

**Materi Kuliah
Fisika Mekanika**

**Kalor
dan
Hukum I Termodinamika**

Dosen :
Tri Surawan, M.Si

**Fakultas Teknik
Universitas Jayabaya**

Yang akan dipelajari

1. Kalor dan Energi Dalam
2. Kalor Jenis dan Kalorimetri
3. Kalor Laten
4. Kerja dan Kalor dalam Proses Termodinamika
5. Hukum I Termodinamika
6. Aplikasi Hukum I Termodinamika
7. Mekanisme Transfer Energi

TIGA MACAM SISTEM

- **SISTEM TERBUKA**

- Ada pertukaran massa dan energi sistem dengan lingkungannya.
 - Misal : lautan, tumbuh-tumbuhan

- **SISTEM TERTUTUP**

- Ada pertukaran energi tetapi **TIDAK** terjadi pertukaran massa sistem dengan lingkungannya.
 - Misalnya: Green House ada pertukaran kalor tetapi tidak terjadi pertukaran kerja dengan lingkungan.

- **SISTEM TERISOLASI**

- **TIDAK** ada pertukaran massa dan energi sistem dengan lingkungan.
 - Misalnya: Tabung gas yang terisolasi.

Kalor dan Energi Dalam

- **Energi Dalam** adalah semua energi sistem yang berhubungan dengan komponen mikroskopik atom dan molekul.
- **Kalor** adalah transfer energi antara sistem dan lingkungan yang mengelilinginya karena adanya perbedaan temperatur.

Pengertian Kalor

- **Kalor** adalah energi termal yang mengalir dari satu benda ke benda lain karena adanya perbedaan temperatur.
 - energi termal yang mengalir dari benda bertemperatur tinggi ke benda bertemperatur rendah.
- **Satuan kalor menurut SI adalah Joule (J)**
- Satuan kalor yang lain adalah kalori dan BTU (British Thermal Unit).
 - **1 kal = 4.186 J**
 - 1 kalori (kal) adalah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1 gram air sebesar 1°C
 - **1 BTU = 1.055 Joule**

Kalor Jenis dan Kapasitas Kalor

- **Kalor jenis** suatu zat adalah jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 kg suatu zat sebesar 1 °C.
 - Kalor jenis menunjukkan kemampuan suatu benda untuk menyerap kalor.
 - Semakin besar kalor jenis suatu benda, semakin besar pula kemampuan benda tersebut untuk menyerap kalor.

$$C = \frac{Q}{m \Delta T}$$

Dimana :

c = kalor jenis suatu zat (J/kg °C),

Q = kalor (J),

m = massa benda (kg), dan

ΔT = perubahan temperatur (°C).

Zat Padat	Kalor jenis (J/kg°C)
Kuningan	367
Aluminium	900
Tembaga	390
Besi atau baja	450
Timah	130
Marmer	860
Perak	230
Kayu	1.700
Seng	388

Zat Cair	Kalor jenis (J/kg°C)
Alkohol (etil)	2.400
Raksa	140
Air	
es (-5°C)	2.100
cair (15°C)	4.186
uap (110°C)	2.010
Badan manusia	3.470
Protein	1.700

Kalor Jenis dan Kapasitas Kalor

- **Kapasitas Kalor** adalah banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu benda sebesar 1 °C.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Dimana :

C = kapasitas kalor benda (J/°C)

Q = kalor yang diserap/dilepas (J)

ΔT = perubahan suhu benda (°C)

- Hubungan antara kalor jenis dan kapasitas kalor adalah :

$$C = m \times c$$

Contoh

Air sebanyak 100 gram yang memiliki temperatur 25 °C dipanaskan dengan energi sebesar 1.000 kalori. Jika kalor jenis air 1 kal/g °C, tentukanlah temperatur air setelah pemanasan tersebut

Penyelesaian :

Diketahui:

$$m = 100 \text{ gram},$$

$$T_0 = 25 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$c_{\text{air}} = 1 \text{ kal/g } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 1.000 \text{ kal.}$$

Jawab

Perubahan temperatur yang terjadi :

$$Q = m c \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{mc} = \frac{1000 \text{ kal}}{(100 \text{ gram})(1 \text{ kal/g } ^\circ\text{C})}$$
$$= 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatur akhir air setelah pemanasan adalah :

$$\Delta T = T - T_0$$
$$10 \text{ } ^\circ\text{C} = T - 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$
$$T = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Contoh soal

Gas nitrogen bermassa 56×10^{-3} kg dipanaskan dari suhu 270 K menjadi 310 K. Jika nitrogen ini dipanaskan dalam bejana yang bebas memuai, diperlukan kalor sebanyak 2,33 kJ. Jika gas nitrogen ini dipanaskan dalam bejana kaku (tidak dapat memuai), diperlukan kalor sebesar 1,66 kJ. Jika massa molekul relatif nitrogen 28 g/mol, hitunglah kapasitas kalor gas nitrogen dan tetapan umum gas.

