



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN ANAK USIA DINI,
PENDIDIKAN DASAR DAN PENDIDIKAN MENENGAH
DIREKTORAT SEKOLAH MENENGAH ATAS
2020



Modul Pembelajaran SMA

FISIKA



KELAS
XI



THERMODINAMIKA

FISIKA KELAS XI

PENYUSUN
SUDIRO
SMA Negeri 83 Jakarta

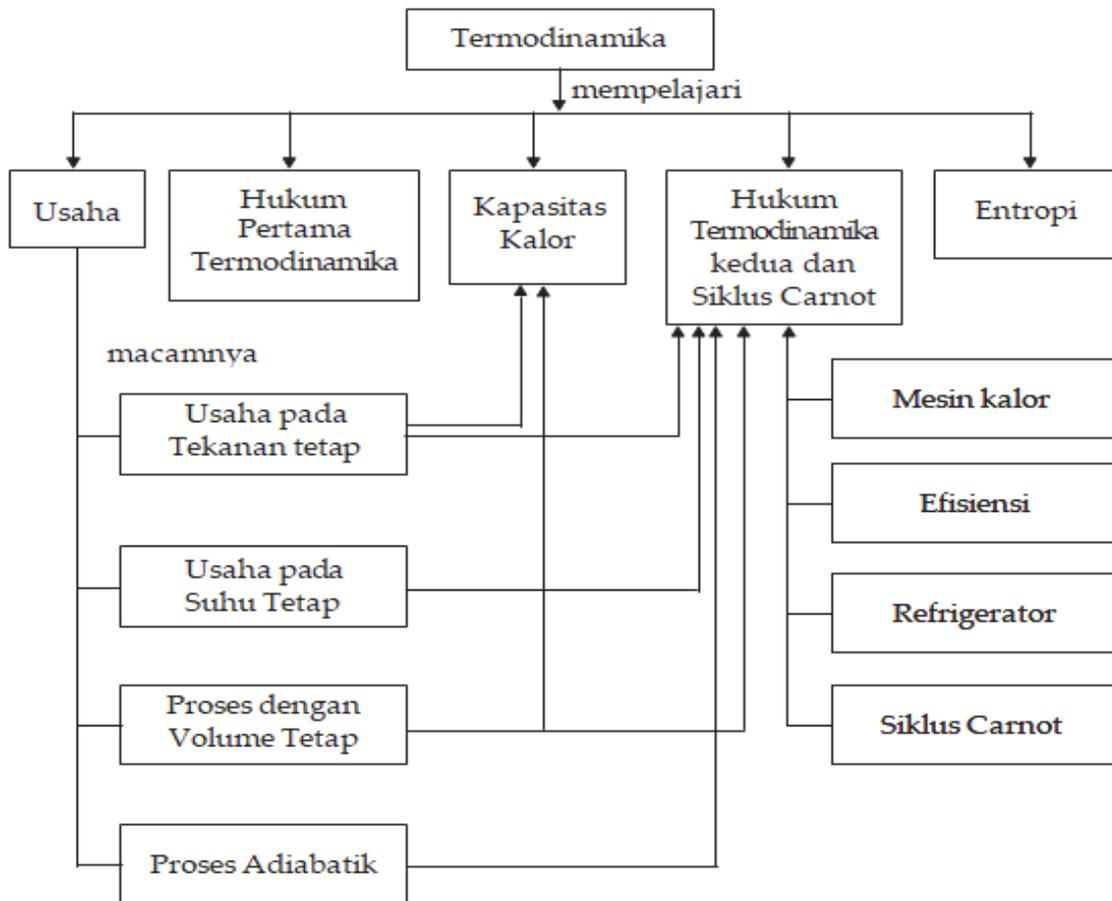
DAFTAR ISI

PENYUSUN	2
DAFTAR ISI	3
GLOSARIUM	4
PETA KONSEP	2
PENDAHULUAN	3
A. Identitas Modul	3
B. Kompetensi Dasar	3
C. Deskripsi Singkat Materi	3
D. Petunjuk Penggunaan Modul	3
E. Materi Pembelajaran	4
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1	5
USAHA, HUKUM PERTAMA TERMODINAMIKA DAN KAPASITAS PANAS	5
A. Tujuan Pembelajaran	5
B. Uraian Materi	5
C. Rangkuman	12
D. Penugasan Mandiri	15
E. Latihan Soal	15
F. Penilaian Diri	17
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2	18
HUKUM TERMODINAMIKA KEDUA, SIKLUS CARNOT DAN ENTROPI	18
A. Tujuan Pembelajaran	18
B. Uraian Materi	18
C. Rangkuman	24
D. Penugasan Mandiri	25
E. Latihan Soal	25
F. Penilaian Diri	28
EVALUASI	29
DAFTAR PUSTAKA	34

GLOSARIUM

Isokhorik	: Suatu proses perubahan keadaan gas di mana tidak ada perubahan volume (volume konstan)
Isothermal	: Suatu proses perubahan keadaan gas di mana tidak ada perubahan suhu (suhu konstan)
Isobarik	: Suatu proses perubahan keadaan gas di mana tidak ada perubahan volume (tekanan konstan)
Adiabatik	: Suatu proses perubahan keadaan gas tanpa ada tenaga yang masuk atau yang keluar sistem
Energi	: Kemampuan untuk melakukan usaha
Energi dalam	: Jumlah energi (energi kinetik translasi, rotasi dan vibrasi serta energi potensial listrik) yang dimiliki oleh seluruh molekul gas dalam wadah tertentu.
Kapasitas Kalor	: Kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu zat sebesar 1 kelvin.
