

Bab 5 **Gas**

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.

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	Compounds
H ₂ (molecular hydrogen)	HF (hydrogen fluoride)
N ₂ (molecular nitrogen)	HCl (hydrogen chloride)
O ₂ (molecular oxygen)	HBr (hydrogen bromide)
O ₃ (ozone)	HI (hydrogen iodide)
F ₂ (molecular fluorine)	CO (carbon monoxide)
Cl ₂ (molecular chlorine)	CO ₂ (carbon dioxide)
He (helium)	NH ₃ (ammonia)
Ne (neon)	NO (nitric oxide)
Ar (argon)	NO ₂ (nitrogen dioxide)
Kr (krypton)	N ₂ O (nitrous oxide)
Xe (xenon)	SO ₂ (sulfur dioxide)
Rn (radon)	H ₂ S (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.

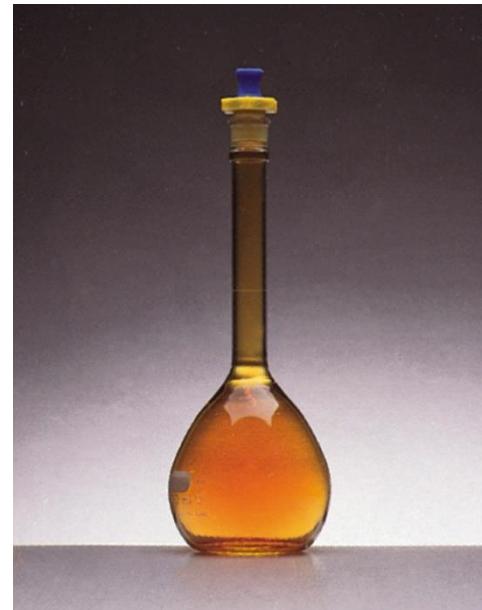
Gas alam

- 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.



Tekanan = Gaya
Luas

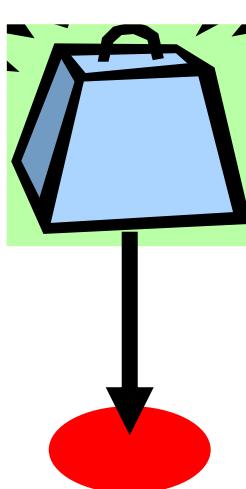
(gaya = massa x percepatan)

