

FISIKA

TEORI KINETIK GAS

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini, kamu diharapkan memiliki kemampuan berikut.

1. Memahami definisi gas ideal dan sifat-sifatnya.
2. Memahami persamaan umum gas ideal.
3. Memahami persamaan keadaan gas ideal.
4. Memahami tekanan dan energi kinetik gas ideal.
5. Memahami energi dalam gas ideal.

Teori kinetik gas adalah suatu teori yang menyelidiki sifat-sifat gas (mikroskopis) berdasarkan tinjauan energi dan gaya antara partikel-partikel gas. Gas ideal merupakan kumpulan dari partikel-partikel suatu zat yang jaraknya cukup jauh dibandingkan dengan ukurannya. Gas ideal memiliki sifat-sifat sebagai berikut.

1. Jumlah partikelnya banyak.
2. Tidak ada gaya tarik-menarik (interaksi) antarpartikel.
3. Ukuran partikel gas dapat diabaikan terhadap ukuran ruangan.
4. Setiap tumbukan antarpartikel gas dengan dinding ruangan terjadi secara lenting sempurna.
5. Partikel gas yang berada di suatu ruangan tersebar secara merata.
6. Setiap partikel gas bergerak secara acak ke segala arah.
7. Berlaku hukum Newton tentang gerak.
8. Energi kinetik rata-rata molekul gas sebanding dengan suhu mutlaknya.

A. Persamaan Umum Gas Ideal

Gas ideal memiliki beberapa persamaan umum yang dapat dirangkum sebagai berikut.

$$PV = nRT$$

Keterangan:

P = tekanan gas (N/m^2);

Mr = massa molekul relatif (kg/mol);

V = volume gas (m^3);

N_a = bilangan Avogadro = $6,02 \times 10^{23}$ partikel/mol

= $6,02 \times 10^{26}$ partikel/kmol;

$$P.Mr = \frac{m}{V}RT$$

m = massa 1 partikel gas (kg);

R = tetapan gas ($8,314 \times 10^3 \text{ J/kmol}\cdot\text{K} = 8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$);

k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$);

$$P.Mr = \rho.RT$$

N = jumlah partikel gas;

n = jumlah mol gas (mol);

$$PV = \frac{N}{N_a}RT$$

ρ = massa jenis gas (kg/m^3); dan

T = suhu gas (K).

$$PV = NkT$$

Contoh Soal 1

Tentukan volume 1 mol gas pada suhu dan tekanan standar (0°C dan 1 atm).

Pembahasan:

Diketahui:

$$T = 0 + 273 = 273 \text{ K}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$P = 1 \text{ atm} = 1,01 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Ditanya: $V = \dots?$

Dijawab:

Berdasarkan persamaan umum gas ideal, diperoleh:

$$PV = nRT$$

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

$$= \frac{1(8,314)(273)}{1,01 \times 10^5}$$

$$= 0,0224 \text{ m}^3$$

Jadi, volume 1 mol gas pada suhu dan tekanan standar adalah $0,0224 \text{ m}^3$ atau 22,4 liter.

B. Persamaan Keadaan Gas Ideal

Keadaan suatu gas pada ruang tertutup ditentukan oleh tekanan, volume, suhu, dan jumlah molekul suatu gas. Berdasarkan percobaan dan pengamatan yang dilakukan oleh para ilmuwan, ditemukan beberapa hukum yang menerangkan hubungan variabel keadaan suatu gas tersebut.

1. Hukum Boyle

Hukum Boyle menyatakan, "Jika suhu suatu gas dijaga konstan, maka tekanan gas berbanding terbalik terhadap volumenya". Pernyataan lain dari hukum ini adalah hasil kali antara tekanan dan volume suatu gas pada suhu tertentu adalah tetap. Keadaan gas dengan suhu tetap ini disebut isothermal. Secara matematis, persamaan keadaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Keterangan:

P_1 = tekanan gas pada keadaan 1 (N/m^2);

P_2 = tekanan gas pada keadaan 2 (N/m^2);

V_1 = volume gas pada keadaan 1 (m^3); dan

V_2 = volume gas pada keadaan 2 (m^3).

