

8

TEORI KINETIK GAS

Setelah mempelajari materi "Teori Kinetik Gas" diharapkan Anda dapat memahami pengertian gas ideal, mendeskripsikan persamaan umum gas ideal serta mampu menerapkan persamaan umum gas ideal pada proses isotermik, isokhorik, dan isobarik.



A. PENGERTIAN GAS IDEAL

Berdasar teori partikel zat, dinyatakan bahwa zat terdiri atas partikel-partikel yang bergetar pada kedudukan setimbangnya. Partikel-partikel tersebut dapat berupa atom atau molekul. Pada zat gas, partikel-partikelnya bergerak bebas karena hampir tidak ada gaya tarik-menarik antarpartikel. Jadi, kadang terjadi benturan antarpartikel dan sering berbenturan dengan tempatnya.

Menurut teori partikel, adanya tekanan gas di dalam ruangan tertutup disebabkan oleh benturan-benturan partikel gas pada dinding atau dengan kata lain tekanan gas pada ruang tertutup ditimbulkan oleh gerak partikel gas tersebut.

Untuk menyederhanakan perhitungan matematika, maka yang dimaksud dengan gas dalam teori kinetik adalah gas ideal dengan beberapa anggapan-anggapan dasar. Melalui sifat-sifat yang dimiliki oleh gas ideal diharapkan orang dapat menaksir sifa-sifat gas yang ada sebenarnya (gas sejati) dalam batas-batas tertentu.

Dari segi pandangan mikroskopi didefinisikan suatu gas ideal dengan membuat anggapan-anggapan sebagai berikut:

- a) gas ideal terdiri atas partikel-partikel yang jumlahnya banyak sekali;
- b) partikel-partikel tersebut tersebar merata ke seluruh ruangan;
- c) partikel-partikel tersebut senantiasa bergerak yang arahnya sembarang;
- d) jarak antara partikel jauh lebih besar dari ukuran partikel sehingga ukuran partikel diabaikan;
- e) tidak ada gaya antara partikel satu dengan yang lain kecuali bila tumbukan
- f) tumbukan partikel dengan dinding tempat atau dengan partikel lain dianggap lenting sempurna; serta
- g) mengikuti hukum newton tentang gerak.

B. TEKANAN GAS

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa tekanan gas di dalam ruang tertutup disebabkan oleh benturan-benturan partikel gas pada dinding tempat gas berada.

Karena terkait dengan gerak partikel gas, faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi besar tekanan gas tersebut?

Perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 8.1. Balon

Gambar 8.1 (a): sebuah balon sebelum ditiup

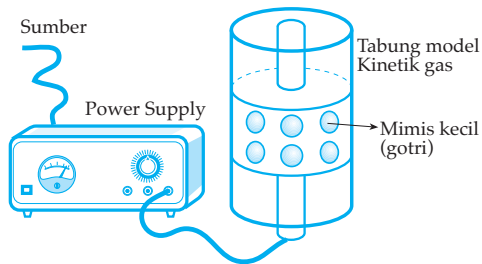
Gambar 8.1 (b): sebuah balon setelah ditiup.

Ternyata setelah balon ditiup menjadi besar dan mengeras. Semakin balon ditiup, keadaan balon semakin mengeras, yang berarti semakin banyak partikel gas (udara) yang berada di ruang tertutup semakin besar tekanan yang diberikan.

Jika balon yang sudah mengeras itu kita panaskan ternyata balon dapat meletus. Hal tersebut ada keterkaitannya antara tekanan gas dalam ruang tertutup dengan suhu.

Untuk lebih jelasnya lakukan percobaan di bawah ini.

Percobaan: Tekanan gas dalam ruangan tertutup



Rakitlah alat-alat seperti tampak pada gambar dan masukkan mimis kecil ke dalam tabung model kinetik gas sebanyak 10 butir. Hubungkan tabung model kinetik gas pada power supply dengan tegangan 6 volt. Setelah mimis-mimis kecil yang berada dalam tabung model kinetik gas bergerak dan memben-

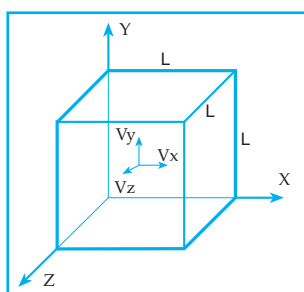
tur tutup penghisap yang bebas bergerak, amati tinggi tutup penghisap tersebut (h_1). Cabut hubungan tabung model kinetik gas dengan power supply.

