

Gas & Termodinamika

A. PENDAHULUAN

- ✎ **Partikel gas** dalam ruang berhubungan dengan tekanan, volume dan suhu.
- ✎ Berapapun partikel gas, dapat diletakkan dalam suatu ruangan dengan volume tertentu, begitupula sebaliknya.
- ✎ **Gas** terdiri atas gas ideal dan gas sejati.
- ✎ **Sifat-sifat gas ideal:**
 - 1) Gas ideal memiliki ukuran partikel yang sangat kecil dibanding ruangnya.
 - 2) Gas ideal bergerak secara cepat dan sembarang, menurut garis lurus.
 - 3) Gas ideal bergerak akibat tumbukan antarpartikel atau tumbukan dengan ruangnya yang lenting sempurna.
 - 4) Gas ideal memiliki gaya tarik menarik antarpartikel yang lemah.

B. PERSAMAAN GAS IDEAL

- ✎ **Persamaan gas ideal** adalah:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$P \cdot V = N \cdot k \cdot T$$

P = tekanan gas (N/m² atau Pa)

V = volume gas (m³)

n = jumlah mol partikel (mol)

N = jumlah partikel (partikel)

R = tetapan gas ideal (8,314 J/mol.K atau 0,082 atm.L/mol.K)

k = tetapan Boltzmann (1,38 x 10⁻²³ J/K)

T = suhu mutlak gas (K)

- ✎ **Satuan tekanan** yang sering digunakan:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} = 760 \text{ mmHg} \\ = 1,01 \text{ bar} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

- ✎ **Hubungan** tetapan, mol, dan jumlah partikel persamaan gas ideal:

$$k = \frac{R}{N_A}$$

$$n = \frac{N}{N_A}$$

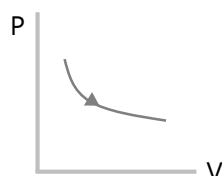
$$n = \frac{m}{M}$$

N_A atau L = bilangan Avogadro (6,02 x 10²³ partikel)

m = massa benda (gram)

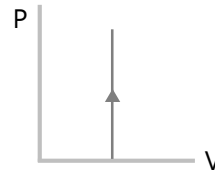
M atau m_m = massa molar (Ar atau Mr) (gram/mol)

- ✎ **Proses isotermik** adalah keadaan dimana suhu selalu konstan, dan berlaku **hukum Boyle** yang menghubungkan volume dengan tekanan gas.



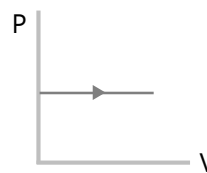
$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

- ✎ **Proses isokhorik** adalah keadaan dimana volume selalu konstan, dan berlaku **hukum Gay-Lussac** yang menghubungkan tekanan dengan suhu gas.



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

- ✎ **Proses isobarik** adalah keadaan dimana tekanan selalu konstan, dan berlaku **hukum Charles (Boyle Gay-Lussac)** yang menghubungkan volume dengan suhu gas.



$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

C. ENERGI KINETIK GAS

- ✎ **Energi kinetik gas (Ek)** adalah energi yang dimiliki gas akibat bergerak.
- ✎ **Energi kinetik rata-rata** suatu partikel gas secara umum dapat dirumuskan:

$$\bar{E}_k = \frac{1}{2} m_o \cdot \bar{v}^2$$

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} k \cdot T$$

m_o = massa tiap partikel (kg)

\bar{v} = kecepatan rata-rata (m/s²)

- ✎ **Teori ekuipartisi energi** menjelaskan bahwa energi kinetik rata-rata dipengaruhi derajat kebebasan partikel gas.

$$\bar{E}_k = \frac{1}{2} f \cdot k \cdot T$$

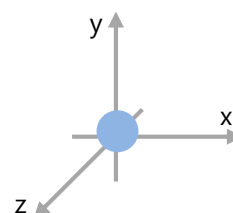
$$\bar{E}_k = \frac{1}{2} f \cdot \frac{PV}{N}$$

- ✎ **Derajat kebebasan** adalah kebebasan partikel gas untuk bergerak dalam ruang akibat gerak translasi (vibrasi) dan gerak rotasi.

- ✎ **Energi kinetik rata-rata** menurut teori ekuipartisi energi:

Gas monoatomik

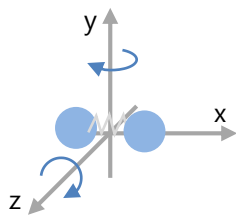
Gas monoatomik hanya melakukan gerak translasi (vibrasi) ke tiga sumbu, sehingga f = 3.