Satuan tekanan

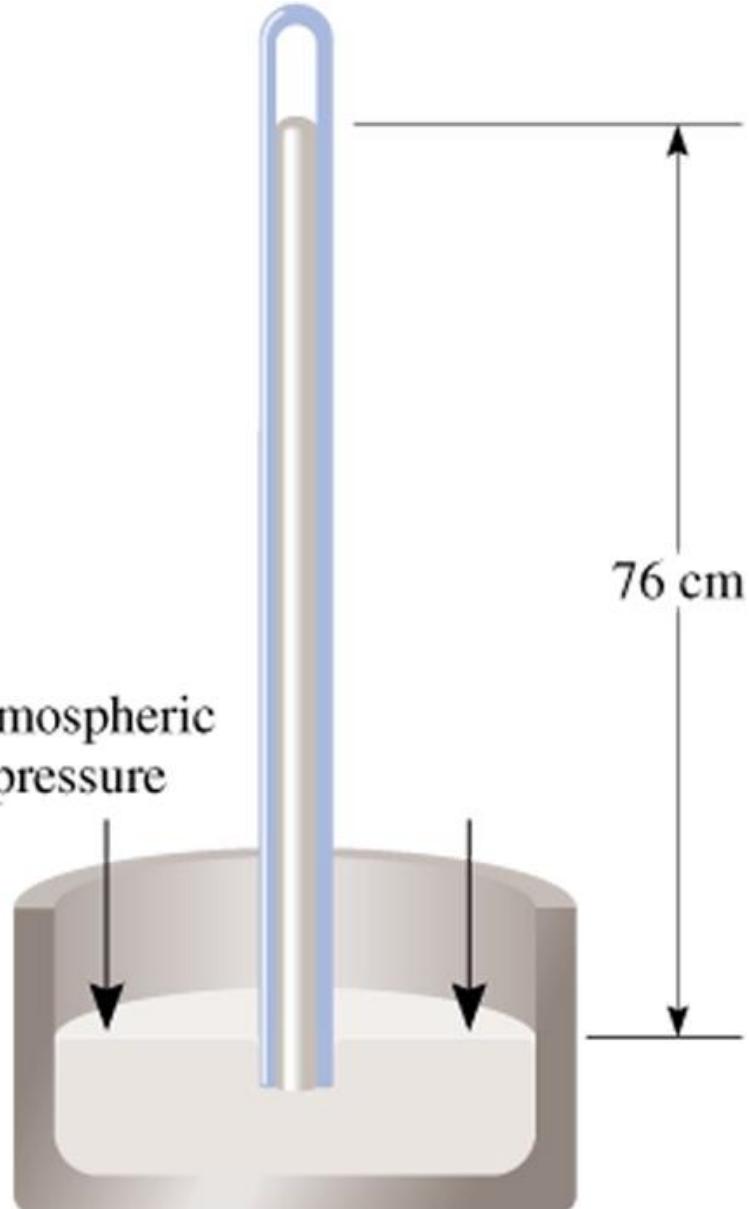
1 pascal (Pa) = 1 N/m²

1 atm = 760 mmHg = 760 torr

1 atm = 101325 Pa

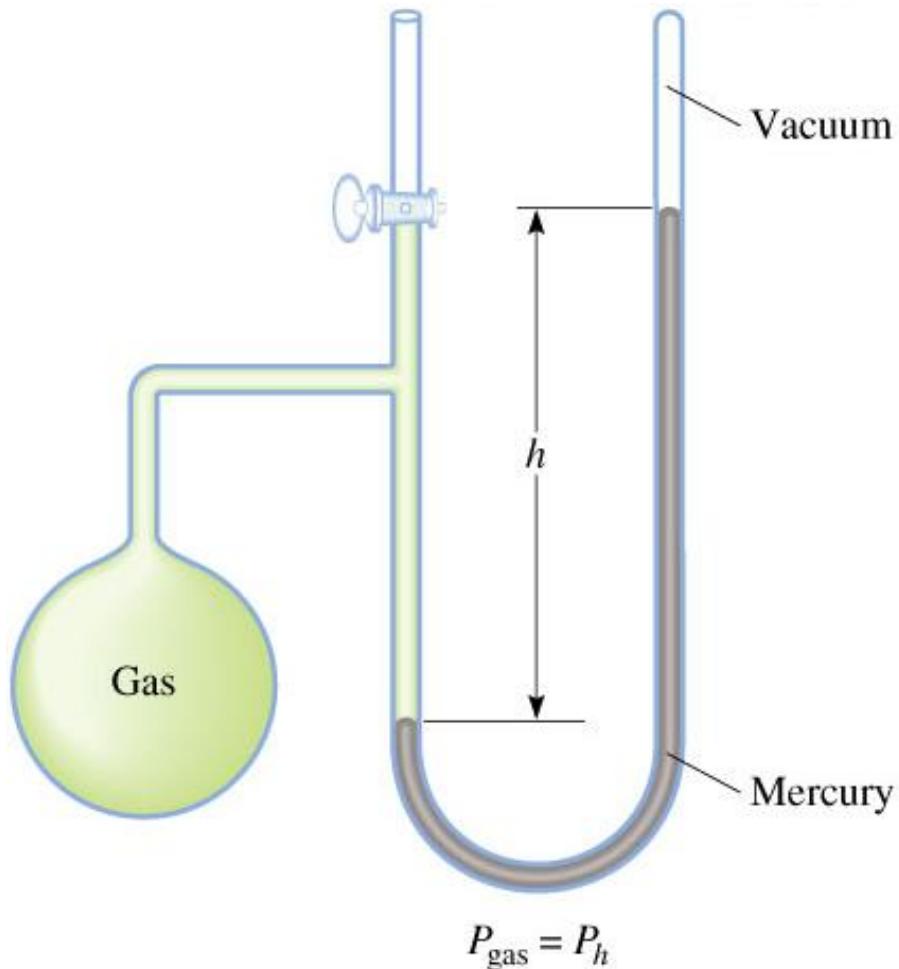


Atmospheric
pressure

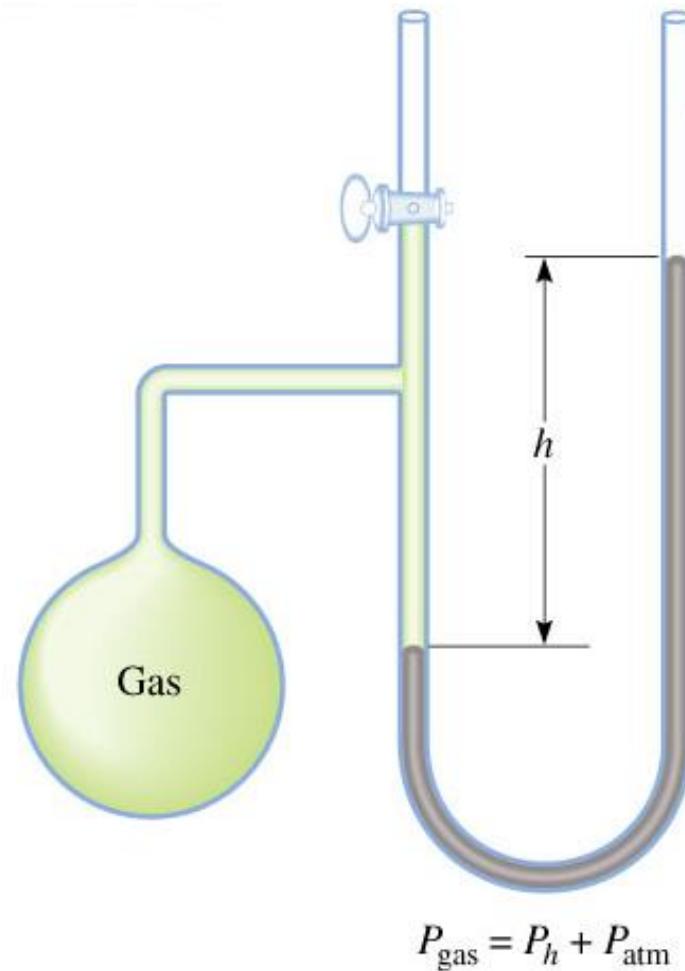


Barometer

Manometer untuk mengukur tekanan gas

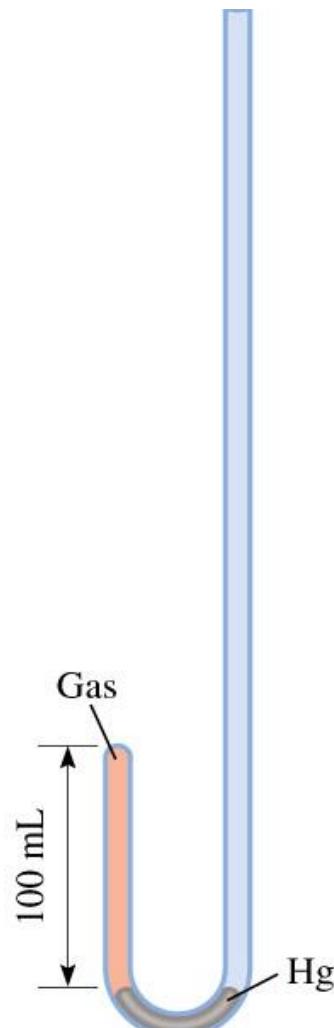


(a)



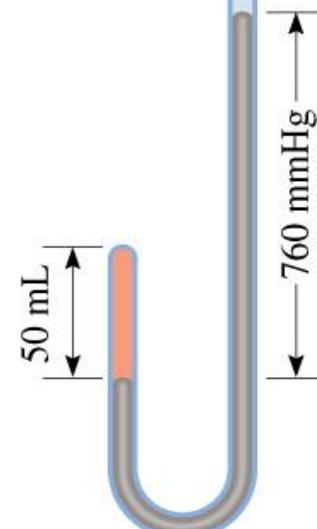
(b)

Peralatan untuk mempelajari hubungan tekanan dan volum gas



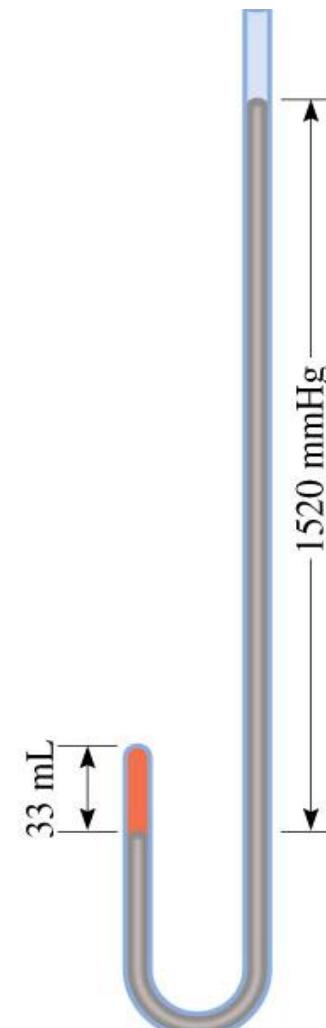
(a)

P (h) naik



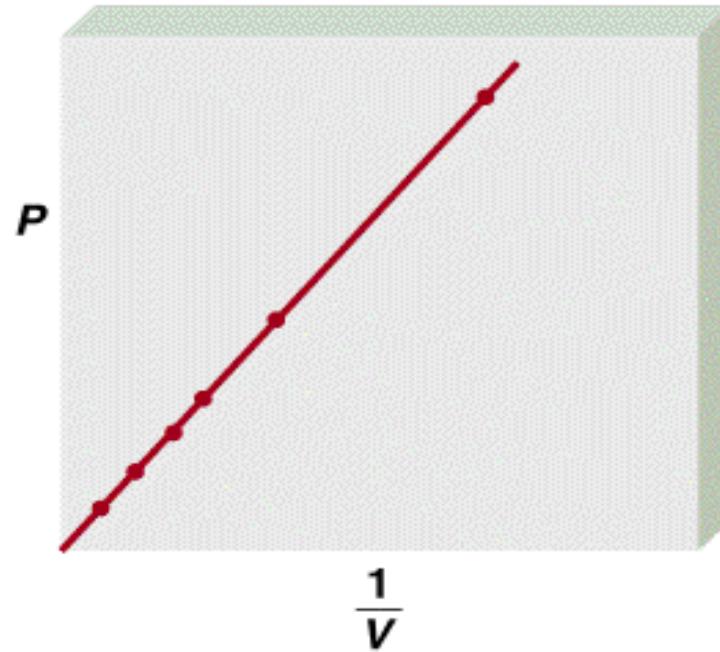
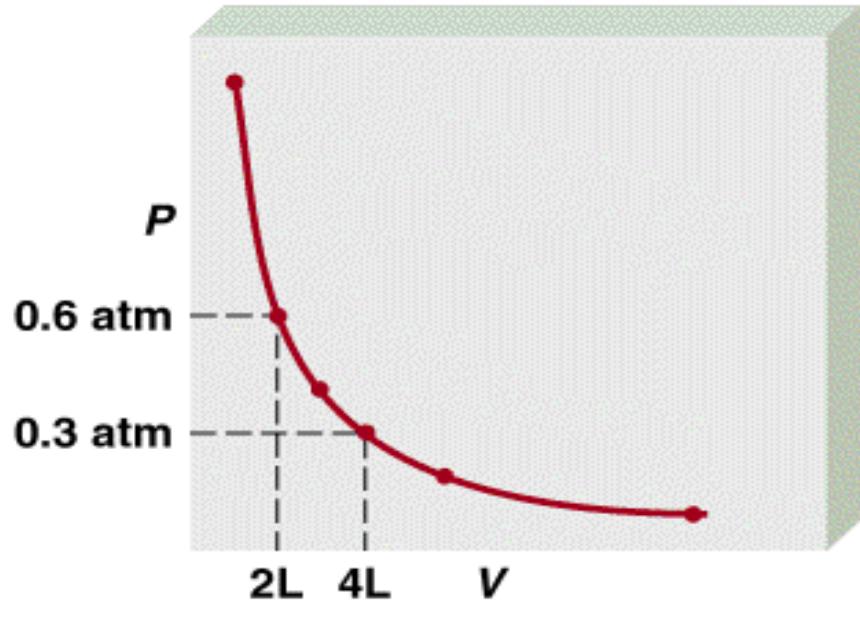
(b)

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?

