

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

PERSAMAAN GAS IDEAL

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini Anda diharapkan dapat :

1. Memahami konsep gas ideal.
2. Menuliskan sifat-sifat gas ideal.
3. Menjelaskan persamaan keadaan gas ideal.
4. Menjelaskan Hukum Boyle-Gay Lussac
5. Memahami teori kinetik gas
6. Menjelaskan tinjauan impuls-tumbukan untuk teori kinetik gas
7. Memahami karakteristik gas pada ruang tertutup

B. Uraian Materi

Halo pembelajar semua, selamat bertemu kembali dalam pembelajaran kali ini. Apakah Anda pernah melihat kejadian tentang balon yang kempes atau balon yang meletus? Perhatikan ilustrasi cerita berikut . Pada suatu hari seorang penjual balon memompakan udara kedalam balon yang akan dijualnya. Setelah dirasa cukup isinya maka balon diikat dengan tali dan diberi tiang dari sebatang lidi. Tukang balon berjalan dipanas yang terik sambil menyusuri kampung menjajakan balonnya. Beberapa saat dipanas terik sebuah balonnya meletus. Dia hanya bertanya dalam hati, kenapa balonnya meletus padahal tidak tertusuk benda tajam. Pertanyaan yang tidak pernah terjawab sampai dia pulang dan tersisa beberapa balon belum terjual. Seperti biasanya penjual balon menyimpan sisa balon yang belum terjual untuk jual kembali besok pagi. Betapa terkejutnya ketika dipagi hari penjual balon mendapati balon-balonnya pada kempes. Apakah anda bisa membantu menjawab permasalahan yang dialami oleh penjual balon? Silahkan ikuti dan pelajari modul ini supaya bisa membantu menjawabnya.

Pengertian Gas Ideal

Gas ideal adalah gas yang secara tepat memenuhi persamaan $pV = nRT$. Sebagai gambaran tentang keadaan gas ideal, kita tinjau sifat-sifat gas ideal diantaranya adalah:

1. Gas ideal terdiri dari partikel-partikel yang amat besar jumlahnya, yang tersebar merata di seluruh bagian jumlahnya, dan bergerak secara acak ke segala arah dengan kelajuan tetap,
2. Jarak antara partikel gas jauh lebih besar dari dibanding ukuran partikel,
3. tidak ada gaya di antara partikel-partikel tersebut kecuali jika bertumbukan (tumbukan dianggap lenting sempurna dan partikel dianggap bulat, licin, dan pejal), dan berlangsung sangat singkat
4. Volume partikel gas sangat kecil dibandingkan dengan wadah yang ditempatinya sehingga ukurannya dapat diabaikan
5. Hukum Newton tentang gerak berlaku

Persamaan Keadaan Gas Ideal

Hukum Boyle-Gay Lussac berlaku untuk gas ideal di dalam ruang tertutup, persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{pV}{T} = nR \text{ atau } \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Karena $n = \frac{m}{M}$ atau $n = \frac{N}{N_a}$

Maka :

Persamaan $PV = nRT$ dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$PV = \frac{N}{N_a} RT = N \left(\frac{R}{N_a} \right) T$$

$$PV = NkT$$

Dengan $k = \frac{R}{N_a}$

Dari persamaan $PV = nRT$, dengan mensubstitusikan $n = \frac{m}{M}$, persamaan keadaan gas ideal menjadi :

$$PV = nRT = \frac{m}{M} RT$$

$$P = \frac{m}{V} \frac{RT}{M} = \rho \frac{RT}{M}$$

Keterangan :

m = massa total gas (kg)

M = massa molekul gas (kg/kmol = gr/mol)

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

P_1 = tekanan gas mula-mula (Pa = N/m²)

P_2 = tekanan gas akhir

V_1 = volume gas mula-mula (m³)

T_1 = suhu gas mula-mula (K)

R = tetap umum gas = tetapan molar gas

= 8314 J/kmolK = 8,314 J/molK = 0,082 liter.atm/molK

N = banyak partikel

n = jumlah mol (mol)

P = tekanan gas ideal (Pa)

V = volume gas (m³)

V = volume gas (m³)

V_2 = volume gas akhir

T_2 = suhu gas akhir (K)

ρ = massa jenis gas (kg/m³)

Contoh Soal :

1. Suatu gas ideal sebanyak 4 liter memiliki tekanan 1,5 atmosfer dan suhu 27°C. Tentukan tekanan gas tersebut jika suhunya 47°C dan volumenya 3,2 liter!