Hubungkan lagi tabung model kinetik gas dengan power supply dengan tegangan 12 volt dan amati lagi tinggi tutup penghisap (h_2). Lebih tinggi manakah antara h_1 dan h_2 ? Cabut hubungan tabung model kinetik gas dengan power supply.

Tambahkan jumlah mimis kecil yang ada dalam tabung model kinetik gas menjadi 15 butir dan hubungkan lagi tabung model kinetik gas dengan power supply dengan tegangan 12 volt dan amati tinggi tutup penghisap (h_3). Lebih tinggi manakah antara h_3 dan h_2 ? Dari hasil pengamatan kegiatan di atas, tuliskan kesimpulan yang Anda dapatkan!

Secara matematik bagaimanakah tekanan gas dalam ruang tertutup dapat diturunkan?

Perhatikan ulasan di bawah ini.



Gambar 8.2 Kubus berisi partikel

Gambar 8.2 melukiskan sebuah kubus dengan sisi L yang berisi N partikel gas.

Karena tiap partikel gas bergerak dengan arah sembarang dengan kecepatan yang tidak sama, maka dalam pembahasan kita ambil satu partikel gas dahulu yang bergerak dengan kecepatan v . Kecepatan ini kita uraikan menjadi tiga komponen masing-masing v_x , v_y dan v_z .

Secara vektor $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$

Dalam hal ini kita bahas gerak partikel gas dalam arah sumbu x. Partikel tersebut akan menumbuk dinding kanan kedua kalinya dengan selang waktu:

$$t = \frac{2L}{v_x} \text{ sehingga tiap satuan waktu partikel menumbuk dinding kanan}$$

sebanyak $\frac{v_x}{2L}$ kali.

Sebuah partikel yang massanya m_o , setiap kali menumbuk dinding kanan berubah momentumnya sebesar $2m_o \cdot v_x$.

Dengan demikian dalam tiap satuan waktu momentum partikel gas berubah sebesar:

$$\Delta P_x = \frac{v_x}{2L} (2m_o \cdot v_x)$$

$$\Delta P_x = \frac{m_o \cdot v_x^2}{L}$$

Gaya yang diberikan partikel gas tiap satuan waktu pada saat menumbuk dinding sebesar perubahan momentum.

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

$$P_x = \frac{m_o \cdot v_x^2}{A \cdot L} \rightarrow A \cdot L = \text{volum ruang}$$

$$P_x = \frac{m_o \cdot v_x^2}{V}$$

Dengan penalaran yang sama, diperoleh persamaan tekanan pada dinding yang tegak lurus sumbu y dan sumbu z sebagai berikut:

$$P_y = \frac{m_o \cdot v_y^2}{V} \text{ dan } P_z = \frac{m_o \cdot v_z^2}{V}$$

Berdasarkan hukum Pascal diperoleh: $P_x = P_y = P_z = P$ yang berarti: $v_x^2 = v_y^2 = v_z^2$.

Karena kecepatan tiap partikel tidak sama, maka diambil rata-ratanya sehingga diperoleh:

$$\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2$$

$$\bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2$$

$$\bar{v}^2 = 3\bar{v}_x^2$$

$$\bar{v}_x^2 = \frac{1}{3} \bar{v}^2$$

sehingga:
$$P = \frac{1}{3} \frac{m_o \cdot \bar{v}^2}{V}$$

Jika di dalam kubus terdapat N partikel gas, maka tekanan gas dalam ruang tertutup dinyatakan dengan:

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

P = tekanan gas

N = jumlah partikel gas

m_o = massa tiap partikel gas

\bar{v}^2 = kuadrat rata-rata kecepatan partikel gas

V = volume gas (volume ruang tempat gas)

Karena massa tiap-tiap partikel gas sama, maka:

$$m_o \cdot \bar{v}^2 = 2 \left(\frac{1}{2} m_o \cdot \bar{v}^2 \right) = 2 \bar{E}_k$$

sehingga didapat persamaan:

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

\bar{E}_k = energi kinetik rata-rata partikel gas

Tekanan gas bergantung pada energi kinetik rata-rata partikel gas tersebut.

Dari persamaan $P = \frac{1}{3} \frac{N \cdot m_o \cdot \bar{v}^2}{V}$, di mana:

$N \cdot m_o$ menyatakan massa total dari gas tersebut, sehingga $\frac{N \cdot m_o}{V} = \rho$ (massa jenis gas)

diperoleh persamaan:
$$P = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2$$

Contoh Soal 8.1

1. Suatu gas dalam ruang tertutup dengan volum V dan suhu 27°C mempunyai tekanan $1,5 \cdot 10^5$ Pa. Jika kemudian gas ditekan perlahan-lahan hingga volumenya menjadi $\frac{1}{4}V$, berapakah tekanan gas sekarang?

