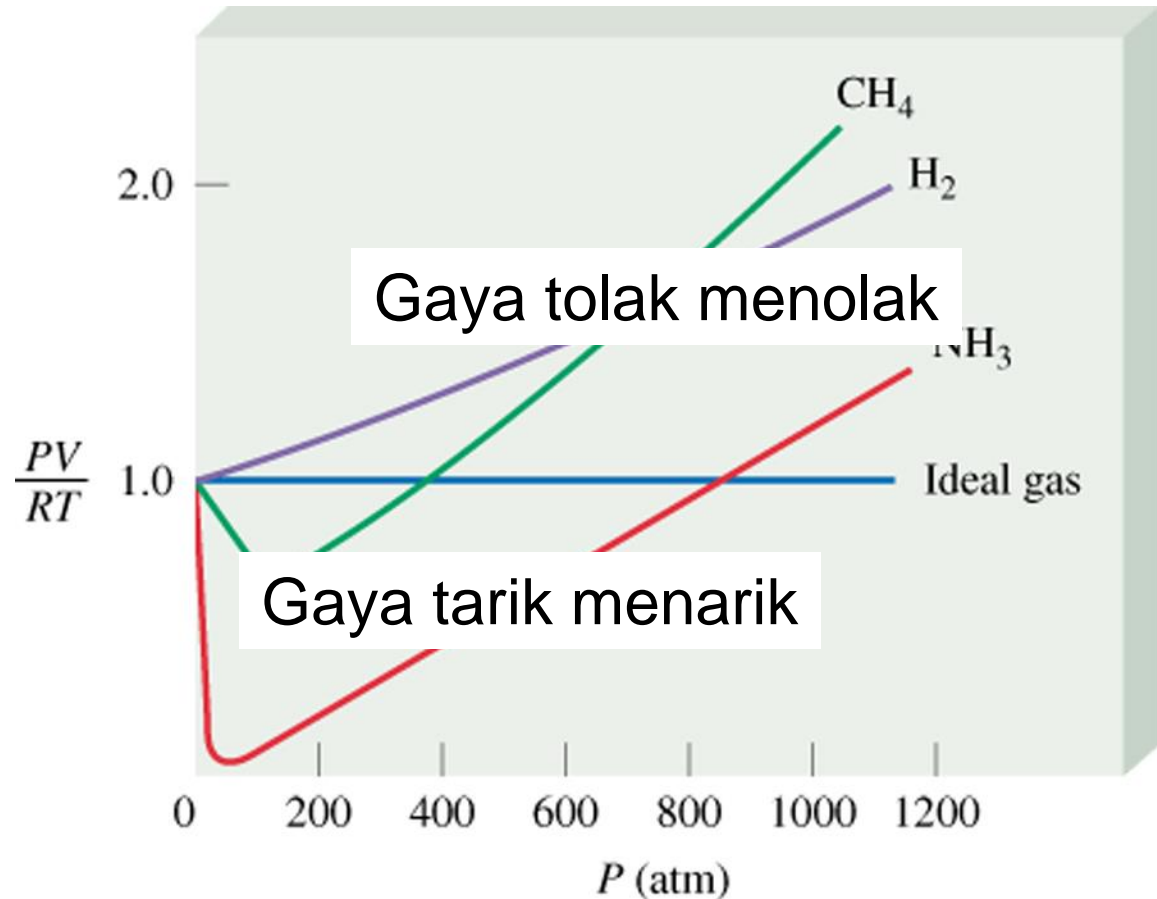
- Model gas ideal tidak berlaku pada tekanan tinggi dan temperatur rendah
 - P tinggi: volume partikel tidak dapat diabaikan
 - T rendah: gerakan partikel melambat sehingga antaraksi menurun

Penyimpangan dari keadaan ideal

1 mol gas ideal

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT} = 1,0$$



Persamaan keadaan van der Waals

Untuk gas yang tidak ideal

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$

koreksi
terhadap
tekanan

koreksi
terhadap
volum

* Molekul dengan gaya tarik menarik kuat mempunyai nilai a yang besar

* Molekul yang besar mempunyai nilai b yang besar

TABLE 5.4

van der Waals Constants
of Some Common Gases

Gas	a $\frac{\text{atm} \cdot \text{L}^2}{\text{mol}^2}$	b $\frac{\text{L}}{\text{mol}}$
He	0.034	0.0237
Ne	0.211	0.0171
Ar	1.34	0.0322
Kr	2.32	0.0398
Xe	4.19	0.0266
H ₂	0.244	0.0266
N ₂	1.39	0.0391
O ₂	1.36	0.0318
Cl ₂	6.49	0.0562
CO ₂	3.59	0.0427
CH ₄	2.25	0.0428
CCl ₄	20.4	0.138
NH ₃	4.17	0.0371
H ₂ O	5.46	0.0305