Pembahasan :

Di ketahui : $V_1 = 4$ liter, $P_1 = 1,5$ atm, $T_1 = 27$ °C

$T_2 = 47$ °C, $V_2 = 3,2$ liter

Ditanya : $P_2 = \dots\dots?$

Jawab :

Pertama-tama kita harus mengubah suhu dalam menjadi suhu mutlak (K) :

$T_1 = 27 + 273 = 300$ K

$T_2 = 47 + 273 = 320$ K

Kemudian kita masukkan ke persamaan keadaan :

$$\begin{aligned}\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} &= \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} \\ P_2 &= \frac{P_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot V_2} \\ P_2 &= \frac{1,5 \cdot 4,320}{300 \cdot 3,2} \\ P_2 &= 2 \text{ atm}\end{aligned}$$

Tekanan Gas Ideal

Berdasarkan **teori kinetik**, molekul-molekul gas ideal bergerak secara acak sesuai Hukum Gerak Newton dan bertumbukan dengan molekul lain maupun dengan dinding bejana tempat gas berada secara elastis sempurna.

Tekanan yang dikerjakan oleh suatu gas ideal dalam ruang tertutup dapat diturunkan dengan menggunakan mekanika Newton terhadap gerak molekul-molekul gas. Karena kuadrat kelajuan seluruh molekul gas tidaklah sama, maka kita definisikan kuadrat kelajuan rata-rata molekul-molekul gas $\overline{v^2}$, di mana $\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}$

Sesuai dengan anggapan bahwa setiap molekul gas bergerak dalam lintasan lurus dengan kelajuan tetap, maka $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$ dan $\overline{v^2} = 3\overline{v_x^2}$ atau $\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$

Selanjutnya dengan menggunakan definisi bahwa tekanan gas pada dinding wadahnya adalah gaya persatuan luas, $P = \frac{F}{A}$, sedang gaya F sama dengan **perubahan momentum**,

$F = \frac{\Delta P}{\Delta t}$, dengan perubahan momentum tiap molekul gas $\Delta P = 2m_0v_{1x}$, kita dapat memperoleh persamaan tekanan yang dikerjakan oleh suatu gas ideal dalam wadah tertutup adalah :

$$P = \frac{1}{3}\rho\overline{v^2} \text{ atau } P = \frac{1}{3}m_0\overline{v^2}\left(\frac{N}{V}\right),$$

P = tekanan gas (Pa)

ρ = massa jenis (kg m^{-3})

$\overline{v^2}$ = kuadrat kelajuan rata-rata molekul gas

m_0 = massa satu molekul gas (kg),

$\frac{N}{V}$ = kerapatan partikel,

N = jumlah molekul (partikel),

V = volume wadah

Contoh Soal :

1. Sebanyak 1,2 kg gas ideal disimpan dalam suatu silinder. Pada saat diukur tekanannya 2 atm dan suhu 27°C. Jika sejumlah gas sejenis dimasukkan lagi ternyata suhunya menjadi 87°C dan tekanan menjadi 3 atm. Berapa massa gas yang dimasukkan tadi?

Pembahasan :

Diketahui : $m_1 = 1,2 \text{ kg}$, $P_1 = 2 \text{ atm}$, $T_1 = 27^\circ\text{C}$

$T_2 = 87^\circ\text{C}$, $P_2 = 3 \text{ atm}$

Ditanya : $m = \dots\dots?$

Jawab :

Pertama-tama kita harus mengubah suhu dalam menjadi suhu mutlak (K) :

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

$T_2 = 87 + 273 = 360 \text{ K}$

$$pV = nRT = \frac{m}{M}RT \quad ; \quad m = \frac{pVM}{RT}$$

Karena wadanya sama V tetap, sementara M dan R tetap, sehingga didapatkan :

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{m_2}{1,2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{300}{360} \quad , \quad m_2 = 1,5 \text{ kg}$$

Maka massa gas yang dimasukan $\Delta m = 1,5 - 1,2 = 0,3 \text{ kg}$

C. Rangkuman

1. *Gas ideal* adalah gas yang secara tepat memenuhi persamaan $pV = nRT$.
2. **Hukum Boyle-Gay Lussac** berlaku untuk gas ideal di dalam ruang tertutup, persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{pV}{T} = nR \quad \text{atau} \quad \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

3. Persamaan $PV = nRT$ dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$PV = \frac{N}{N_a} RT = N \left(\frac{R}{N_a} \right) T$$

$$PV = NkT$$

4. Berdasarkan **teori kinetik**, molekul-molekul gas ideal bergerak secara acak sesuai Hukum Gerak Newton dan bertumbukan dengan molekul lain maupun dengan dinding bejana tempat gas berada secara elastis sempurna.
5. Persamaan tekanan yang dikerjakan oleh suatu gas ideal dalam wadah tertutup adalah :

$$P = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2} \quad \text{atau} \quad P = \frac{1}{3} m_0 \overline{v^2} \left(\frac{N}{V} \right),$$

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

TEORI EKIPARTISI ENERGI

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran ini Anda diharapkan dapat :

1. menjelaskan konsep energi kinetik rata-rata gas;
2. menjelaskan kecepatan efektif gas;
3. memahami teori ekipartisi energi dan energi dalam; dan
4. mempresentasikan laporan hasil pemikiran tentang teori kinetik gas dan makna fisiknya.