2. Hukum Charles

Hukum Charles menyatakan, "Jika tekanan suatu gas dijaga konstan, maka volume gas sebanding dengan suhu mutlaknya". Pernyataan lain dari hukum ini adalah hasil bagi antara volume dan suhu suatu gas pada tekanan tertentu adalah tetap. Keadaan gas dengan tekanan tetap ini disebut isobarik. Secara matematis, persamaan keadaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

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

Keterangan:

V_1 = volume gas pada keadaan 1 (m^3);

V_2 = volume gas pada keadaan 2 (m^3);

T_1 = suhu gas pada keadaan 1 (K); dan

T_2 = suhu gas pada keadaan 2 (K).

3. Hukum Gay Lussac

Hukum Gay Lussac menyatakan, "Jika volume suatu gas dijaga konstan, maka tekanan gas sebanding dengan suhu mutlaknya". Pernyataan lain dari hukum ini adalah hasil bagi antara tekanan dan suhu suatu gas pada volume tertentu adalah tetap. Keadaan gas dengan volume tetap ini disebut isokorik. Secara matematis, persamaan keadaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

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

Keterangan:

P_1 = tekanan gas pada keadaan 1 (N/m²);

P_2 = tekanangas pada keadaan 2 (N/m²);

T_1 = suhu gas pada keadaan 1 (K); dan

T_2 = suhu gas pada keadaan 2 (K).

4. Hukum Boyle-Gay Lussac

Hukum Boyle-Gay Lussac menyatakan, "Hasil kali antara tekanan dan volume dibagi temperatur pada sejumlah partikel atau mol gas adalah tetap". Secara matematis, persamaan keadaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Keterangan:

V_1 = volume gas pada keadaan 1 (m³);

V_2 = volume gas pada keadaan 2 (m³);

T_1 = suhu gas pada keadaan 1 (K);

T_2 = suhu gas pada keadaan 2 (K);

P_1 = tekanan gas pada keadaan 1 (N/m²); dan

P_2 = tekanan gas pada keadaan 2 (N/m²).

Contoh Soal 2

Suatu gas ideal bertekanan 1 atm mengalami proses isotermal dari volume 1 m³ menjadi 2 m³. Perubahan tekanan pada proses tersebut adalah

Pembahasan:

Diketahui:

$$P_1 = 1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$V_1 = 1 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 2 \text{ m}^3$$

Ditanya: $\Delta P = \dots?$

Dijawab:

Oleh karena prosesnya isothermal, maka suhunya konstan dan berlaku hukum Boyle berikut.

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$\Leftrightarrow 10^5 (1) = P_2 \cdot 2$$

$$\Leftrightarrow P_2 = 0,5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Dengan demikian, perubahan tekanannya adalah sebagai berikut.

$$\Delta P = P_2 - P_1 = 0,5 \times 10^5 - 10^5 = -0,5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Jadi, perubahan tekanannya adalah $-0,5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$.

Contoh Soal 3

Dalam suatu wadah tertutup terdapat 2 liter gas dengan suhu 227°C dan tekanan 2 atm. Jika tekanan ditambah 2 atm pada proses isokorik, maka tentukan suhu gas akhir pada proses tersebut.

Pembahasan:

Diketahui:

$$T_1 = 227^\circ\text{C} = 227 + 273 = 500 \text{ K}$$

$$V_1 = 2 \text{ liter}$$

$$P_1 = 2 \text{ atm}$$

$$P_2 = 2 + 2 = 4 \text{ atm}$$

Ditanya: $T_2 = \dots?$

Dijawab:

Oleh karena prosesnya isokorik, maka volumenya konstan dan berlaku hukum Gay Lussac berikut.

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

$$\Leftrightarrow \frac{2}{500} = \frac{4}{T_2}$$

$$\Leftrightarrow 2T_2 = 2000$$

$$\Leftrightarrow T_2 = 1000 \text{ K}$$

Jadi, suhu gas akhir pada proses tersebut adalah 1000 K atau 727°C .

Contoh Soal 4

Sebuah tangki yang berbentuk tabung memiliki lubang kecil. Tangki tersebut berisi gas ideal dengan massa 10 kg dan tekanan 4 atm pada suhu 27°C. Jika tangki dipanaskan hingga suhunya 47°C dan tekanannya berubah menjadi 3,2 atm (pemuai tangki diabaikan), maka massa gas yang keluar dari tangki sebanyak ...