Diketahui : $T_1 = (27 + 273)K = 300 K$

$$V_1 = V$$

$$V_2 = \frac{1}{4}V$$

$$P_1 = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa (proses isotermik ditekan perlahan-lahan)}$$

Ditanya: P_2

Jawab:

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

$$1,5 \cdot 10^5 \cdot V = P_2 \cdot \frac{1}{4}V$$

$$P_2 = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

2. Suatu gas dalam ruang tertutup dengan suhu 57°C . Berapakah energi kinetik rata-rata gas tersebut?

Diketahui: $T = (57 + 273)\text{K} = 330 \text{ K}$

Ditanya: E_k

Jawab:

$$E_k = \frac{3}{2} K \cdot T = \frac{3}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 330$$

$$E_k = 6,831 \cdot 10^{-21} \text{ joule}$$

Uji Pemahaman 8.1

Kerjakan soal berikut!

1. Suatu gas H_2 volumenya $0,6 \text{ m}^3$, tekanan 10^5 Pa dan bermassa 20 gr . Berapakah kecepatan efektif partikel gas tersebut?
2. Dalam suatu kotak $0,8 \text{ m}^3$ terdapat 10^{18} partikel gas. Jika tekanan 10^4 Pa berapakah energi kinetik rata-rata partikelnya?

C. SUHU DAN ENERGI KINETIK RATA-RATA PARTIKEL GAS

Dari hasil kegiatan dengan tabung model kinetik gas ternyata tekanan gas dipengaruhi oleh suhu gas dan volum gas juga dipengaruhi oleh suhu gas.

Berdasarkan hukum Gay-Lussac diperoleh:

1. Pemanasan gas pada tekanan tetap (Isobarik)

Volume gas berbanding lurus dengan suhu mutlak gas:

$$\frac{V}{T} = \text{konstan}$$

2. Pemanasan gas pada volum tetap (isokhorik) tekanan gas berbanding lurus

dengan suhu mutlak gas $\frac{P}{T} = \text{konstan}$

Berdasarkan hukum Boyle pada proses gas dengan suhu tetap diperoleh tekanan gas berbanding terbalik dengan volum gas

$$P \cdot V = \text{konstan}$$

Dari persamaan hukum Boyle dan Gay Lussac diperoleh:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \text{konstan}$$

Pada dasarnya persamaan $\frac{P \cdot V}{T} = \text{konstan}$ merupakan persamaan dari gas ideal yaitu:

$$\frac{P \cdot V}{T} = n \cdot R \quad \text{atau} \quad PV = nRT$$

P = tekanan (N/m^2) T = suhu mutlak gas (kelvin)

V = volume gas (m^3) R = konstanta gas

n = jumlah mol gas $R = 8,31 \text{ J/mol.K}$

Persamaan $\frac{P \cdot V}{T} = \text{konstan}$ dapat juga dinyatakan dengan:

$$\frac{P \cdot V}{T} = N \cdot K \quad \text{atau} \quad P \cdot V = N \cdot K \cdot T$$

N = jumlah partikel gas

K = konstanta Boltzman

$K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Jumlah mol gas dapat dihitung dengan persamaan:

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

n = jumlah mol gas
 m = massa gas
 M = massa relatif partikel gas

N = jumlah partikel gas

N_o = bilangan Avogadro

$N_o = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ partikel/mol}$

Dari persamaan tekanan gas $P = \frac{2}{3} \frac{N \cdot \bar{E}_K}{V}$ diperoleh:

$$\bar{E}_K = \frac{3}{2} \frac{P \cdot V}{N} = \frac{3}{2} \frac{N \cdot K \cdot T}{N}$$

$$\bar{E}_K = \frac{2}{3} K \cdot T$$

Dari persamaan tersebut ternyata energi kinetik rata-rata partikel sebanding dengan suhu mutlak gas.

$$\bar{E}_K = \frac{3}{2} K.T$$

$$\frac{1}{2} m_o \bar{v}^2 = \frac{3}{2} K.T$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3.K.T}{m_o}}$$

Kecepatan rata-rata partikel gas sebanding dengan akar dari suhu mutlak gas.

Akar dari kuadrat persamaan rata-rata disebut laju akar perata kuadrat

(*root mean square*) atau $v_{RMS} = \sqrt{\bar{v}^2}$ disebut juga kecepatan efektif, sehingga:

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{3.K.T}{m_o}}$$

Dari persamaan gas ideal dan persamaan tekanan gas maka diperoleh:

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{3.R.T}{M}}$$

Kegiatan

Diskusikan dengan kelompok belajar Anda!