Penyelesaian

Diketahui:

$$m = 56 \times 10^{-3} \text{ kg}, \Delta T = 40 \text{ K}, \text{ dan } Mr = 28 \text{ g/mol} = 28 \times 10^{-3} \text{ kg/mol.}$$

a. Proses tekanan tetap pada gas:

$$Q_p = 2,33 \text{ kJ} = 2.330 \text{ J}$$

$$Q_p = C_p (\Delta T)$$

$$2.330 \text{ J} = C_p (40 \text{ K})$$

$$C_p = 58,2 \text{ J/K.}$$

Proses volume tetap pada gas:

$$Q_v = 1,66 \text{ kJ} = 1.660 \text{ J.}$$

$$Q_v = C_v (\Delta T)$$

$$1.660 \text{ joule} = C_v (40 \text{ K})$$

$$C_v = 41,5 \text{ J/K}$$

b. Tetapan umum gas R dihitung sebagai berikut.

$$C_p - C_v = n R = \frac{m}{M_r} R \rightarrow R = \frac{M_r}{m} (C_p - C_v)$$

$$R = \frac{28 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}}{56 \times 10^{-3} \text{ kg}} (58,2 - 41,5) \text{ J/K} = 8,35 \text{ J/mol K.}$$

Asas Black

- **Kalor** adalah energi yang dipindahkan dari benda yang memiliki temperatur tinggi ke benda yang memiliki temperatur lebih rendah sehingga pengukuran kalor selalu berhubungan dengan perpindahan energi.
- Benda yang memiliki temperatur lebih tinggi akan melepaskan energi sebesar Q dan benda yang memiliki temperatur lebih rendah akan menerima energi sebesar Q .
- **Asas Black**
 - Jika kedua benda yang berbeda suhu dicampurkan/dihubungkan dan terisolasi dengan baik, maka jumlah kalor yang dilepas sama dengan jumlah kalor yang diterima.
- Secara matematis, Asas Black dinyatakan :

$$Q_{\text{Lepas}} = Q_{\text{Terima}}$$

$$m_1 c_1 \Delta T_1 = m_2 c_2 \Delta T_2$$

$$m_1 c_1 (T_1 - T_c) = m_2 c_2 (T_c - T_2)$$

Dengan :

T_c = suhu akhir atau suhu campuran

Contoh

Air sebanyak 0,5 kg yang bersuhu 100°C di tuangkan ke dalam bejana dari aluminium yang memiliki massa 0,5 kg. Jika suhu awal bejana sebesar 25°C , kalor jenis aluminium 900 J/kg $^{\circ}\text{C}$, dan kalor jenis air 4.200 J/kg $^{\circ}\text{C}$, maka tentukan suhu kesetimbangan yang tercapai! (anggap tidak ada kalor yang mengalir ke lingkungan)

Penyelesaian :

Diketahui :

$$m_{\text{bej}} = 0,5 \text{ kg}$$

$$m_{\text{air}} = 0,5 \text{ kg}$$

$$T_{\text{air}} = 100^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{bej}} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\text{air}} = 4.200 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\text{bej}} = 900 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{C}$$

Jawab :

$$\begin{aligned} Q_{\text{dilepas}} &= Q_{\text{diterima}} \\ m \times c_{\text{air}} \times \Delta T_{\text{air}} &= m \times c_{\text{bej}} \times \Delta T_{\text{bej}} \\ 0,5 \times 4.200 \times (100 - T_{\text{termal}}) &= 0,5 \times 900 \times (T_{\text{termal}} - 25) \\ 210.000 - 2.100 T_{\text{termal}} &= 450 T_{\text{termal}} - 11.250 \\ 2.550 T_{\text{termal}} &= 222.250 \\ T_{\text{termal}} &= 222.250 / 2550 \\ &= 87,156^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Jadi, suhu kesetimbangannya adalah $87,156^{\circ}\text{C}$.

Kalorimetri

Kalorimeter adalah alat yang digunakan untuk mencari kalor jenis benda atau zat dengan menggunakan Asas Black.

Kalorimeter terdiri atas sebuah bejana tembaga tipis yang dimasukan ke dalam bejana serupa yang lebih besar. Di antara keduanya diberi bahan isolator, bisa berupa udara atau gabus. Bejana ditutup rapat dan diberi tempat untuk pengaduk dan termometer.

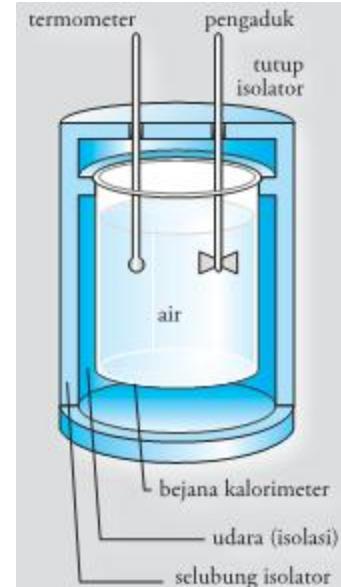
Pengukuran kalor jenis suatu benda dilakukan dengan memasukkan benda panas ke dalam kalorimeter yang berisi air dingin. Ketika benda tersebut dan air bercampur, maka terjadi perpindahan kalor dari benda yang bersuhu tinggi ke air yang bersuhu rendah. Sehingga suatu saat diperoleh suhu akhir campuran.