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

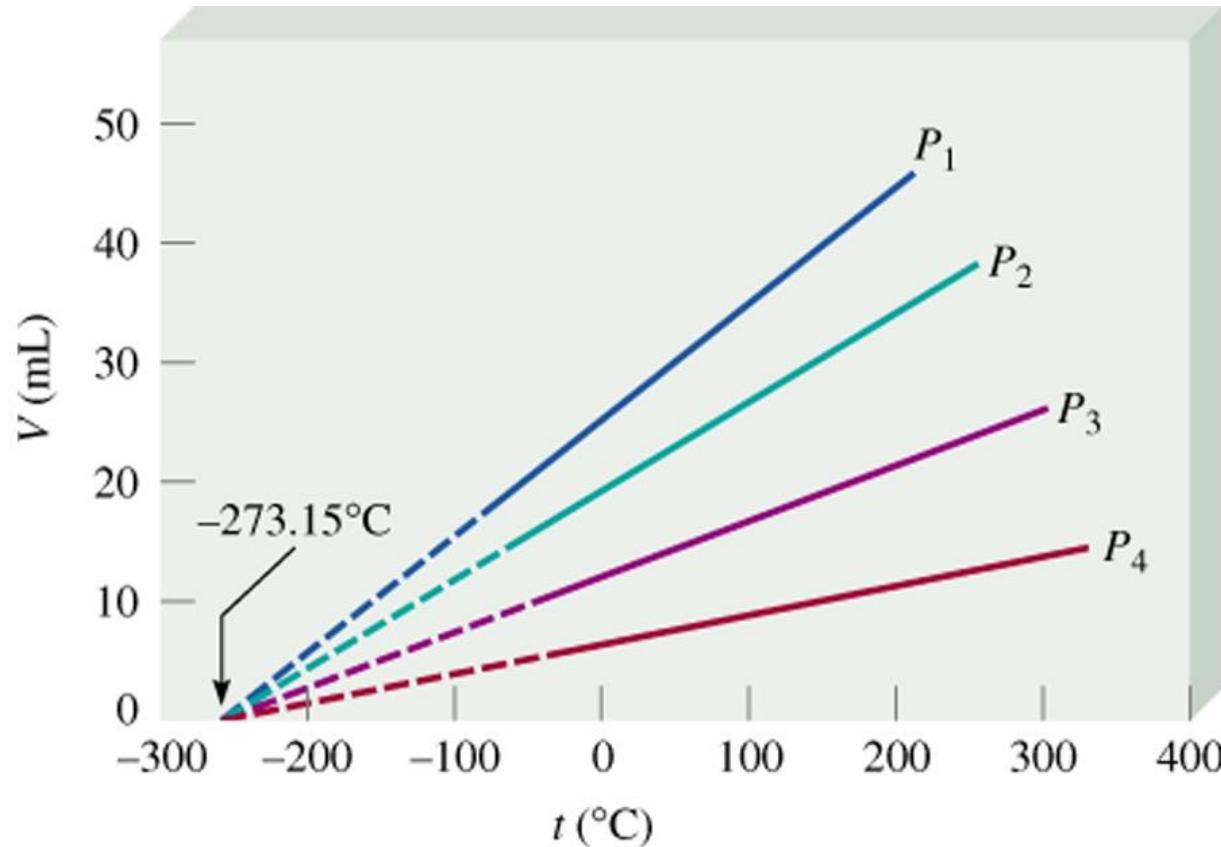
$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

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

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

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

Perubahan volum gas terhadap temperatur pada tekanan tetap



$$V \propto T$$

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

$$V_1/T_1 = V_2/T_2$$

**Hukum
Charles &
Gay-Lussac**

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?

$$V_1/T_1 = V_2/T_2$$

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

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

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

$$T_2 = ?$$

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

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

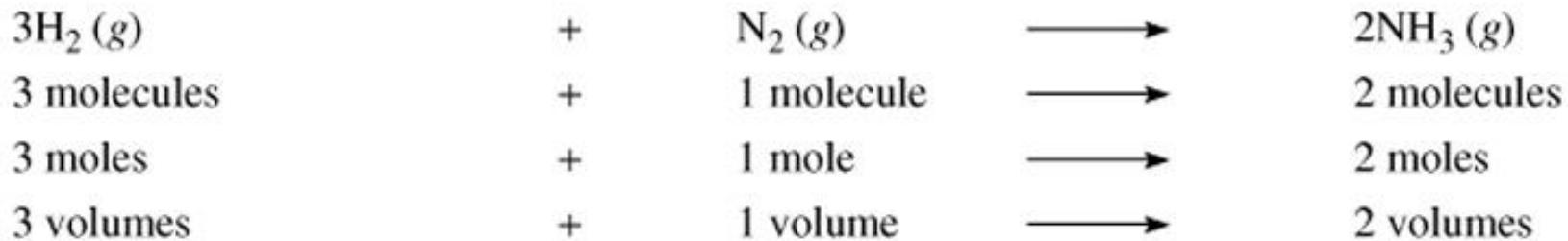
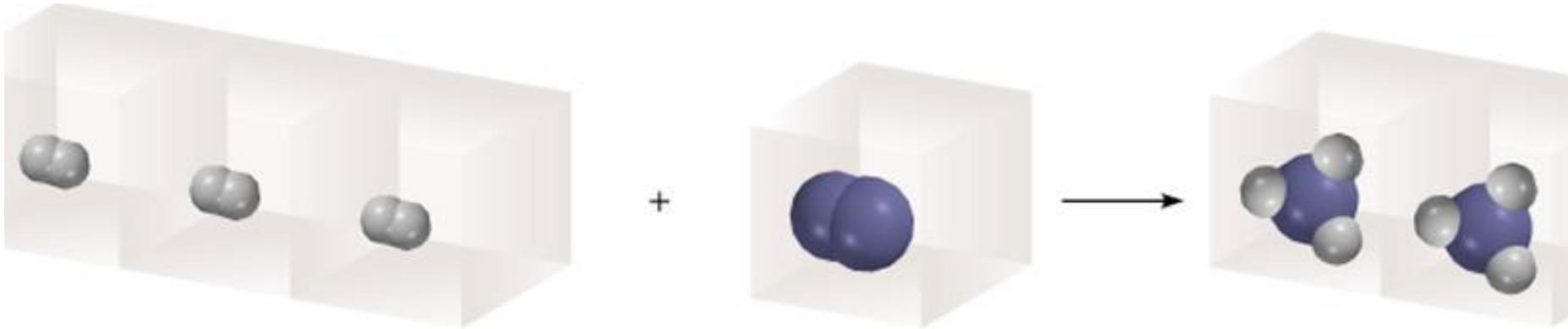
Hukum Avogadro

$V \propto$ jumlah mol (n)

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

Temperatur tetap
Tekanan tetap

$$V_1 / n_1 = V_2 / n_2$$



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?