Buktikan bahwa: $v_{RMS} = \sqrt{\frac{3.R.T}{M}}$

D. DERAJAT KEBEBASAN SUATU PARTIKEL

Dari persamaan $\bar{E}_K = \frac{3}{2} K.T$ maka jika terdapat N partikel gas, energi kinetik totalnya adalah:

$$\bar{E}_K = \frac{3}{2} N.K.T$$

Karena hampir tidak ada gaya tarik-menarik antara partikel gas, maka energi dalam gas tersebut (u) sama dengan energi kinetik total gas tersebut.

$$u = \frac{3}{2} N.K.T = \frac{3}{2} n.R.T$$

Persamaan tersebut berlaku untuk gas monoatomik (He, Ar, Ne)

Untuk gas diatomik (N_2 , H_2 , O_2) diperoleh:

a) pada suhu rendah (± 300 K): $u = \frac{3}{2} N.K.T$

b) pada suhu sedang (± 500 K): $u = \frac{5}{2} N.K.T$

c) pada suhu tinggi (± 1000 K): $u = \frac{7}{2} N.K.T$

Contoh Soal 8.2

Suatu gas monoatomik sebanyak 0,2 mol berada dalam ruang tertutup pada suhu 47°C . Berapakah energi dalam gas tersebut?

Diketahui: $n = 0,2$ mol

$$T = (47 + 273)\text{K} = 320 \text{ K}$$

Ditanya: U

Jawab :

$$u = \frac{3}{2} n.R.T = \frac{3}{2} 0,2 \cdot 8,31 \cdot 320 = 797,76 \text{ joule}$$

Rangkuman

- Tekanan gas: $P = \frac{1}{3} \frac{Nm_o v^2}{V}$
- Kecepatan rata-rata: $v_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{3KT}{m_o}}$
- Energi kinetik rata-rata: $E_k = \frac{3}{2} KT$
- Energi dalam gas
 - a. Untuk gas monoatomik
$$u = \frac{3}{2} NKT = \frac{3}{2} nRT$$

b. Untuk gas diatomik

$$u = \frac{3}{2}NKT = \frac{3}{2}nRT$$

1) Pada suhu rendah: $u = \frac{3}{2}NKT$

2) Pada suhu sedang: $u = \frac{5}{2}NKT$

3) Pada suhu tinggi: $u = \frac{7}{2}NKT$

KATA KUNCI

- Teori partikel
- Gas ideal
- Tekanan gas
- Isobarik
- Isokhorik
- Derajat kebebasan

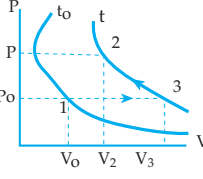


JI KOMPETENSI

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar!

1. Dalam teori kinetik gas, dimunculkan konsep gas ideal dengan maksud
 - a. kebanyakan gas di alam adalah gas ideal
 - b. agar tumbukan antara partikel gas lenting sempurna
 - c. untuk menyederhanakan dalam pembahasan teorinya
 - d. agar tidak terpengaruh dengan medan gravitasi
 - e. agar dapat menggunakan satuan S.I
2. Suatu gas dalam ruang tertutup mempunyai volum = V , tekanan = P dan suhu = T . Jika gas tersebut dipanasi pada proses isoklorik sehingga suhunya menjadi $2T$, maka volum dan tekanannya menjadi
 - a. V dan $\frac{1}{2}P$
 - b. $2V$ dan P
 - c. V dan $2P$
 - d. V dan $4P$
 - e. $2V$ dan $2P$