Persamaan untuk menentukan kalor jenis benda adalah :

$$m_b c_b (T_b - T_c) = m_a c_a (T_c - T_a) + m_k c_k (T_c - T_k)$$
$$c_b = \frac{m_a c_a (T_c - T_a) + m_k c_k (T_c - T_k)}{m_b (T_b - T_c)}$$

Karena suhu awal air sama dengan suhu awal kalorimeter ($T_a = T_k$), maka :

$$c_b = \frac{(m_a c_a + m_k c_k)(T_c - T_a)}{m_b (T_b - T_c)}$$



Keterangan:

- m_b = massa benda (kg)
- m_a = massa air (kg)
- m_k = massa kalorimeter (kg)
- c_b = kalor jenis benda ($J/kg^{\circ}C$)
- c_a = kalor jenis air
- c_k = kalor jenis bahan kalorimeter
- T_b = suhu awal benda ($^{\circ}C$)
- T_a = suhu awal air
- T_c = suhu campuran atau suhu akhir

Kalor Laten

- Wujud benda ada tiga macam yaitu padat, cair, dan gas.
- Ketika suatu zat berubah menjadi wujud lain, diperlukan atau dilepaskan sejumlah kalor, **tetapi tidak digunakan untuk menaikkan atau menurunkan temperatur.**
- **Kalor Laten** adalah kalor yang dibutuhkan untuk mengubah wujud suatu benda per satuan massa.

$$L = Q / m \quad \text{atau} \quad Q = m \cdot L$$

Dimana :

L = kalor laten (J/kg)

Q = kalor yang diperlukan atau dilepaskan selama perubahan wujud (J)

m = massa zat (kg)

- Mengapa kalor laten yang diserap oleh suatu zat ketika melebur atau menguap tidak dapat menaikkan temperaturnya?
 - Berdasarkan teori kinetik, pada saat melebur atau menguap, kecepatan getaran molekul bernilai maksimum.
 - Kalor yang diserap tidak menambah kecepatannya, tetapi digunakan untuk melawan gaya ikat antarmolekul zat tersebut.
 - Ketika molekul-molekul ini melepaskan diri dari ikatannya, zat padat berubah menjadi zat cair atau zat cair berubah menjadi gas.

Kalor Laten

- Kalor yang diperlukan untuk mengubah 1 kg zat dari padat menjadi cair disebut **kalor lebur**.
 - Kalor lebur air dalam SI adalah sebesar 333 kJ/kg ($3,33 \times 10^5 \text{ J/kg}$),
 - nilai ini setara dengan $79,7 \text{ kkal/kg}$.
- Kalor yang dibutuhkan untuk mengubah suatu zat dari wujud cair menjadi uap disebut **kalor penguapan**.
 - Kalor penguapan air dalam satuan SI adalah 2.260 kJ/kg ($2,26 \times 10^6 \text{ J/kg}$),
 - nilai ini sama dengan 539 kkal/kg .

Kalor Laten beberapa Zat pada 1 atm

Zat	Titik Lebur (°C)	Kalor Lebur		Titik Didih (°C)	Kalor Penguapan	
		kkal/kg	J/kg		kkal/kg	J/kg
Oksigen	-218,8	3,3	$0,14 \times 10^{-5}$	-183	51	$2,1 \times 10^5$
Nitrogen	-210,0	6,1	$0,26 \times 10^{-5}$	-195,8	48	$2,0 \times 10^5$
Etil alkohol	-114	25	$1,04 \times 10^{-5}$	78	204	$8,5 \times 10^5$
Amonia	-77,8	8,0	$0,33 \times 10^{-5}$	-33,4	33	$1,37 \times 10^5$
Air	0	79,7	$3,33 \times 10^{-5}$	100	539	$22,6 \times 10^5$
Timah hitam	327	5,9	$0,25 \times 10^{-5}$	1.750	208	$8,7 \times 10^5$
Perak	961	21	$0,88 \times 10^{-5}$	2.193	558	23×10^5
Besi	1.808	69,1	$2,89 \times 10^{-5}$	3.023	1520	$63,4 \times 10^5$
Tungsten	3.410	44	$1,84 \times 10^{-5}$	5.900	1150	48×10^5

Kerja dan Kalor dalam Proses Termodinamika

Kerja merupakan hasil perkalian gaya dengan perpindahan ($W = F \times s$).

Gambar di samping memperlihatkan penampang gas silinder yang didalamnya terdapat piston (penghisap). Piston ini dapat bergerak bebas naik turun.

Jika luas piston A dan tekanan gas p, maka gas akan mendorong piston dengan gaya $F = p \times A$.

Kerja yang dilakukan gas adalah :

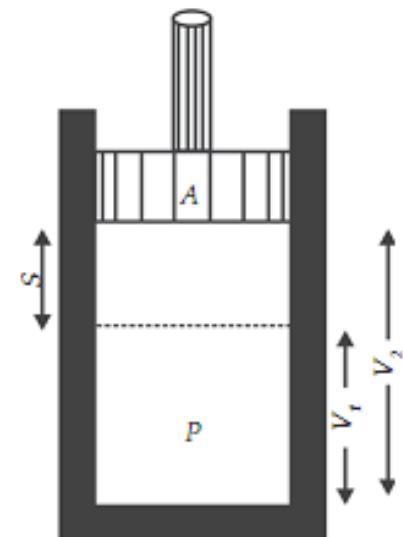
$$W = F \times \Delta s$$

Jika $F = p \times A$, maka

$$W = p \times A \times \Delta s$$

Jika $\Delta s = \Delta V / A$, maka :

$$W = p \times \Delta V \quad \text{atau} \quad W = p (V_2 - V_1)$$



Dimana :

W = Kerja (J)

p = tekanan tetap (N/m^2)

V_1 = volume awal (m^3)

V_2 = volume akhir (m^3)

Contoh

Gambar berikut menunjukkan suatu siklus termodinamika dari suatu gas ideal.