Termodinamika	: cabang ilmu fisika yang mempelajari hukum-hukum dasar dan membahas konversi energi termal menjadi usaha yang bermanfaat

PETA KONSEP



PENDAHULUAN

A. Identitas Modul

Mata Pelajaran	: Fisika
Kelas	: XI
Alokasi Waktu	: 12 JP
Judul Modul	: Termodinamika

B. Kompetensi Dasar

- 3.7 Menganalisis perubahan keadaan gas ideal dengan menerapkan Hukum Termodinamika
- 4.7 Membuat karya/model penerapan Hukum I dan II Termodinamika dan makna fisisnya

C. Deskripsi Singkat Materi

Apa kabar peserta didik Indonesia yang hebat, selamat bertemu kembali dalam Modul Pembelajaran kali ini. Semoga kalian selalu sehat, tetap semangat, dan tidak mudah menyerah dalam menghadapi segala kesulitan. Percayaah bahwa kesulitan yang kalian hadapi akan semakin memperkuat diri kalian untuk menjadi generasi hebat dan unggul dalam segala hal.

Tahukah kalian bahwa belajar Fisika merupakan salah satu pembiasaan agar kalian bisa menyelesaikan permasalahan-permasalahan makro dan mikro. Betapa hebatnya Pelajaran Fisika ini. Karena dengan ilmu Fisika banyak misteri baru terungkap yang selama ini seolah-olah menjadi rahasia Sang Pencipta. Itulah sebabnya kita sebagai makhluk harus tetap tunduk pada aturan sang pencipta.

Pada modul Fisika kali ini akan diungkap hal-hal yang berhubungan dengan Termodinamika yang mencakup : usaha, hukum-hukum termodinamika, kapasitas kalor, entropi, proses pada mesin kalor. Sebelum mempelajari modul kali ini ada pra syarat yaitu Anda harus sudah memahami dan menguasai modul sebelumnya tentang Teori Kinetik Gas.

Banyak sekali manfaat yang diperoleh dari pelajaran atau materi tentang Termodinamika dalam kehidupan sehari-hari, dari lokomotif ketel uap sampai alat pendingin. Itulah sebabnya bahwa materi Termodinamika menjadi bagian yang penting untuk dipelajari dan dibuatkan Modul pembelajaran.