$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} k \cdot T$$

Gas diatomik

Gas diatomik melakukan gerak translasi (vibrasi) ke tiga sumbu dan gerak rotasi pada sumbu y dan z, sehingga $f = 5$.



$$\overline{Ek} = \frac{5}{2} k.T$$

Kecepatan rata-rata atau efektif (v_{rms}) gas ideal dapat dirumuskan:

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T}{m_o}} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{M}} = \sqrt{\frac{3 \cdot P}{\rho}}$$

m_o = massa tiap partikel (kg)
 ρ = massa jenis gas (kg/m^3)

Energi dalam gas (U) adalah total energi kinetik seluruh partikel gas dalam suatu ruangan.

$$U = N \cdot \overline{Ek}$$

$$U = N \cdot \frac{1}{2} f \cdot k \cdot T$$

$$U = \frac{1}{2} f \cdot n \cdot R \cdot T$$

U = energi dalam gas (J)
 N = jumlah partikel (partikel)

Derajat kebebasan gas pada energi dalam gas dipengaruhi oleh suhu juga.

- 1) Gas monoatomik memiliki $f = 3$, tidak dipengaruhi suhu.
- 2) Gas diatomik dipengaruhi suhu:
 - a. Suhu rendah (0-300 K) memiliki $f = 3$,
 - b. Suhu sedang (300-500 K) memiliki $f = 5$,
 - c. Suhu tinggi (500-1000 K) memiliki $f = 7$.

Tekanan dan suhu gas ideal berdasarkan energi kinetik rata-ratanya dapat dirumuskan:

$$P = \frac{2 \cdot N \cdot \overline{Ek}}{3V}$$

$$T = \frac{2 \cdot \overline{Ek}}{3k}$$

D. HUKUM TERMODINAMIKA I

Hukum termodinamika I adalah hukum kekekalan energi pada gas, berbunyi:

Kalor yang diterima gas digunakan untuk mengubah energi dalam gas menjadi usaha.

Persamaan hukum termodinamika I:

$$Q = \Delta U + W$$

Q = energi kalor (J)
 ΔU = perubahan energi dalam (J)
 W = usaha gas (J)

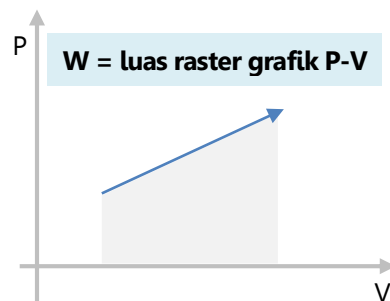
Usaha (W) pada gas dapat dirumuskan:

$$W = P \cdot \Delta V$$

$$W = nR\Delta T$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P(V) dV$$

Usaha pada grafik hubungan P-V:



Perubahan energi dalam (U) dapat dirumuskan:

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

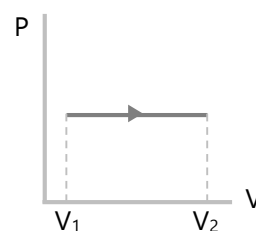
$$\Delta U = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot \Delta T$$

Makna nilai usaha dan perubahan energi dalam:

- 1) $+W$ berarti gas melakukan usaha, volume bertambah (ekspansi).
- 2) $-W$ berarti gas menerima usaha, volume berkurang (kompresi).
- 3) $+\Delta U$ berarti terbentuk energi dalam, suhu naik.
- 4) $-\Delta U$ berarti energi dalam berubah menjadi usaha, suhu turun.

Proses-proses pada gas:

- 1) **Proses isobarik** (P konstan)



$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Pada proses isobarik, berlaku:

$$P_1 = P_2$$

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

$$W = P \cdot \Delta V$$

Hukum termodinamika I

$$Q = \Delta U + W$$

- 2) **Proses isokhorik** (V konstan)



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

Pada proses isokhorik, berlaku:

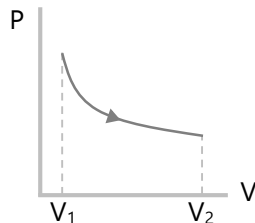
$$V_1 = V_2 \quad \Delta V = 0$$

$$\Delta U = U_2 - U_1 \quad W = 0$$

Hukum termodinamika I

$$Q = \Delta U$$

3) Proses isotermik (T konstan)



$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Pada proses isotermik, berlaku:

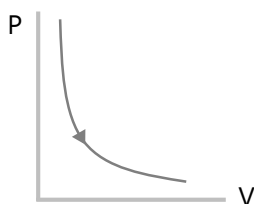
$$T_1 = T_2 \quad \Delta T = 0$$

$$\Delta U = 0 \quad W = nRT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Hukum termodinamika I

$$Q = W$$

4) Proses adiabatik (Q = 0)