Tentukanlah Kerja yang dilakukan gas !

Penyelesaian :

Diketahui:

$$p_A = p_B = 2 \times 10^5 \text{ N/m}^2, p_D = p_C = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2, 1 \text{ atm} = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$
$$V_A = V_D = 2 \text{ m}^3, \text{ dan } V_B = V_C = 3 \text{ m}^3.$$

Jawab :

$$W_{AB} = p (V_B - V_A) = (2 \times 10^5 \text{ N/m}^2) (3 - 2) \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 200 \text{ joule}$$

$$W_{BC} = p (V_C - V_B) = 0$$

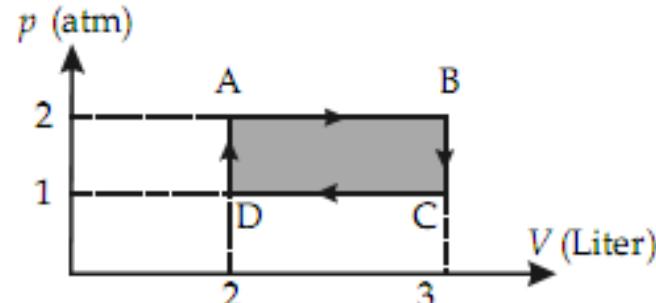
$$W_{CD} = p (V_D - V_C) = (1 \times 10^5 \text{ N/m}^2) (2 - 3) \times 10^{-3} \text{ m}^3 = -100 \text{ joule}$$

$$W_{DA} = p (V_A - V_D) = 0$$

$$W_{ABCPDA} = W_{\text{siklus}} = 200 \text{ Joule} + 0 - 100 \text{ Joule} + 0 = 100 \text{ joule}$$

Atau :

$$W_{ABCPDA} = W_{\text{siklus}} = \text{luas arsiran}$$
$$= (2 - 1) \times 10^5 \text{ N/m}^2 (3 - 2) \times 10^{-3} \text{ m}^3$$
$$= 100 \text{ joule.}$$



Kerja dan Kalor dalam Proses Termodinamika

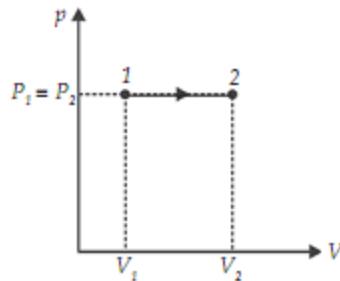
Gas dalam ruang tertutup dapat mengalami beberapa proses yaitu proses isobarik, proses isothermal, proses isokorik, dan proses adiabatik.

Proses Isobarik

proses isobarik adalah proses yang berlangsung pada **tekanan tetap**.

Kerja yang dilakukan oleh gas pada proses isobarik

$$W = p \times \Delta V \text{ atau } W = p (V_2 - V_1)$$



Grafik Proses Isobarik

Proses isothermal

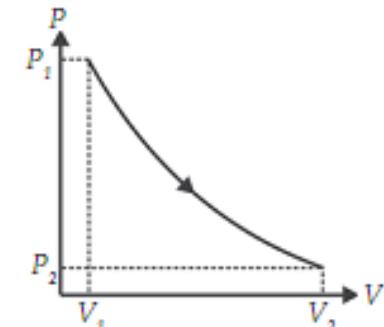
Proses isothermal adalah proses yang dialami gas pada **suhu tetap**.

Kerja yang dilakukan gas pada proses isothermal adalah :

$$\begin{aligned} W &= nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} \\ &= nRT [\ln V]_{V_1}^{V_2} \\ &= nRT [\ln V_2 - \ln V_1] \\ &= nRT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \end{aligned}$$

atau

$$W = nRT \ln \frac{P_2}{P_1}$$



Grafik Proses isothermal

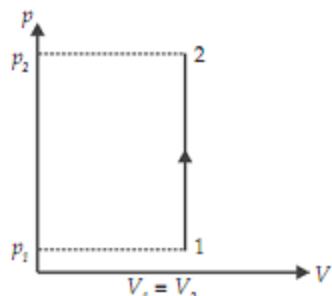
Kerja dan Kalor dalam Proses Termodinamika

Proses Isovolumetrik

Proses Isovolumetrik adalah proses yang dialami oleh gas di mana gas tidak mengalami perubahan volume atau **volume tetap** ($\Delta V = 0$)

Kerja yang dilakukan gas pada proses isovolumetrik adalah nol

$$\begin{aligned}W &= p \times \Delta V \\&= p \times 0 \\&= 0\end{aligned}$$



Grafik Proses Isokorik

Proses Adiabatik

Proses adiabatik merupakan proses yang **tidak ada kalor yang masuk atau keluar** dari sistem (gas) ke lingkungan ($\Delta Q = 0$).

Pada proses adiabatik berlaku rumus Poisson.