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

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

$$PV = nRT$$

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

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

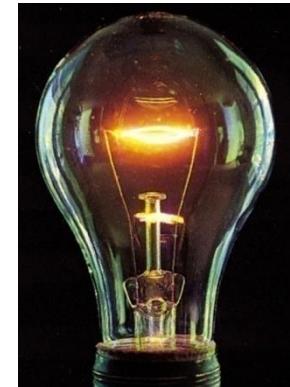
$$V = \frac{1,37 \cancel{\text{mol}} \times 0,0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\cancel{\text{mol}} \cdot \text{K}} \times 273,15 \cancel{\text{K}}}{1 \cancel{\text{atm}}}$$

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

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)?

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

$$\frac{nR}{V} = \frac{P}{T} = \text{tetap} \quad P_1 = 1,20 \text{ atm} \quad P_2 = ?$$



$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad T_1 = 291 \text{ K} \quad T_2 = 358 \text{ K}$$

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

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!

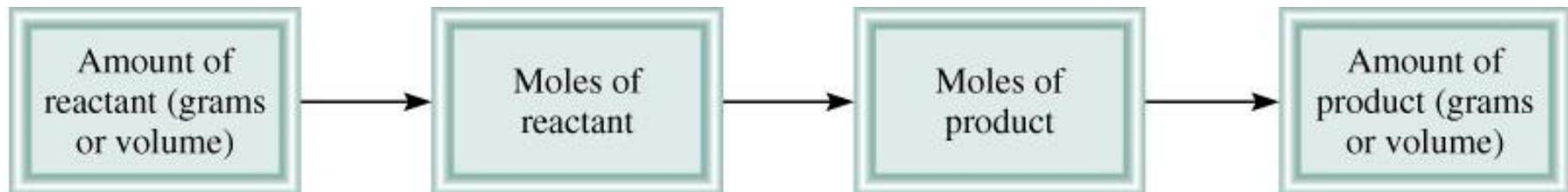
$$\mathcal{M} = \frac{dRT}{P}$$

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

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

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

Stoikiometri Gas



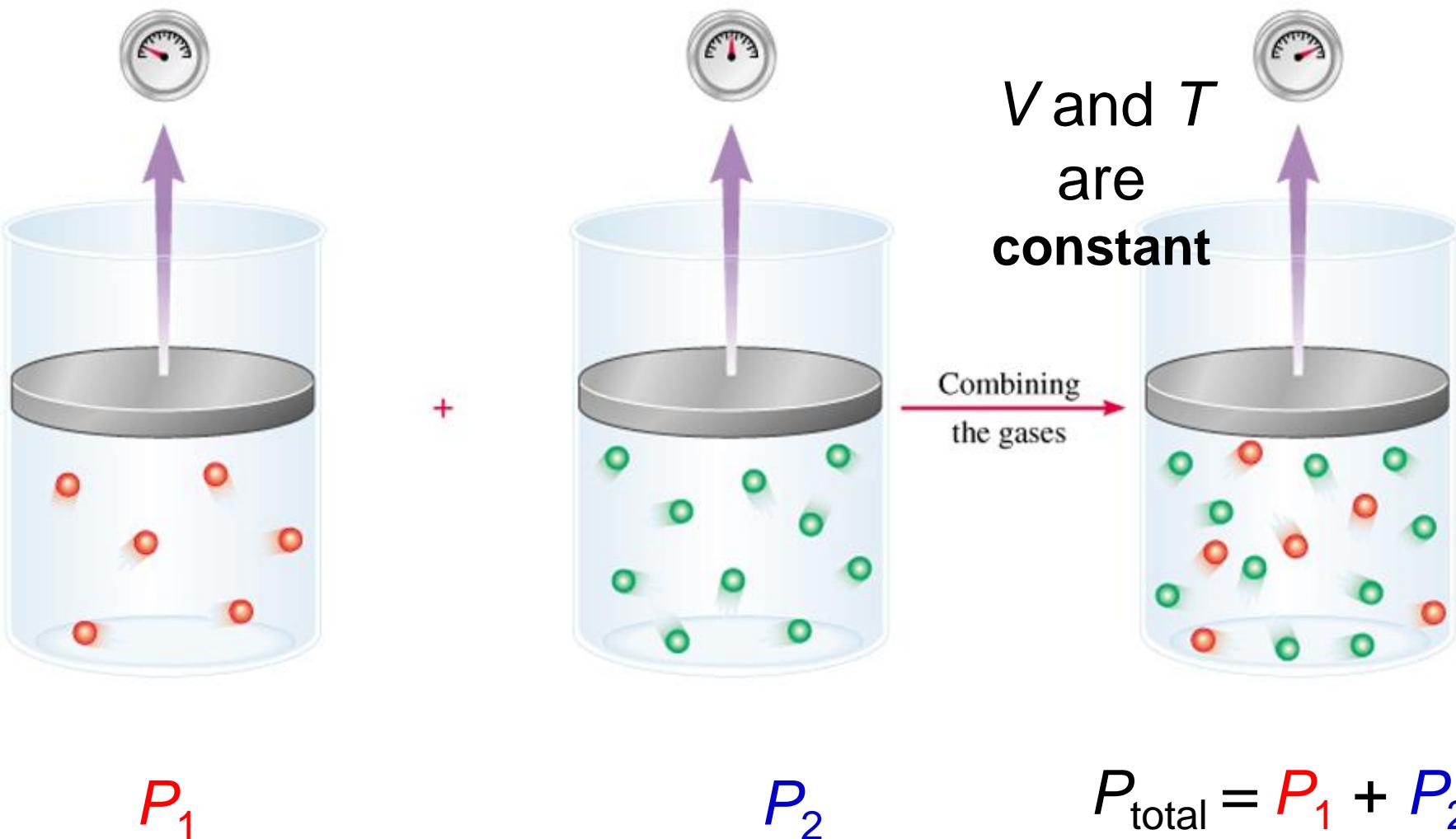
Hitung volum CO_2 yang dihasilkan pada 37°C dan $1,00 \text{ atm}$ bila $5,60 \text{ g}$ glukosa digunakan dalam reaksi:



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

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

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

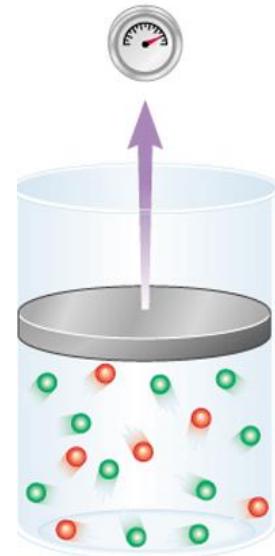
$$P_T = P_A + P_B$$

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

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

$$P_A = X_A P_T$$

$$P_B = X_B P_T$$



$$P_i = X_i P_T$$

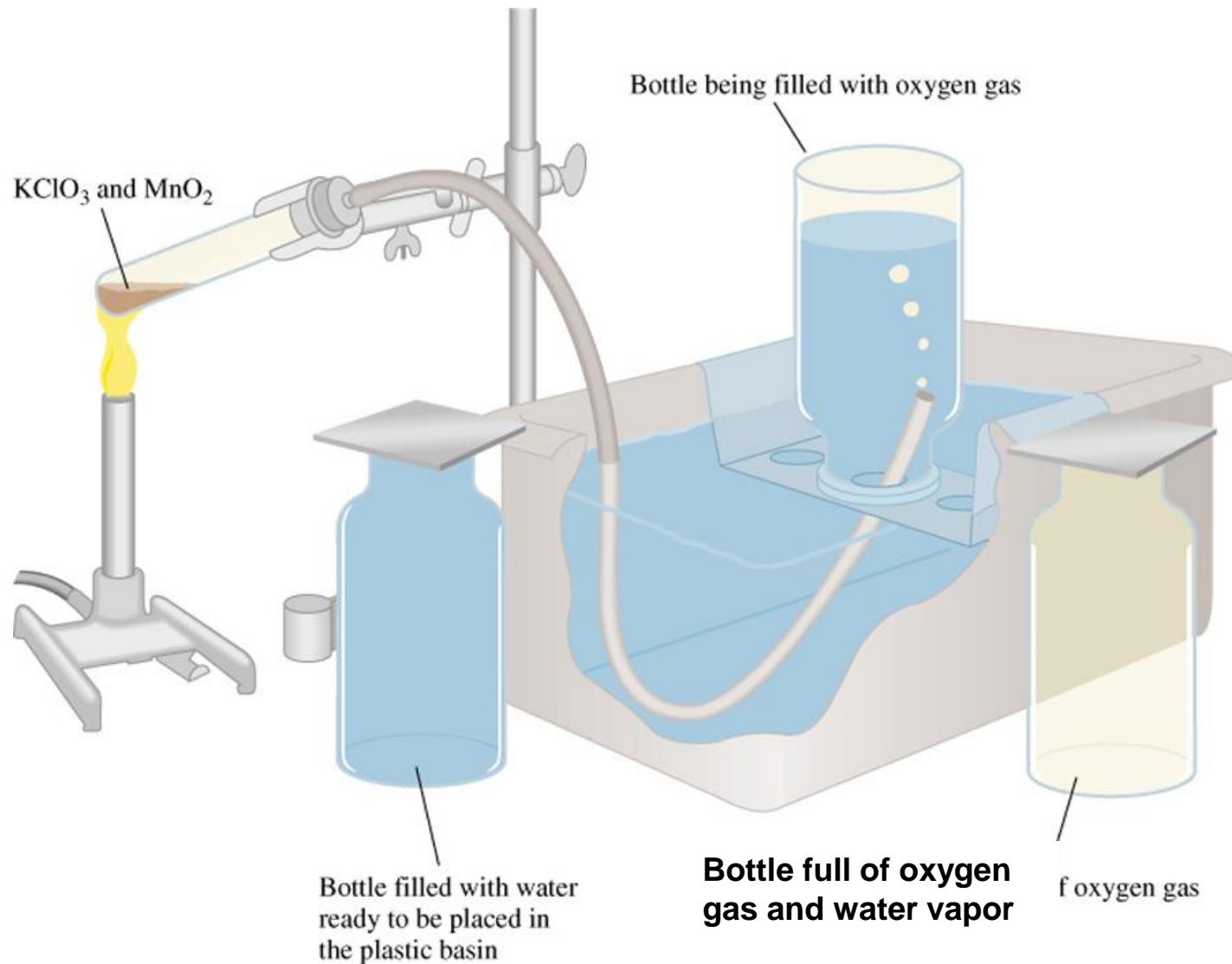
$$\text{Fraksi mol } (X_i) = \frac{n_i}{n_T}$$

Cuplikan gas alam mengandung 8,24 mol CH₄, 0,421 mol C₂H₆, dan 0,116 mol C₃H₈. Bila tekanan total gas adalah 1,37 atm, hitung tekanan parsial propana (C₃H₈) !

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

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

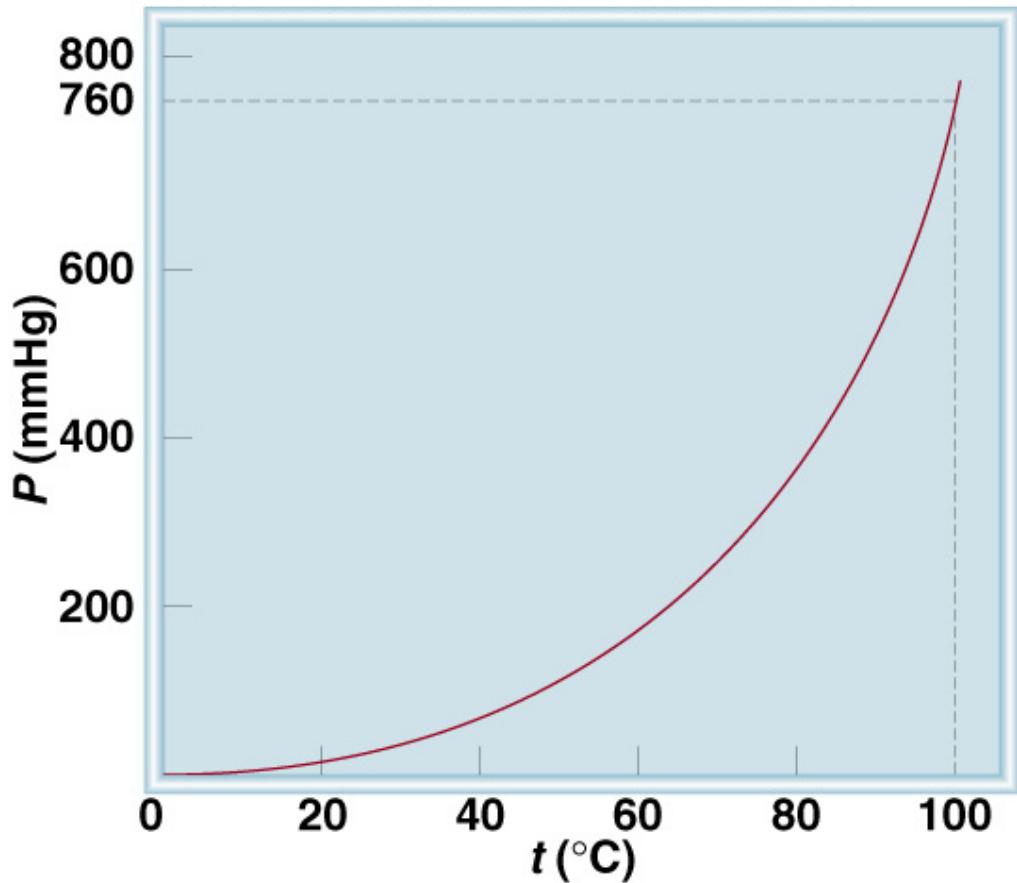
$$P_{\text{propane}} = 0,0132 \times 1,37 \text{ atm} = 0,0181 \text{ atm}$$



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

TABLE 5.3

**Pressure of Water Vapor
at Various Temperatures**

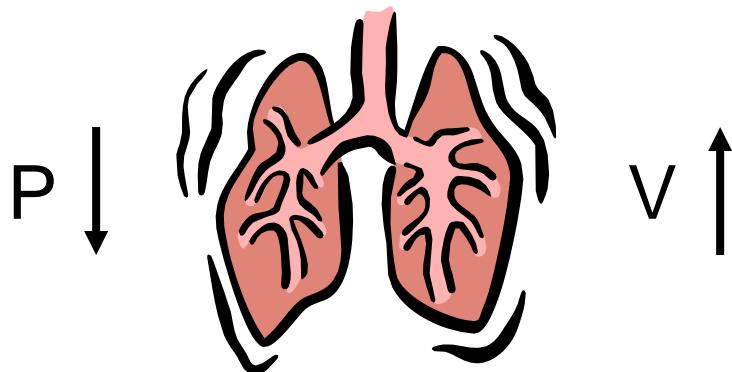


Temperature ($^{\circ}$ C)	Water Vapor Pressure (mmHg)
0	4.58
5	6.54
10	9.21
15	12.79
20	17.54
25	23.76
30	31.82
35	42.18
40	55.32
45	71.88
50	92.51
55	118.04
60	149.38
65	187.54
70	233.7
75	289.1
80	355.1
85	433.6
90	525.76
95	633.90
100	760.00