B. Uraian Materi

Selamat bertemu kembali pada pertemuan kedua modul ini. Bagaimana kabar Anda semua? Semoga senantiasa sehat dan dalam lindungan Tuhan Yang Maha Esa. Sebelum melanjutkan pembahasan kita kali ini kita lihat kembali materi pertemuan sebelumnya? Apakah Anda sudah tuntas mempelajari semuanya? Alhamdulillah jika sudah tuntas semuanya. Baiklah kita lanjutkan pertemuan kedua ini semoga dimudahkan dalam belajar.

Hubungan Tekanan dan Energi Kinetik Rata-rata Partikel Gas

Energi kinetik molekul-molekul gas tidaklah sama, sehingga kita perlu mendefinisikan energi kinetik rata-rata molekul-molekul \overline{EK} ,

$$\overline{EK} = \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} \quad \text{atau} \quad m_0 \overline{v^2} = 2\overline{EK}$$

Sehingga,

$$P = \frac{1}{3} (2\overline{EK}) \left(\frac{N}{V} \right) = \frac{2}{3} \overline{EK} \left(\frac{N}{V} \right)$$

\overline{EK} = energi kinetik rata-rata tiap partikel (J)

N = jumlah partikel

V = volume gas (m³)

Hubungan Energi Kinetik Rata-rata dengan Suhu Mutlak Gas.

$$\overline{EK} = \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} nRT$$

Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa energi kinetik rata-rata molekul-molekul gas hanya bergantung pada suhu mutlakunya. Makin besar suhu mutlak gas, makin besar energi kinetik rata-rata.

Perhatian !

Persamaan diatas hanya berlaku untuk gas monoatomik (misalnya gas mulia : helium, neon, dan argon). Jika gas dalam soal tidak disebutkan maka kita selalu menganggap sebagai gas monoatomik.

Kelajuan Efektif Gas (v_{RMS})

Misalkan dalam suatu wadah tertutup terdapat N_1 molekul bergerak dengan kelajuan v_1 , N_2 dengan kelajuan v_2 , dan seterusnya, maka kuadrat kelajuan rata-rata $\overline{v^2}$, dinyatakan sebagai berikut :

$$\overline{v^2} = \frac{\sum (N_i v_i^2)}{\sum N_i}$$

$$v_{RMS} = \sqrt{\overline{v^2}}$$

Hubungan Kelajuan Efektif Gas dengan Suhu

$$\overline{EK} = \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} = \frac{1}{2} m_0 v_{RMS}^2$$

$$\frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} m_0 v_{RMS}^2$$

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Catatan:

1. Untuk suatu gas ideal tertentu (M konstan) kelajuan efektif v_{RMS} hanya bergantung pada suhu mutlaknya (bukan pada tekanannya)
2. Untuk berbagai gas ideal pada suhu sama (konstan), kelajuan efektif v_{RMS} hanya bergantung pada massa molekulnya

Hubungan Kelajuan Efektif Gas dengan Tekanan.

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

P = tekanan gas (Pa)

ρ = massa jenis gas (kg m^{-3})

Teorema Ekuipartisi Energi

Teorema ekuipartisi energi berbunyi sebagai berikut :

Untuk suatu sistem molekul-molekul gas pada suhu mutlak T dengan tiap molekul memiliki f derajat kebebasan, maka energi mekanik rata-rata per molekul (\overline{EM}) atau energi kinetik rata-rata per molekul (\overline{EK}), dinyatakan oleh,

$$\overline{EM} = \overline{EK} = f \left(\frac{1}{2} kT \right), \text{ dengan f adalah derajat kebebasan.}$$

$$\text{Gas monoatomik } f = 3 \Rightarrow \overline{EK} = 3 \left(\frac{1}{2} kT \right)$$

$$\text{Gas diatomic } f = 5 \Rightarrow \overline{EK} = 5 \left(\frac{1}{2} kT \right)$$