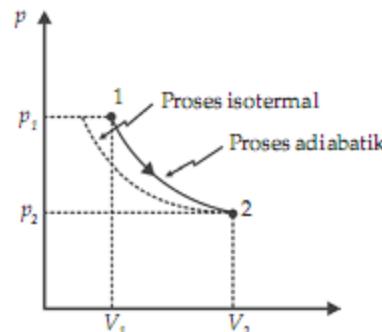
$$pV^\gamma = \text{Konstan}$$

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$$

Dengan γ (tetapan Laplace) merupakan perbandingan kalor jenis gas pada tekanan tetap (C_p) dan kalor jenis gas pada volume tetap (C_v).

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Kerja pada proses adiabatik



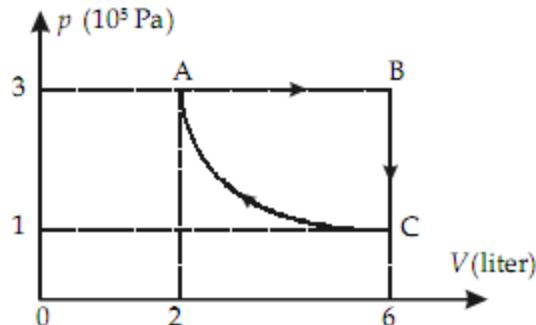
Grafik Proses Adiabatik

$$W = \frac{1}{1-\gamma} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

$$W = -\Delta U = \frac{3}{2} nR(T_1 - T_2)$$

Contoh

Suatu gas ideal mengalami proses siklus seperti grafik p – V berikut :



Tentukan Kerja netto gas dalam satu siklus !

Penyelesaian :

Diketahui: $p_A = p_B = 3 \times 10^5$ Pa, $p_C = 1 \times 10^5$ Pa, $V_A = 2$ L, dan $V_B = V_C = 6$ L.

Jawab :

Proses A ke B adalah proses isobarik.

Kerja dari A ke adalah :

$$\begin{aligned} W_{AB} &= p (V_B - V_A) \\ &= 3 \times 10^5 \text{ Pa} (6 - 2) \times 10^{-3} \text{ m}^3 \\ &= 1.200 \text{ joule} \end{aligned}$$

Proses B ke C adalah proses isovolumetrik.

Karena $V_C = V_B$,

Kerja yang dilakukan gas $W_{BC} = 0$

Proses dari C ke A adalah isothermal.

Oleh karena $p_C : V_C = p_A : V_A$,
kerja dari C ke A adalah :

$$\begin{aligned} W_{CA} &= nRT \ln \frac{V_A}{V_C} = p_C V_C \ln \frac{V_A}{V_C} = p_A V_A \ln \frac{V_A}{V_C} \\ W_{CA} &= (1 \times 10^5 \text{ N/m}^2)(6 \times 10^{-3} \text{ m}^3) \ln \frac{3}{6} = -415,8 \text{ joule} \end{aligned}$$

Kerja netto gas dalam satu siklus ABCA :

$$\begin{aligned} W_{\text{siklus}} &= W_{AB} + W_{BC} + W_{CA} \\ &= 1.200 + 0 + (-415,8) \\ &= 784,2 \text{ joule} \end{aligned}$$

Contoh

Sebuah mesin memiliki rasio pemampatan 12 : 1 yang berarti bahwa setelah pemampatan, volume gas menjadi $1/_{12}$ volume awalnya. Anggap bahan bakar bercampur udara pada suhu 35°C , tekanan 1 atm, dan $\gamma = 1,4$. Jika proses pemampatan terjadi secara adiabatik, hitunglah tekanan pada keadaan akhir dan suhu campuran.

Penyelesaian :

Diketahui:

$$V_2 = 1/_{12} V_1, T_1 = 35 + 273 = 308 \text{ K}, p_1 = 1 \text{ atm}, \text{ dan } \gamma = 1,4$$

Jawab :

Untuk menentukan tekanan akhir p_2 , gunakan rumus

$$p_1 V_1^{\gamma} = p_2 V_2^{\gamma}$$
$$p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma} = 1 \left(\frac{V_1}{\frac{1}{12} V_1} \right)^{1,4} = (12)^{1,4} = 32,4 \text{ atm.}$$

Suhu campuran atau suhu akhir (T_2) diperoleh sebagai berikut :

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

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = 308 \text{ K} (12)^{1,4-1} = 308 \text{ K} (12)^{0,4} = 832 \text{ K} = 559^{\circ}\text{C}$$

Hukum I Termodinamika

Hukum I termodinamika menyatakan :

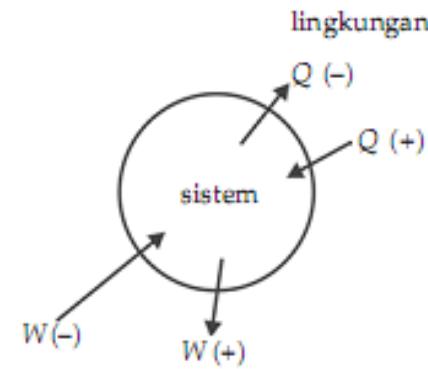
untuk setiap proses apabila kalor (Q) diberikan kepada sistem dan sistem melakukan Kerja (W), maka akan terjadi perubahan energi dalam (ΔU).