$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma$$

$$T_1 \cdot V_1^{\gamma-1} = T_2 \cdot V_2^{\gamma-1}$$

Pada proses adiabatik, berlaku:

$$Q = 0$$

Tetapan Laplace adalah perbandingan kapasitas kalor gas pada P konstan dengan kapasitas kalor gas pada V konstan.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad \begin{array}{l} C_p = \text{kalor jenis pada P konstan (J/kg.K)} \\ C_v = \text{kalor jenis pada V konstan (J/kg.K)} \\ \gamma = \text{tetapan Laplace (>1)} \end{array}$$

Tetapan Laplace pada gas monoatomik:

$$C_p = \frac{5}{2} nR \quad C_v = \frac{3}{2} nR \quad \gamma \approx 1,6$$

Tetapan Laplace pada gas diatomik:

$$C_p = \frac{7}{2} nR \quad C_v = \frac{5}{2} nR \quad \gamma \approx 1,4$$

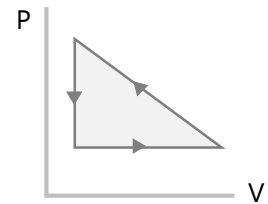
Hubungan kapasitas kalor C_p dan C_v :

$$C_p - C_v = nR \quad W = (C_p - C_v) \Delta T$$

Hukum termodinamika I

$$W = -\Delta U$$

5) Siklus (isotermik)



Pada siklus gas, segala sesuatu tidak bergantung proses, tetapi bergantung pada awal dan akhir siklus.

$$T_1 = T_2 \quad \Delta T = 0$$

$$\Delta U = 0 \quad W = \text{luas raster grafik}$$

Hukum termodinamika I

$$Q = W$$

E. HUKUM TERMODINAMIKA II

Hukum termodinamika II dinyatakan oleh Clausius dan Thomas-Kevin-Planck.

- Kalor tidak mengalir spontan dari dingin ke panas, kecuali ada usaha dari luar.
- Tidak ada mesin yang dapat mengubah kalor menjadi usaha secara utuh dan reversibel.
- Tidak ada mesin yang bekerja hanya dengan mengambil energi dari *reservoir* panas kemudian membuangnya kembali untuk menghasilkan mesin abadi.

Mesin kalor/panas adalah mesin yang mengubah kalor dari suatu sumber kalor (*reservoir* panas) menjadi usaha dan sebagian lainnya dibuang ke lingkungan (*reservoir* dingin).



Hukum termodinamika II

$$Q_1 = W + Q_2 \quad W = Q_1 - Q_2$$


Efisiensi mesin panas

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \times 100\% \quad \eta = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \times 100\%$$

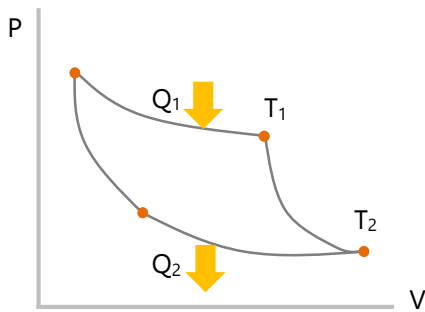
η = efisiensi mesin panas (<100%)

W = usaha (J)

Q_2 = kalor yg diterima dari *reservoir* panas (J)

 **Mesin panas Carnot** adalah mesin panas yang efisiensinya mendekati 100% atau mesin ideal.

 **Siklus Carnot:**



$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Q_1 dan Q_2 = kalor input dan output (J)
 T_1 dan T_2 = suhu tinggi dan rendah (K)

Hukum termodinamika II


$$Q_1 = W + Q_2$$

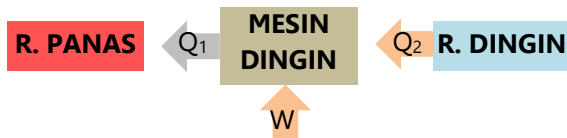
$$W = Q_1 - Q_2$$

Efisiensi mesin panas

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

$$\frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

 **Mesin dingin/pendingin (refrigerator)** adalah mesin yang menggunakan usaha untuk membuang kalor dari lingkungan dalam (*reservoir dingin*) ke lingkungan luar (*reservoir panas*).



Hukum termodinamika II

$$W + Q_2 = Q_1$$

$$W = Q_1 - Q_2$$


Koefisien performansi mesin dingin

$$k_p = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

k_p = koefisien performansi (>1)

Q_2 = kalor yg dipindahkan dari *reservoir dingin* (J)

W = usaha (J)

 **Mesin dingin Carnot** adalah mesin yang bekerja berkebalikan dengan mesin panas Carnot, yang koefisien performansinya besar.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Q_1 dan Q_2 = kalor keluar dan ke dalam (J)
 T_1 dan T_2 = suhu luar dan dalam (K)

Hukum termodinamika II

$$W + Q_2 = Q_1$$

$$W = Q_1 - Q_2$$

Koefisien performansi mesin dingin

$$k_p = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

$$\frac{Q_2}{W} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$