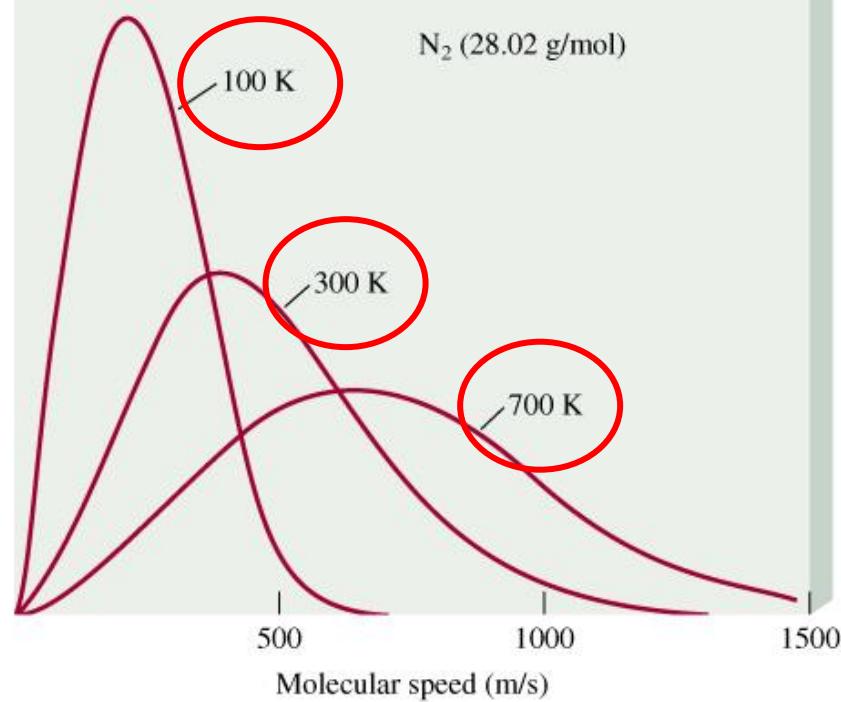
Aplikasi:

Scuba Diving dan tekanan gas

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



Number of molecules



N_2 (28.02 g/mol)

100 K

300 K

700 K

500

1000

1500

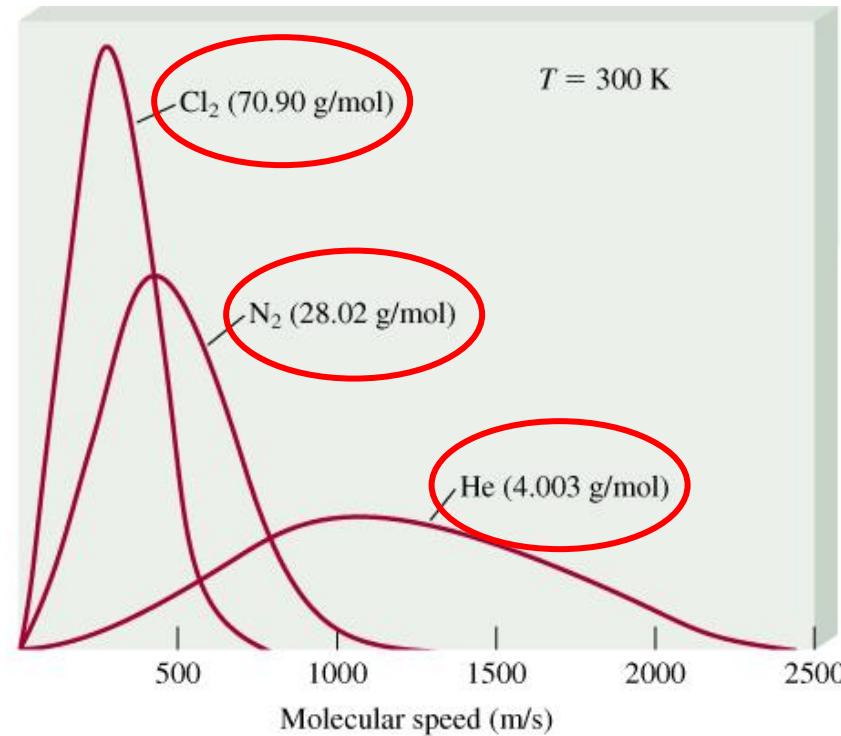
Molecular speed (m/s)

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

Number of molecules



$T = 300$ K

Cl_2 (70.90 g/mol)

N_2 (28.02 g/mol)

He (4.003 g/mol)

500

1000

1500

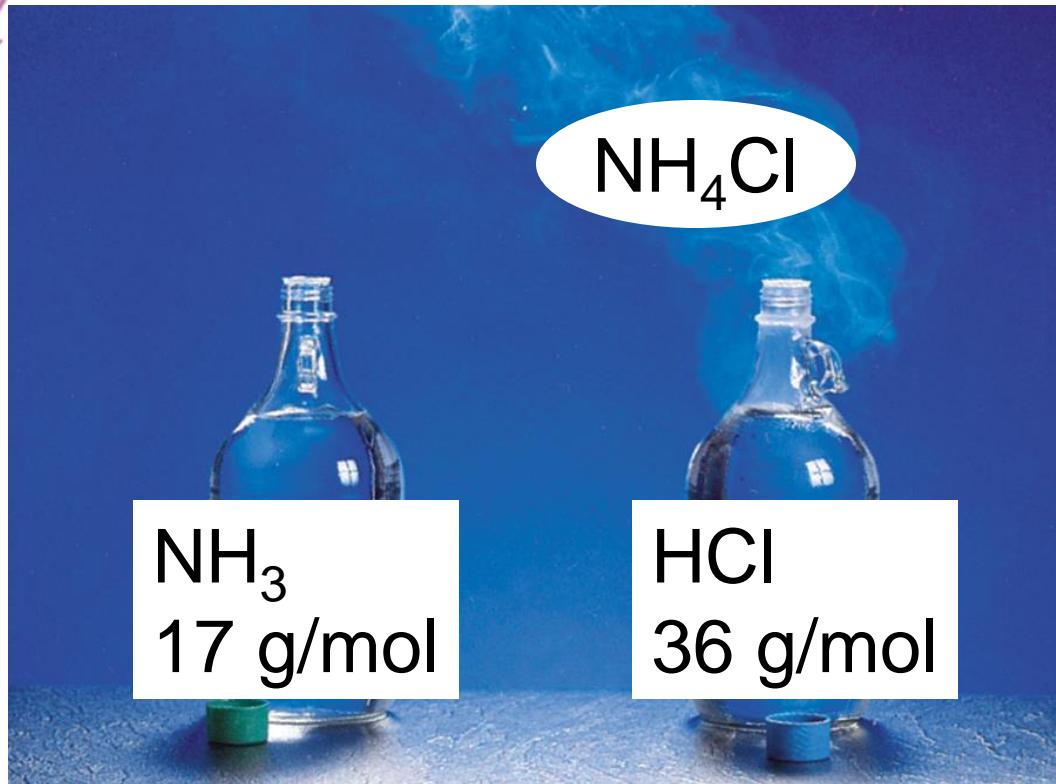
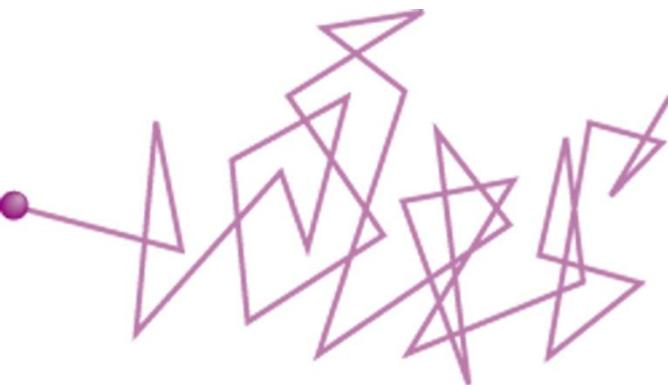
2000

2500

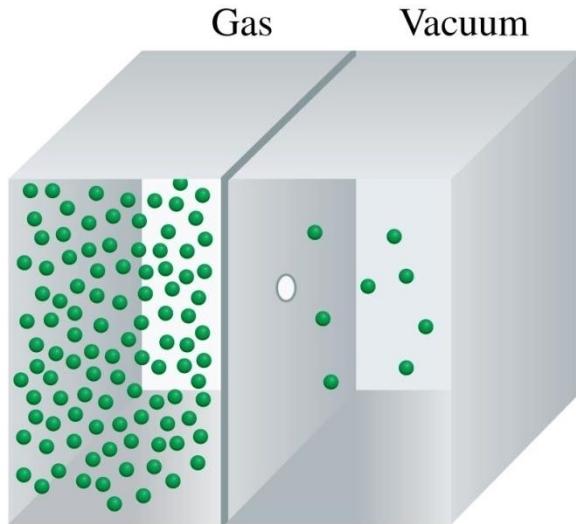
Molecular speed (m/s)