Secara matematis dinyatakan :

$$\Delta U = Q - W \quad \text{atau} \quad Q = \Delta U + W$$

Peraturan :

1. Q dianggap positif (+) apabila kalor memasuki sistem.
2. Q dianggap negatif (-) apabila kalor keluar dari sistem.
3. W dianggap positif (+) apabila kerja dilakukan oleh sistem.
4. W dianggap negatif (-) apabila lingkungan melakukan kerja pada sistem.
5. ΔU dianggap positif (+) apabila energi dalam sistem bertambah.
6. ΔU dianggap negatif (-) apabila energi dalam sistem berkurang.



Proses	Usaha	Perubahan Energi Dalam	Hukum I Termodinamika	Keterangan
Isobarik	$W = p \Delta V$	$\Delta U = \frac{3}{2} nR \Delta T$	$Q_p = W + \Delta U$	$\Delta p = 0$
Isokorik	$W = 0$	$\Delta U = \frac{3}{2} nR \Delta T$	$Q_V = \Delta U$	$\Delta V = 0$
Isotermal	$W = nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$	$\Delta U = 0$	$Q = W$	$\Delta T = 0$
Adiabatik	$W = \frac{3}{2} nR(T_1 - T_2)$	$\Delta U = \frac{3}{2} nR \Delta T$	$\Delta U = -W$	$\Delta Q = 0$

Contoh

Delapan mol gas ideal dipanaskan pada tekanan tetap sebesar $2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ sehingga volumenya berubah dari $0,08 \text{ m}^3$ menjadi $0,1 \text{ m}^3$. Jika gas mengalami perubahan energi dalam gas sebesar 1.500 J , berapakah kalor yang diterima gas tersebut.

Penyelesaian :

Diketahui:

$$p = 2 \times 10^5 \text{ N/m}^2, V_1 = 0,08 \text{ m}^3, V_2 = 0,1 \text{ m}^3, \text{ dan } \Delta U = 1.500 \text{ J.}$$

Jawab

$$\begin{aligned} Q &= \Delta U + W \\ &= \Delta U + p(V_2 - V_1) \\ &= 1.500 \text{ joule} + 2 \times 10^5 \text{ N/m}^2 (0,1 - 0,08) \text{ m}^3 \\ &= 1.500 \text{ joule} + 4.000 \text{ joule} \\ &= 5.500 \text{ J} \end{aligned}$$

Hukum I Termodinamika

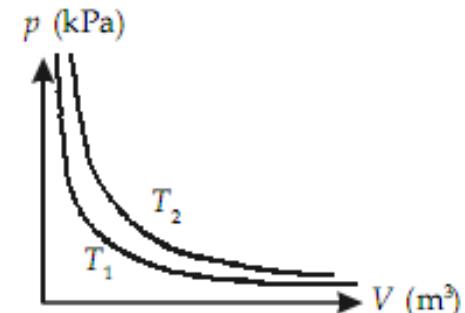
- Hukum I Termodinamika merupakan persamaan kekekalan energi khususnya pada perubahan energi dalam sistem.
- **Sistem Terisolasi**
 - Sebuah sistem terisolasi tidak dapat berinteraksi dengan lingkungannya.
 - Tidak ada perpindahan energi yang terjadi dan tidak ada kerja yang dilakukan.
 - Oleh karena itu energi dalam pada sistem terisolasi menjadi konstan.
- **Proses Siklus**
 - Proses siklus adalah suatu proses dimana keadaan awal dan keadaan akhir sama.
$$U_{\text{akhir}} = U_{\text{awal}}$$
 dan
$$Q = -W$$
 - Jumlah usaha yang dikerjaan oleh gas pada setiap siklus sama dengan luas di bawah kurva tertutup yang digambarkan pada kurva tertutup yang digambarkan pada diagram P-V.

Aplikasi Hukum I Termodinamika

Hukum Boyle → Proses Isothermal

hasil kali antara tekanan (p) dan volume (V) gas pada **suhu tetap** (isothermal) adalah konstan.

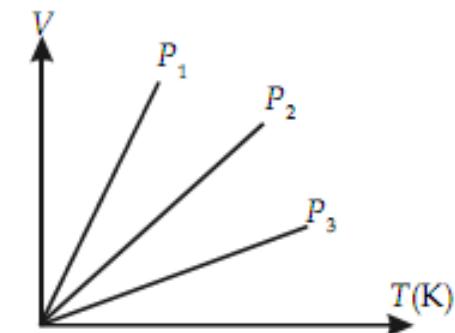
$$pV = \text{konstan} \quad \text{atau} \quad p_1 V_1 = p_2 V_2$$



Hukum Gay-Lussac → Proses Isobarik

hasil bagi antara volume (V) dengan temperatur (T) gas pada **tekanan tetap** adalah konstan.