Pembahasan:

Diketahui:

$$m_1 = 10 \text{ kg}$$

$$P_1 = 4 \text{ atm}$$

$$T_1 = 27^\circ\text{C} = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

$$T_2 = 47^\circ\text{C} = 47 + 273 = 320 \text{ K}$$

$$P_2 = 3,2 \text{ atm}$$

Ditanya: $\Delta m = \dots?$

Dijawab:

Berdasarkan persamaan umum gas ideal, diperoleh:

$$PV = nRT$$

$$\Leftrightarrow PV = \frac{m}{Mr}RT$$

$$\Leftrightarrow V = \frac{m \cdot R \cdot T}{P \cdot Mr}$$

Oleh karena prosesnya isokorik, maka:

$$V_1 = V_2$$

$$\Leftrightarrow \frac{m_1 \cdot R \cdot T_1}{P_1 \cdot Mr} = \frac{m_2 \cdot R \cdot T_2}{P_2 \cdot Mr}$$

$$\Leftrightarrow \frac{m_1 \cdot T_1}{P_1} = \frac{m_2 \cdot T_2}{P_2}$$

$$\Leftrightarrow \frac{10(300)}{4} = \frac{m_2(320)}{3,2}$$

$$\Leftrightarrow m_2 = 7,5 \text{ kg}$$

Dengan demikian, massa gas yang keluar dari tangki dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\Delta m = m_1 - m_2$$

$$= 10 - 7,5$$

$$= 2,5 \text{ kg}$$

Jadi, massa gas yang keluar dari tangki sebanyak 2,5 kg.

Contoh Soal 5

Suatu gas ideal mula-mula menempati ruang dengan volume V dan tekanan P pada suhu T . Jika suhu gas dinaikkan menjadi $3T$ dan tekanannya berubah menjadi $\frac{3}{2}P$, maka berapakah volume akhir gas tersebut?

Pembahasan:

Diketahui:

$$\begin{aligned}T_1 &= T & T_2 &= 3T \\V_1 &= V & P_2 &= \frac{3}{2}P \\P_1 &= P\end{aligned}$$

Ditanya: $V_2 = \dots?$

Dijawab:

Berdasarkan hukum Boyle-Gay Lussac, diperoleh:

$$\begin{aligned}\frac{P_1 V_1}{T_1} &= \frac{P_2 V_2}{T_2} \\ \Leftrightarrow \frac{P \cdot V}{T} &= \frac{\frac{3}{2}P \cdot V_2}{3T} \\ \Leftrightarrow V &= \frac{1}{2}V_2 \\ \Leftrightarrow V_2 &= 2V\end{aligned}$$

Jadi, volume akhir gas adalah dua kali volume semula.

C. Tekanan Gas Ideal

Adanya tekanan gas di dalam ruang tertutup diakibatkan oleh adanya benturan-benturan partikel gas pada dinding tempat gas berada. Besarnya tekanan gas dapat dituliskan sebagai fungsi energi kinetik rata-rata molekul berikut.

$$P = \frac{1}{3} \frac{N \cdot m \cdot \bar{v}^2}{V}$$

$$P = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \bar{E}_k$$

Keterangan:

\bar{E}_k = energi kinetik rata-rata partikel gas (J);

N = jumlah partikel gas;

\bar{v} = kecepatan rata-rata partikel gas (m/s);

m = massa partikel gas (kg);

P = tekanan gas (N/m²); dan

V = volume gas (m³).

D. Energi Kinetik Gas Ideal

Sesuai dengan sifat gas ideal, tiap partikel gas akan selalu bergerak dengan energi kinetik tertentu. Besarnya energi kinetik gas ideal dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT$$

Keterangan:

$\overline{E_k}$ = energi kinetik rata-rata molekul (J);

k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T = suhu gas (K);

N = jumlah partikel;

n = jumlah mol gas (mol); dan

R = tetapan gas (8,314 J/mol·K).