D. Petunjuk Penggunaan Modul

Agar kalian bisa memahami modul ini secara tuntas, maka bacalah modul ini secara runut dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Baca Glosarium pada modul supaya paham kata kunci dan istilah-istilah yang akan digunakan dalam modul.
2. Pelajari dan pahami peta materi yang disajikan dalam setiap modul untuk memberikan gambaran awal apa yang akan dipelajari.
3. Pelajari dan pahami tujuan yang tercantum dalam setiap kegiatan pembelajaran.

4. Pelajari uraian materi secara sistematis dan mendalam dalam setiap kegiatan pembelajaran, diulangi lagi membacanya sampai benar-benar paham.
5. Untuk mengingat kembali materi secara ringkas maka baca rangkuman sebelum mengerjakan Uji Kompetensi.
6. Lakukan uji kompetensi di setiap akhir kegiatan pembelajaran untuk mengetahui tingkat penguasaan materi.
7. Lakukan Penilaian diri sendiri tentang penguasaan materi modul dengan jujur
8. Jika sudah paham lanjutkan pertemuan berikutnya.
9. Kerjakan soal-soal evaluasi untuk mengukur ketuntasan belajar menggunakan modul ini.

E. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi 2 kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi Kegiatan Pertama dilakukan 8 jam pelajaran dan Kegiatan Kedua 4 Jam Pelajaran.

Pertama : Usaha, Hukum Pertama Termodinamika, dan Kapasitas Kalor

Kedua : Hukum Termodinamika Kedua, siklus Carnot dan Entropi

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

USAHA, HUKUM PERTAMA TERMODINAMIKA DAN KAPASITAS PANAS

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini Anda diharapkan dapat :

1. Memahami pengertian Usaha oleh sistem.
2. Menganalisis usaha tekanan tetap
3. Menganalisis usaha pada suhu tetap
4. Menganalisis usaha pada Volume tetap
5. Menganalisis proses adiabatik
6. Menganalisis Hukum Pertama Termodinamika
7. Menganalisis kapasitas kalor

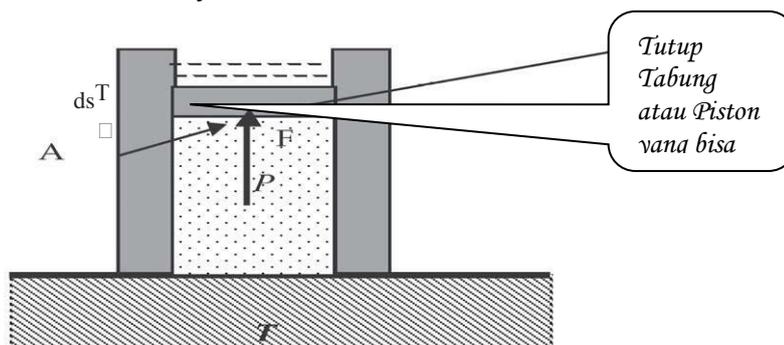
B. Uraian Materi

Termodinamika adalah cabang fisika yang mempelajari hukum-hukum dasar dan membahas konversi energi termal menjadi usaha yang bermanfaat. Dalam termodinamika, kumpulan benda-benda yang diperhatikan disebut sistem, sedangkan semua yang ada disekitar sistem disebut lingkungan.

Usaha

Kita sudah mempelajari tentang usaha pada semester lalu. Apabila melakukan usaha pada suatu sistem, maka kita memindahkan tenaga kita ke sistem. Sekarang kita akan membahas usaha pada gas.

Perhatikan Gambar (1) sebuah tabung yang terpasang dengan rapat, tutup tabung bisa digeser, kita asumsikan tidak ada gesekan. Tabung berisi gas. Bila tutup tabung kita gerakkan maka volume akan berubah, tekanan atau suhu, atau keduanya akan berubah, sesuai dengan persamaan keadaan gas. Begitu juga dengan gambar tabung di atas. Jika diberi kalor dari bawah maka suhunya berubah.