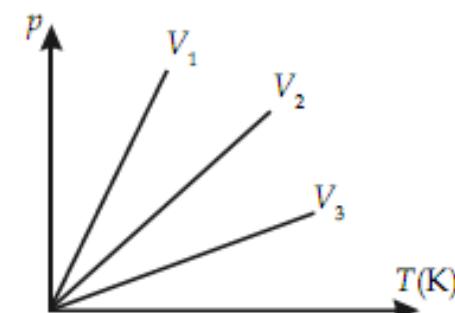
$$\frac{V}{T} = \text{konstan} \quad \text{atau} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$



Hukum Charles → Proses Isovolumetrik

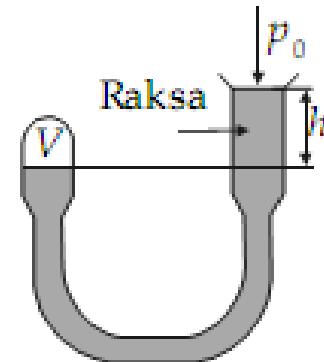
hasil bagi tekanan (p) dengan temperatur (T) suatu gas pada **volume tetap** adalah konstan

$$\frac{p}{T} = \text{konstan} \quad \text{atau} \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$



Contoh

Seseorang ingin menerapkan hukum Boyle untuk menentukan tekanan udara luar dengan menggunakan peralatan, seperti pada gambar. Ia mendapatkan bahwa ketika $h = 50 \text{ mm}$, $V = 18 \text{ cm}^3$ dan ketika $h = 150 \text{ mm}$, $V = 16 \text{ cm}^3$. Berapa mmHg tekanan udara luar?



Penyelesaian :

Diketahui: $h_1 = 50 \text{ mm}$, $V_1 = 18 \text{ cm}^3$, $h_2 = 150 \text{ mm}$, dan $V_2 = 16 \text{ cm}^3$.

Jawab

Sesuai dengan sifat bejana berhubungan, tekanan gas dalam V adalah:

- Keadaan 1: $p_1 = (p_0 + h_1) \text{ mmHg} = (p_0 + 50) \text{ mmHg}$
- Keadaan 2: $p_2 = (p_0 + h_2) \text{ mmHg} = (p_0 + 150) \text{ mmHg}$

Menurut hukum Boyle:

$$p_2 V_2 = p_1 V_1$$

$$p_2 = \left(\frac{V_1}{V_2} \right) p_1 = \left(\frac{18}{16} \right) p_1$$

$$\left(\frac{18 \text{ cm}^3}{16 \text{ cm}^3} \right) p_1 = p_0 + 150 \text{ mm}$$

$$p_1 = \left(\frac{16 \text{ cm}^3}{18 \text{ cm}^3} \right) (p_0 + 150 \text{ mm})$$

$$\left(\frac{16 \text{ cm}^3}{18 \text{ cm}^3} \right) (p_0 + 150 \text{ mm}) = (p_0 + 50 \text{ mm})$$

$$16 \text{ cm}^3 (p_0) + 16 \text{ cm}^3 (150 \text{ mm}) = 18 p_0 + 18 \text{ cm}^3 (50 \text{ mm})$$

$$2 p_0 = 16 \text{ cm}^3 (150 \text{ mm}) - 18 \text{ cm}^3 (50 \text{ mm})$$

$$p_0 = 750 \text{ mmHg}$$

Tekanan udara luar adalah 750 mmHg atau 75 cmHg.

Mekanisme Transfer Energi

- **Konduksi**

- *Konduksi* adalah perpindahan kalor akibat perbedaan temperatur yang tidak diikuti perpindahan massa

- **Konveksi**

- *Konveksi* adalah perambatan kalor yang disertai perpindahan massa atau perpindahan partikel-partikel zat perantaranya.

- **Radiasi**

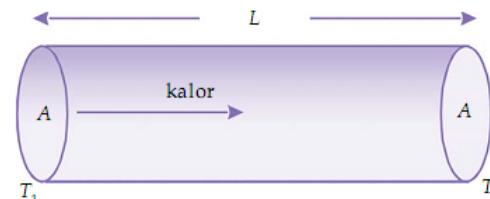
- *Radiasi* adalah perpindahan energi melalui gelombang elektromagnetik.

Mekanisme Transfer Energi

Konduksi

Konduksi adalah perpindahan kalor akibat perbedaan temperatur yang tidak diikuti perpindahan massa

Kalor yang mengalir dinyatakan sebagai :



$$H = KA \frac{\Delta T}{L} \quad \text{atau} \quad H = KA \frac{(T_1 - T_2)}{L}$$

Konduktivitas Termal Beberapa Zat

Zat/Bahan	$K \left(\frac{\text{kJ}}{\text{ms K}} \right)$
-----------	--

Dimana :

H = jumlah kalor yang merambat per satuan waktu (J/s).

T_1 = ujung batang logam bersuhu tinggi (K),

T_2 = ujung batang logam bersuhu rendah (K),

A = luas penampang hantaran kalor (m^2),

L = panjang batang (m),

K = koefisien konduksi termal (J/m.s.K),

Logam:

Perak $4,2 \times 10^1$

Tembaga $3,8 \times 10^1$

Aluminium $2,1 \times 10^1$

Kuningan $1,0 \times 10^2$

Besi/Baja $4,6 \times 10^3$

Zat Padat Lainnya:

Beton $1,7 \times 10^3$

Kaca $8,0 \times 10^4$

Batu bata $7,1 \times 10^4$

Kayu cemara $1,2 \times 10^4$

Zat cair:

Air $5,7 \times 10^4$

Contoh

Diketahui suhu permukaan bagian dalam dan luar sebuah kaca jendela yang memiliki panjang 2 m dan lebar 1,5 m berturut turut 27°C dan 26°C . Jika tebal kaca tersebut 3,2 mm dan konduktivitas termal kaca sebesar $0,8 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, maka tentukan laju aliran kalor yang lewat jendela tersebut!