Energi Dalam Gas

Energi dalam gas didefinisikan sebagai total energi kinetik seluruh gas yang terdapat di dalam wadah tertutup. Jika ada sejumlah N molekul gas di dalam wadah, maka energi dalam gas (U) adalah

$$U = N \cdot \overline{EK} = N \cdot f \cdot \left(\frac{1}{2} kT \right) = \frac{nfRT}{2}$$

$$\text{Gas monoatomik } f = 3 \Rightarrow U = 3N \left(\frac{1}{2} kT \right)$$

$$\text{Gas diatomic } f = 5 \Rightarrow U = 5N \left(\frac{1}{2} kT \right)$$

C. Rangkuman

1. Energi kinetik molekul-molekul gas tidaklah sama, sehingga perlu didefinisikan energi kinetik rata-rata molekul-molekul \overline{EK} ,

$$\overline{EK} = \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} \text{ atau } m_0 \overline{v^2} = 2\overline{EK}$$

Sehingga,

$$P = \frac{1}{3} (2\overline{EK}) \left(\frac{N}{V} \right) = \frac{2}{3} \overline{EK} \left(\frac{N}{V} \right)$$

2. Hubungan Energi Kinetik Rata-rata dengan Suhu Mutlak Gas.

$$\overline{EK} = \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} nRT$$

3. Energi kinetik rata-rata molekul-molekul gas hanya bergantung pada suhu mutlakunya. Makin besar suhu mutlak gas, makin besar energi kinetik rata-rata.
4. Kelajuan Efektif (v_{RMS}) gas.

Kuadrat kelajuan rata-rata $\overline{v^2}$, dinyatakan sebagai berikut :

$$\overline{v^2} = \frac{\sum (N_i v_i^2)}{\sum N_i}$$

$$v_{RMS} = \sqrt{\overline{v^2}}$$

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

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

5. Teorema ekipartisi energi dinyatakan :

$$\overline{EM} = \overline{EK} = f \left(\frac{1}{2} kT \right), \text{ dengan } f \text{ adalah derajat kebebasan .}$$

$$\text{Gas monoatomik } f = 3 \Rightarrow \overline{EK} = 3 \left(\frac{1}{2} kT \right)$$

$$\text{Gas diatomic } f = 5 \Rightarrow \overline{EK} = 5 \left(\frac{1}{2} kT \right)$$

6. Energi dalam gas didefinisikan sebagai total energi kinetik seluruh gas yang terdapat di dalam wadah tertutup.

$$U = N \cdot \overline{EK} = N \cdot f \cdot \left(\frac{1}{2} kT \right) = \frac{\eta f RT}{2}$$

$$\text{Gas monoatomik } f = 3 \Rightarrow U = 3N \left(\frac{1}{2} kT \right)$$

$$\text{Gas diatomik } f = 5 \Rightarrow U = 5N \left(\frac{1}{2} kT \right)$$

D. Penugasan Mandiri

Sebagai penyempurna kegiatan pembelajaran pada modul kali ini, Anda diminta melakukan sedikit kegiatan supaya lebih memahami konsep tentang energi kinetik Gas. Ikuti langkah-langkah berikut :

1. Siapkan 4 buah balon karet yang identik
2. Isi balon karet dengan udara
3. Ukur diameter luar masing-masing balon setelah diisi udara dan catat hasilnya dalam tabel
4. Letakkan 2 balon dibawah terik matahari/dijemur
5. Simpan 2 balon ditempat teduh/dingin
6. Tunggulah beberapa saat 1- 2 jam pastikan balon tidak terbang terbawa angin.
7. Isilah tabel pengamatan berikut :

No.Balon	Ukuran Diameter Balon		Perubahan Ukuran
	Mula-mula	Setelah di jemur/disimpan	
Balon 1			
Balon 2			
Balon 3			
Balon 4			

Pertanyaan dan Tugas !

1. Isilah tabel secara lengkap.
2. Dari hasil pengamatan apa kesimpulan yang bisa Anda ambil terkait perubahan ukuran balon. Jelaskan dengan konsep-konsep Energi Kinetik Gas yang sudah Anda pelajari !

E. Latihan Soal

1. Suatu gas monoatomik A bersuhu 27°C dengan massa tiap partikel $\frac{1}{2}$ kali massa partikel B. Agar kedua macam partikel mempunyai laju yang sam, tentukan suhu gas B!
2. Molekul oksigen ($M_r = 32 \text{ gram/mol}$) di atmosfer memiliki laju efektif 500 ms^{-1} . Tentukan laju molekul Helium ($M_r = 4 \text{ gram/mol}$) !
3. Gas He ($M_r = 4 \text{ gr/mol}$) pada suhu 27°C dan volume 1 L massanya 8 gram . Tentukan energi dalam gas!