Untuk N partikel:

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2}NkT = \frac{3}{2}nRT$$

Dari hubungan energi kinetik gas ideal tersebut, dapat diperoleh persamaan untuk menentukan kecepatan efektif gas pada ruang tertutup, yaitu sebagai berikut.

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT$$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

Keterangan:

v_{rms} = kecepatan efektif (m/s);

k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K);

T = suhu gas (K);

m = massa partikel gas (kg);

Mr = massa molekul relatif (kg/mol);

n = jumlah mol gas (mol);

R = tetapan gas (8,314 J/mol K);

P = tekanan gas (N/m²); dan

ρ = massa jenis gas (kg/m³).

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{Mr}}$$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3nRT}{m}}$$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

Contoh Soal 6

Suhu gas mula-mula 300 K. Jika kelajuan efektif gas dijadikan tiga kali semula, maka berapakah perubahan suhu yang dialami gas tersebut ($^{\circ}\text{C}$)?

Pembahasan:

Diketahui:

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$v_{rms.1} = v$$

$$v_{rms.2} = 3v$$

Ditanyakan: $\Delta T = \dots?$

Dijawab:

• Super "Solusi Quipper" •

$$\frac{v_{rms.1}}{v_{rms.2}} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$
$$\Leftrightarrow \frac{v}{3v} = \sqrt{\frac{300}{T_2}} \quad (\text{kedua ruas dikuadratkan})$$
$$\Leftrightarrow \frac{1}{9} = \frac{300}{T_2}$$
$$\Leftrightarrow T_2 = 2.700 \text{ K}$$

Besarnya suhu gas setelah kelajuan efektif dijadikan tiga kali semula adalah 2.700 K.

$$T_1 = 300 \text{ K} = 300 - 273 = 27^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 2.700 \text{ K} = 2.700 - 273 = 2.427^{\circ}\text{C}$$

Dengan demikian, diperoleh:

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_2 - T_1 \\ &= 2.427 - 27 \\ &= 2.400^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Jadi, besarnya perubahan suhu yang dialami gas tersebut adalah 2.400°C .

E. Energi Dalam Gas Ideal

Telah kita ketahui bahwa sejumlah gas ideal mengandung N partikel dan setiap partikel memiliki energi kinetik tertentu. Jumlah energi kinetik partikel-partikel gas ideal tersebutlah yang dinamakan dengan energi dalam gas (U).

Berkaitan dengan derajat kebebasannya, energi dalam dari berbagai gas dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Energi dalam gas untuk gas monatomik (He, Ne, Ar)

$$U = E_k = \frac{3}{2}NkT = \frac{3}{2}nRT$$

2. Energi dalam gas untuk gas diatomik (H_2 , N_2 , O_2)

- a. Pada suhu rendah ($\pm 300K$):

$$U = \frac{3}{2}NkT = \frac{3}{2}nRT$$

Keterangan:

U = energi dalam gas (J);

N = jumlah partikel gas;

k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K);

T = suhu gas (K);

n = jumlah mol gas (mol); dan

R = tetapan gas (8,314 J/mol·K).

- b. Pada suhu sedang ($\pm 500K$):

$$U = \frac{5}{2}NkT = \frac{5}{2}nRT$$

- c. Pada suhu tinggi ($\pm 1.000K$):

$$U = \frac{7}{2}NkT = \frac{7}{2}nRT$$

Contoh Soal 7

Berapa mol gas ideal dalam ruang tertutup yang mempunyai energi dalam 6 kJ pada suhu $27^\circ C$ jika gas tersebut monoatomik?

Pembahasan:

Diketahui:

$$U = 6 \text{ kJ} = 6 \times 10^3 \text{ J}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol}\cdot K$$

$$T = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

Ditanya: $n = \dots?$

Dijawab:

Berdasarkan rumus energi dalam gas untuk gas monoatomik, diperoleh:

$$\begin{aligned}U &= \frac{3}{2}nRT \\ \Leftrightarrow n &= \frac{2 \cdot U}{3 \cdot R \cdot T} \\ &= \frac{2(6 \times 10^3)}{3(8,314)300} \\ &= 1,6 \text{ mol}\end{aligned}$$

Jadi, ada 1,6 mol gas ideal dalam ruang tersebut.