Penyelesaian :

Diketahui :

$$d = 3,2 \text{ mm} = 3,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A = 2 \times 1,5 = 3 \text{ m}^2$$

$$\Delta t = 27 - 26 = 1^\circ \text{C}$$

$$K = 0,8 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

Jawab :

$$\begin{aligned} H &= k \times A \times \frac{\Delta T}{d} \\ &= 0,8 \times 3 \times \frac{1}{3,2 \times 10^{-3}} \\ &= 750 \text{ J/s} \end{aligned}$$

Mekanisme Transfer Energi

Konveksi

Konveksi adalah perambatan kalor yang disertai perpindahan massa atau perpindahan partikel-partikel zat perantaranya.

Besar kalor yang merambat tiap satuan waktu, dapat dituliskan sebagai berikut

$$H = hA \Delta T$$

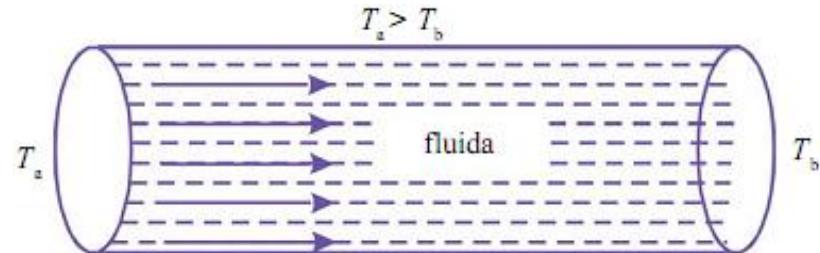
Dimana :

H = jumlah kalor yang berpindah tiap satuan waktu (J/s),

A = luas penampang aliran (m^2)

ΔT = perbedaan temperatur (K)

h = koefisien konveksi termal (J/m.s.K),



Besarnya koefisien konveksi termal bergantung pada bentuk dan geometrik permukaan-permukaan bidang aliran serta bergantung pula pada sifat fluida perantaranya.

Contoh

Suatu fluida dengan koefisien konveksi termal $0,01 \text{ kal/ms}^{\circ}\text{C}$ memiliki luas penampang aliran 20 cm^2 . Jika fluida tersebut mengalir dari dinding yang bersuhu 100°C ke dinding lainnya yang bersuhu 20°C , kedua dinding sejajar. Berapakah besarnya kalor yang dirambatkan?

Penyelesaian :

Diketahui:

$$h = 0,01 \text{ kal/ms}^{\circ}\text{C},$$

$$T_a = 100^{\circ}\text{C},$$

$$T_b = 20^{\circ}\text{C},$$

$$A = 20 \text{ cm}^2 = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Jawab

Kalor yang merambat adalah :

$$H = h A \Delta T$$

$$= 0,01 \text{ kal/ms}^{\circ}\text{C} \times (2 \times 10^{-3} \text{ m}^2) \times (100^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C})$$

$$= 16 \times 10^{-4} \text{ kal/s}$$

Jadi, besarnya kalor yang merambat dalam fluida per satuan waktu adalah $16 \times 10^{-4} \text{ kal/s}$.

Mekanisme Transfer Energi

Radiasi

Radiasi adalah perpindahan energi melalui gelombang elektromagnetik.

Pemancaran energi ini tidak memerlukan medium zat perantara.

Besarnya energi yang dipancarkan adalah :

$$W = e \sigma T^4$$

Dimana :

W = energi yang dipancarkan per satuan luas per satuan waktu (watt/m²),

σ = konstanta Stefan–Boltzmann = $5,672 \times 10^{-8}$ watt/m² K⁴,

T = temperatur mutlak benda (K),

e = koefisien emisivitas ($0 \leq e \leq 1$) → tergantung permukaan benda

- Untuk benda hitam sempurna : $e = 1$ (kekasaran dan warna benda)

- Untuk benda putih sempurna : $e = 0$

Energi yang dipancarkan dalam satuan Joule adalah :

Dimana :

$$W = e \sigma T^4 A t$$

W = energi yang dipancarkan permukaan benda (J)

A = luas permukaan benda (m²)

t = lama waktu radiasi (sekon)

Contoh

Sebuah plat tipis memiliki total luas permukaan $0,02 \text{ m}^2$. Plat tersebut di panaskan dengan sebuah tungku hingga suhunya mencapai 1.000 K . Jika emisitas plat $0,6$, maka tentukan laju radiasi yang dipancarkan plat tersebut !

Penyelesaian :

Diketahui :

$$A = 0,02 \text{ m}^2$$

$$T = 1.000 \text{ K}$$

$$e = 0,6$$

$$\sigma = 5,672 \times 10^{-8} \text{ W/mK}^4$$

Jawab :

$$P = A e \sigma T^4$$

$$= 0,02 \times 0,6 \times (5,672 \times 10^{-8}) \times (1.000)^4$$

$$= 6.804 \text{ W}$$

Jadi, laju radiasi yang dipancarkan plat sebesar 6.804 W .

Terima Kasih