3. Sifat-sifat gas ideal adalah seperti di bawah ini, **kecuali**
 - a. tumbukan antara gas lenting sempurna
 - b. pada tumbukan antara molekul gas berlaku hukum kekekalan momentum
 - c. dapat mengembun bila dimampatkan
 - d. berlaku hukum-hukum newton pada gerakan
 - e. berlaku hukum Boyle Gay Lussac
4. Pada saat kita menggunakan pompa sepeda untuk memompa sepeda berlaku hukum
 - a. Boyle
 - b. Gay Lussac
 - c. Gas umum
 - d. Newton
 - e. Alam
5. Kecepatan rata-rata molekul gas oksigen pada suhu 0°C dan berat atom oksigen 16 adalah
 - a. 641 m/s
 - b. 461 m/s
 - c. 146 m/s
 - d. 416 m/s
 - e. 614 m/s
6. Suatu gas dalam ruang tertutup mempunyai tekanan 2 atm dan suhu 27°C . Jika kemudian gas ditekan secara perlahan-lahan sehingga volumenya menjadi $\frac{1}{3}$ dari volum mula-mula, maka tekanan dan suhunya menjadi
 - a. 6 atm dan 300 K
 - b. 6 atm dan 900 K
 - c. $\frac{2}{3}$ atm dan 600 K
 - d. 8 atm dan 600 K
 - e. 6 atm dan 600 K
7. Massa jenis gas helium dalam sebuah tangki tertutup dengan tekanan 100 atm, suhu 27°C dan berat atom helium = 4,004 adalah
 - a. $18,4 \text{ kg/m}^3$
 - b. $6,12 \text{ kg/m}^3$
 - c. $20,4 \text{ kg/m}^3$
 - d. $40,2 \text{ kg/m}^3$
 - e. $16,2 \text{ kg/m}^3$
8. Dalam sebuah ruangan tertutup terdapat N buah partikel gas dengan suhu mutlak $T^{\circ}\text{K}$. Jika konstanta Boltzman K, maka energi kinetik partikel gas tersebut
 - a. $\frac{3}{2} N.K.T$
 - b. $\frac{2}{3} N.K.T$
 - c. $\frac{1}{2} N.K.T$
 - d. $N.K.T$
 - e. $2.N.K.T$
9. Di dalam sebuah tangki yang volumenya 50 dm^3 terdapat gas oksigen pada suhu 27°C dan tekanan 135 atm. Massa gas tersebut
 - a. 8,768 kg
 - b. 7,867 kg
 - c. 6,878 kg
 - d. 8,876 kg
 - e. 6,887 kg
10. Bila suhu mutlak gas ideal dinaikkan menjadi 9 kali semula, maka laju partikel itu menjadi
 - a. 9
 - b. $\frac{1}{9}$
 - c. 1
 - d. $\frac{1}{3}$
 - e. 3
11. Pada proses isotermis berlaku persamaan
 - a. $\frac{PV}{T} = K$
 - b. $P \cdot T = n \cdot R \cdot T$
 - c. $P \cdot V = K$
 - d. $\frac{P}{T} = K$
 - e. $P \cdot V = N \cdot K \cdot T$

12. Suatu jenis gas menempati volume 100 cm^3 pada temperatur 0°C dan tekanan 1 atm . Bila temperatur menjadi 50°C sedangkan tekanan menjadi $2,0 \text{ atm}$, maka volume gas akan menjadi
- $118,3 \text{ cm}^3$
 - $84,5 \text{ cm}^3$
 - $59,2 \text{ cm}^3$
 - $45,5 \text{ cm}^3$
 - $38,4 \text{ cm}^3$
13. Pemampatan gas dengan perlahan-lahan, dimaksudkan agar
- hukum Gay Lussac berlaku dengan baik
 - hukum Boyle berlaku dengan baik
 - hukum Boyle-Gay Lussac berlaku dengan baik
 - tenaga panasnya kurang
 - suhu tetap konstan
14. Rapat massa suatu gas pada suhu T dan tekanan P adalah p . Jika tekanan gas tersebut dijadikan $2P$ dan suhunya diturunkan menjadi $0,5T$, maka rapat massa gas menjadi ... kali semula.
- 4
 - 2
 - 0,5
 - 0,25
 - salah semua
15.  Proses di titik 1 sampai 3 dalam gambar di samping adalah
- proses isothermis
 - proses isobarik dengan suhu konstan
 - proses pengembangan dengan suhu konstan
 - proses pemanasan dengan tekanan konstan
 - proses isokharik

B. Kerjakan soal-soal di bawah ini!

- Berapakah kecepatan V dalam molekul oksigen yang tekanannya $3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ dan suhunya 0°C bila massa jenis oksigen $0,001 \text{ gr/cm}^3$?
- Dalam sebuah tangki yang volumenya 4 m^3 terdapat $0,01 \text{ mol}$ gas amoniak dengan tekanan 1 atm . Berapakah energi kinetik rata-rata sebuah molekul gas amoniak itu?
- Hitunglah kecepatan rata-rata molekul H_2 pada suhu 27°C jika massa $1 \text{ mol H}_2 = 0,0020 \text{ kg}$!
- Hitung energi dalam gas helium sebanyak 2 mol pada suhu 27°C !
- Suatu silinder berisi 1 liter gas dengan tekanan 2 atm dan suhu 27°C . Bila suhu gas menjadi 77°C sedangkan volumenya dijadikan separuh dari volume semula. Berapakah tekanan gas sekarang?