Gambar 1 Sebuah tabung yang diisi gas. Luas piston atau penghisap adalah A . Piston dapat bergeser sebesar ds . ds bisa ke atas atau ke bawah. Tekanan dalam tabung dapat menggerakkan piston

Apabila diatur suhunya dengan cara dipanasi, maka tekanan semakin tinggi dan gas akan mengembang secara perlahan serta memberikan tekanan pada tutup tabung. Gaya yang diberikan gas pada tutup tabung adalah PA , dengan A adalah luas tutup. Jika tutup bergeser sejauh ds maka usaha yang dilakukan gas pada tutup yaitu dW adalah:

$$dW = Fds = PAdx = PdV$$

Dari persamaan gas kita tahu perubahan P akan diikuti V atau T atau keduanya. Demikian juga perubahan V akan diikuti perubahan T , V atau keduanya. Kita bisa mengatur agar salah satu dari besaran V , P atau T konstan. Kita bisa mengetahui keadaan gas dengan mengetahui dua besaran. Misalkan kedua besaran itu adalah P dan V , maka kita dapat menyatakan keadaan gas dengan diagram P berbanding V . Tiap titik pada diagram menyatakan keadaan tertentu dari gas.

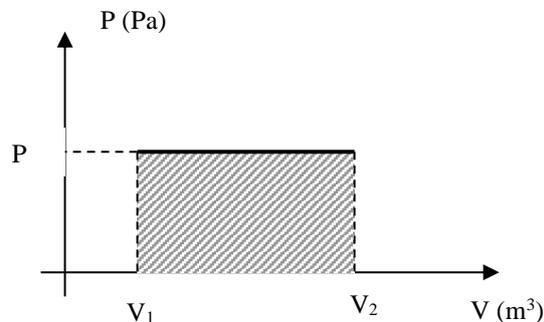
Bila proses terjadi pada tekanan tetap kita bisa mencari usaha yang dilakukan gas menggunakan Persamaan (1), bila proses terjadi tidak pada tekanan konstan maka usaha adalah luasan daerah di bawah diagram PV .

Proses Termodinamika

Gas yang berada dalam ruang tertutup dapat diubah keadaannya dengan melalui beberapa proses, yang disebut proses termodinamika, yaitu :

1. Proses Isobarik

Yaitu proses yang berlangsung pada tekanan tetap (tekanan sama). Grafik tekanan gas (P) terhadap volume (V) adalah sebagai berikut :



Dari grafik di atas pada tekanan yang sama ($P_1 = P_2$), volume gas berubah dari V_1 menjadi V_2 . Usaha yang dilakukan gas pada proses isobar adalah :

$$W = P \cdot \Delta V = P \cdot (V_2 - V_1)$$

$$W = n \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$$

$$W = \text{luas daerah yang diarsir}$$

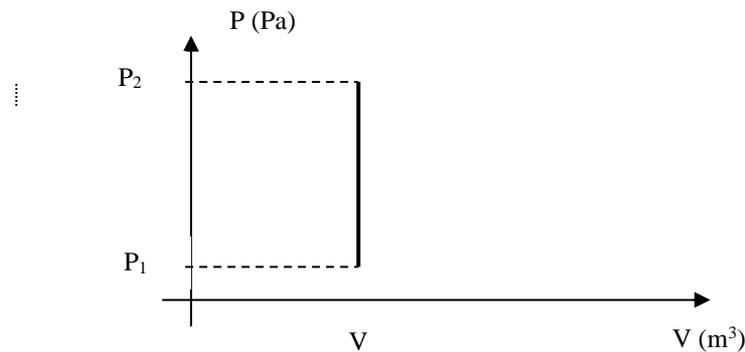
Karena tekanan sama dan suhu berubah dari T_1 menjadi T_2 , maka berlaku hukum Charles :