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

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$



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?

$$r_1 = 3,3 \times r_2$$

$$\mathcal{M}_2 = \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \times \mathcal{M}_1 = (3,3)^2 \times 16 = 174,2$$

$$\mathcal{M}_1 = 16 \text{ g/mol}$$

$$58,7 + x \cdot 28 = 174,2 \quad x = 4,1 \sim 4$$

Teori kinetik gas – teori molekuler dan ideal vs gas nyata

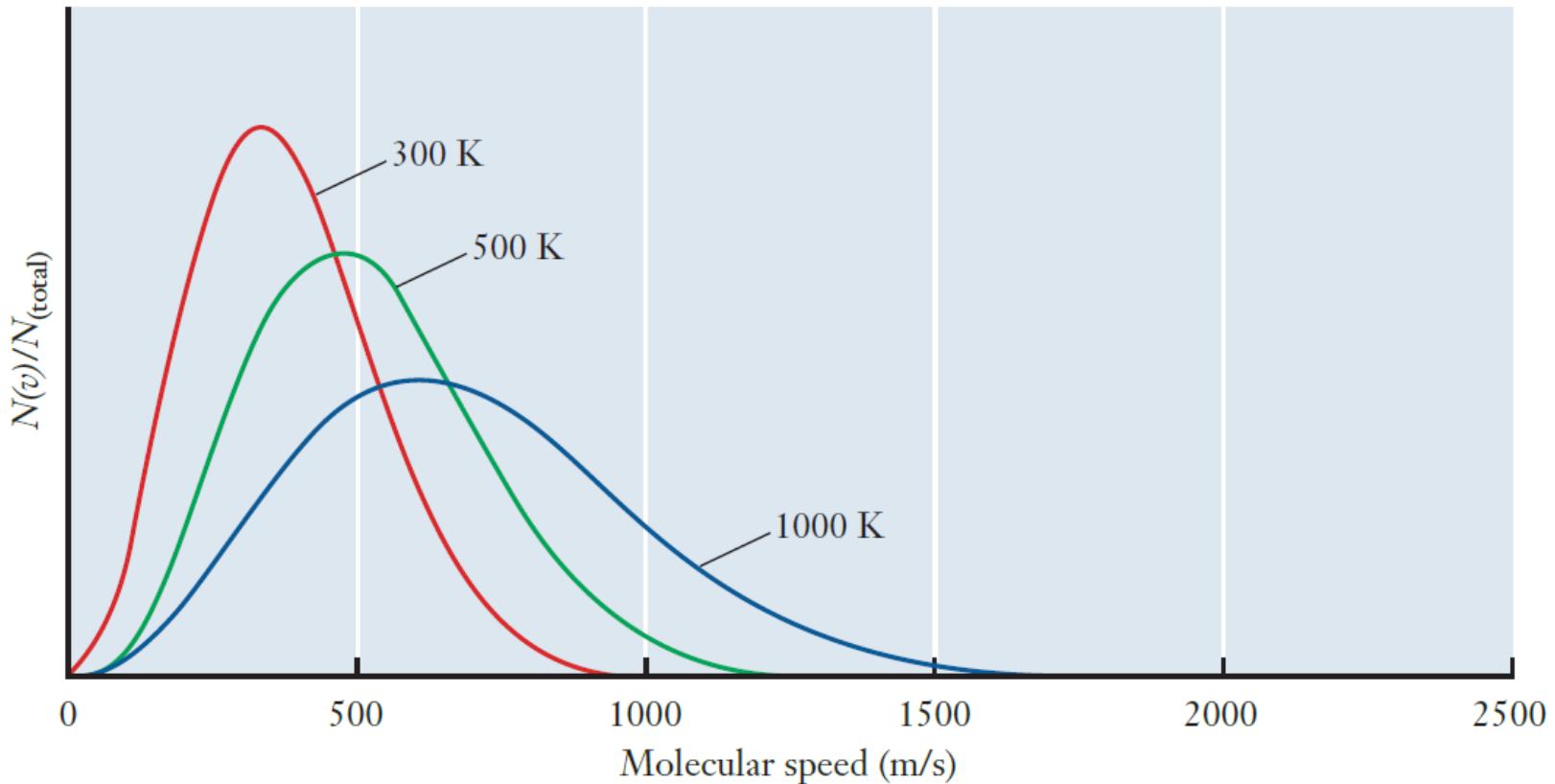
- Gas tidak selalu bersifat ideal terutama pada tekanan tinggi dan temperatur rendah
 - Sifat gas yang tidak ideal dapat dijelaskan dengan teori kinetik molekuler

Teori Kinetik gas

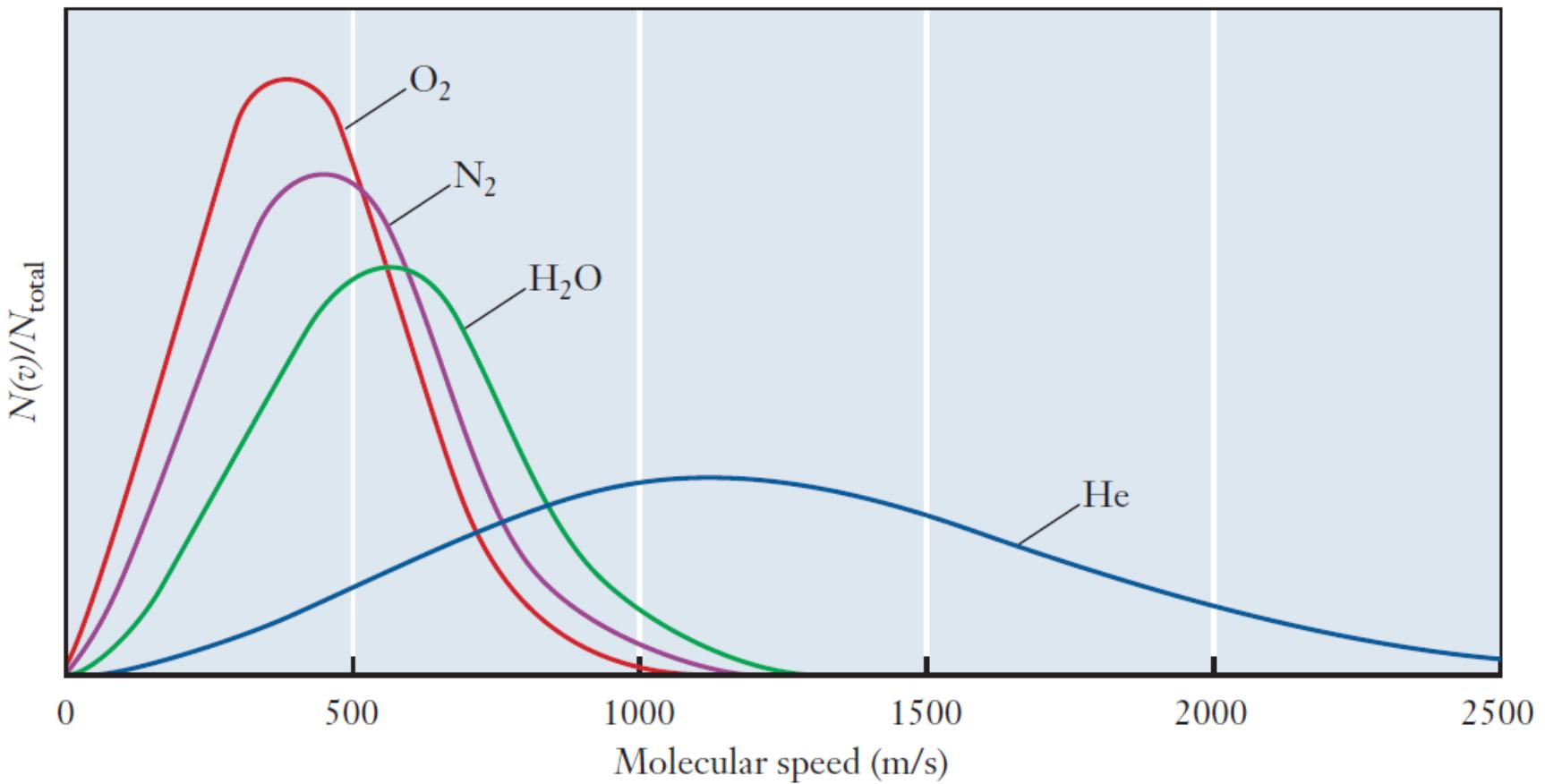
1. Gas terdiri dari molekul-molekul yang dipisahkan satu sama lain pada jarak yang jauh lebih besar dari ukuran molekul gas tersebut. Jadi molekul dianggap sebagai sebuah **titik** di dalam ruang, yang mempunyai massa tetapi volumnya diabaikan.
2. Molekul gas bergerak secara acak dengan kecepatan yang 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



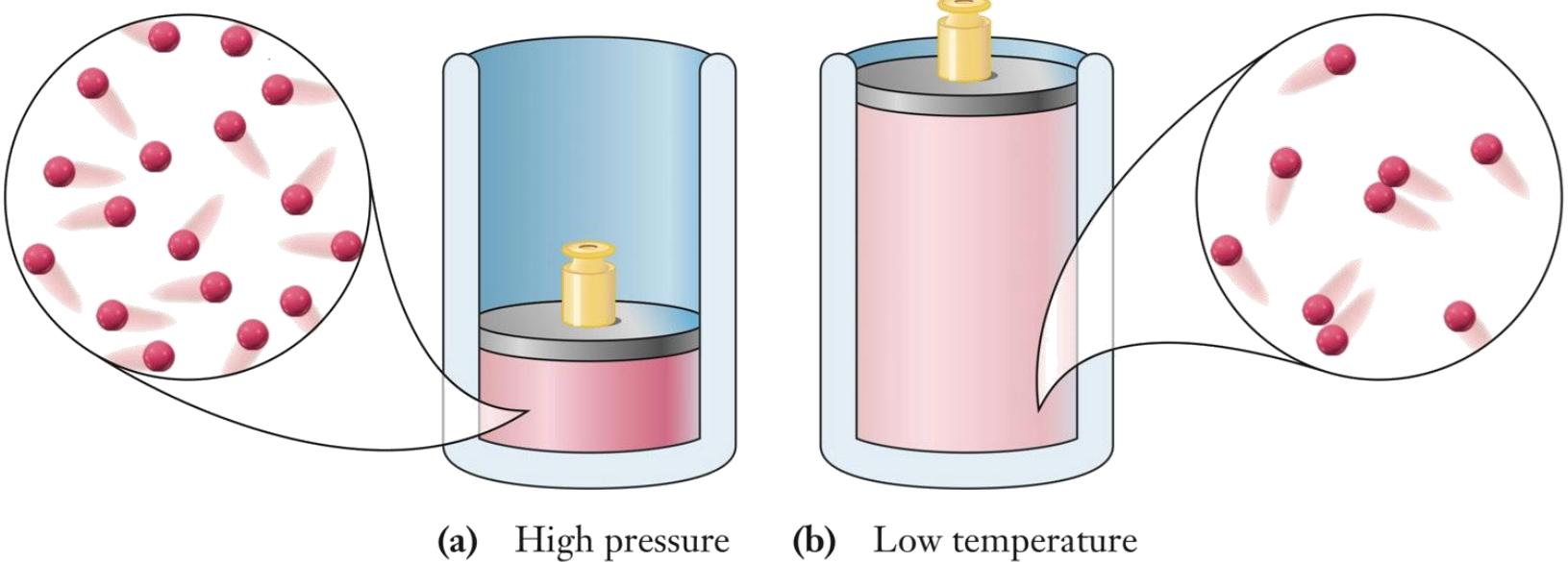
Bila massa molekul turun, fraksi molekul yang bergerak dengan kecepatan tinggi naik



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

$$PV = nRT$$

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

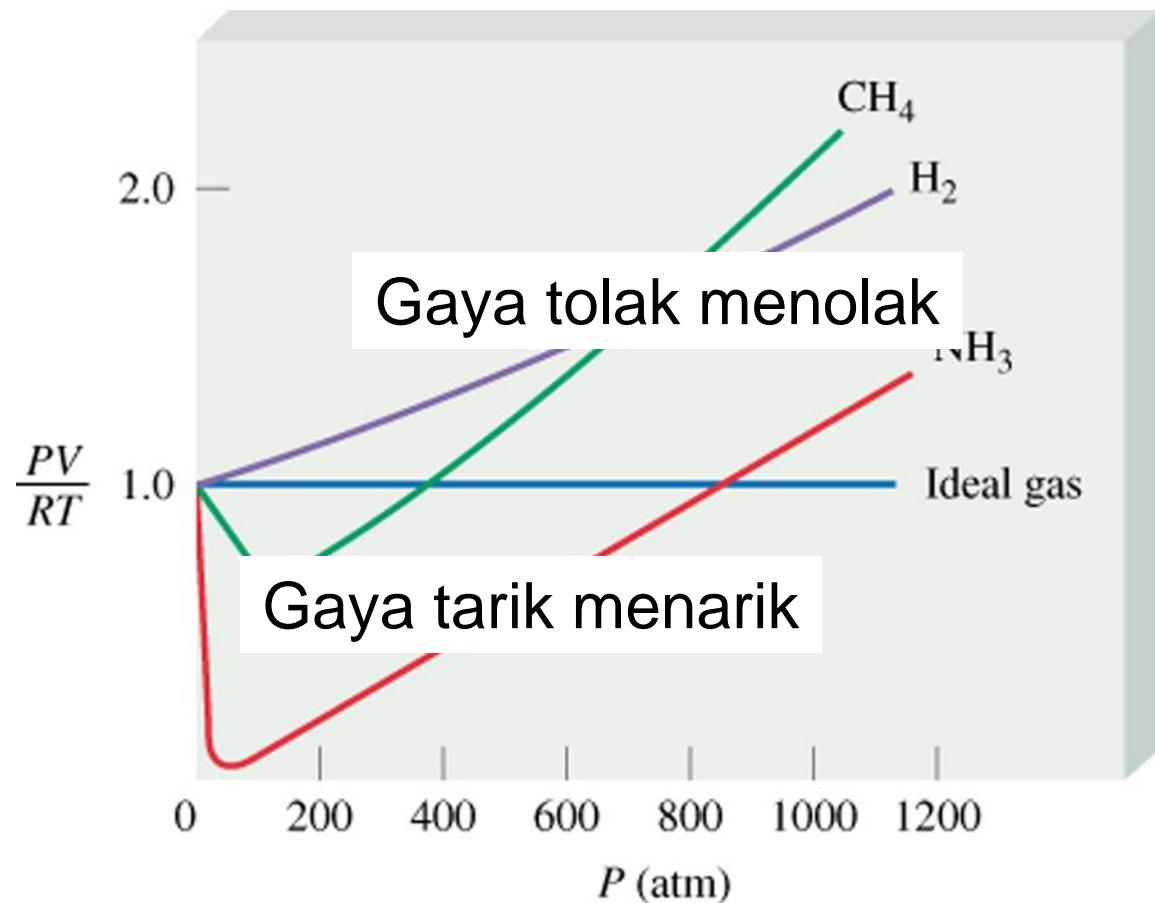


TABLE 5.4

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_2O	5.46	0.0305

Persamaan keadaan van der Waals

Untuk gas yang tidak ideal

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

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