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

- W = usaha gas (J)
- P = tekanan gas (Pa)
- V_1 = volume gas mula-mula (m^3)
- V_2 = volume gas akhir (m^3)
- T_1 = suhu gas mula-mula (K)
- T_2 = volume gas akhir (K)

2. Proses Isovolum (isokhorik)

Yaitu proses yang berlangsung pada volume tetap (volume sama). Grafik tekanan gas (P) terhadap volume (V) adalah sebagai berikut :



Dari grafik di atas pada volume yang sama ($V_1 = V_2$), tekanan gas berubah dari P_1 menjadi P_2 . Usaha yang dilakukan gas pada proses isovolum adalah sama dengan nol.

$$W = P \cdot \Delta V = P \cdot (V_2 - V_1) = 0$$

Karena tekanan sama dan suhu berubah dari T_1 menjadi T_2 , maka berlaku hukum Gay-Lussac :

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

P_1 = tekanan gas mula-mula (m^3)

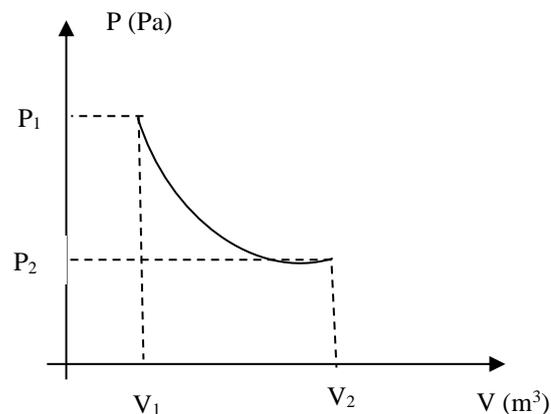
P_2 = tekanan gas akhir (m^3)

T_1 = suhu gas mula-mula (K)

T_2 = volume gas akhir (K)

3. Proses Isotermik

Yaitu proses yang berlangsung pada suhu tetap (suhu sama). Grafik tekanan gas (P) terhadap volume (V) adalah sebagai berikut :



Dari grafik di atas pada suhu yang sama ($T_1 = T_2$), volume gas berubah dari V_1 menjadi V_2 dan tekanannya berubah dari P_1 menjadi P_2 . Usaha yang dilakukan gas pada proses isothermal adalah :

$$W = nRT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

$n = \text{mol}$

$R = \text{tetapan gas umum } R = 8314 \text{ J/kmol}^\circ\text{K}$
 $= 8,314 \text{ J/mol}^\circ\text{K} = 0,082 \text{ liter.atm/mol}^\circ\text{K}$

$T = \text{suhu gas (K)}$

Sesuai dengan persamaan gas umum bahwa nilai :

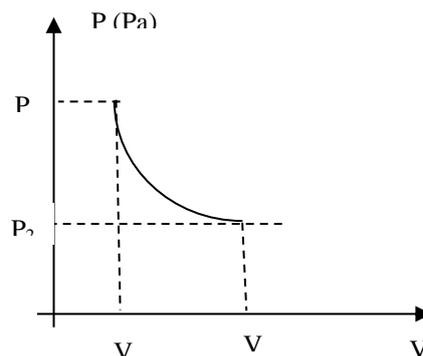
$$n.R.T = P.V$$

Karena tekanan sama dan suhu berubah dari T_1 menjadi T_2 , maka berlaku hukum Boyle :

$$P_1.V_1 = P_2.V_2$$

4. Proses Adiabatik

Yaitu proses perubahan keadaan gas dimana tidak ada kalor yang masuk maupun kalor yang keluar dari sistem ($Q = 0$). Grafik tekanan gas (P) terhadap volume (V) adalah sebagai berikut :



Dari grafik di atas pada suhu yang sama ($T_1 = T_2$), volume gas berubah dari V_1 menjadi V_2 dan tekanannya berubah dari P_1 menjadi P_2 . Usaha yang dilakukan gas pada proses isothermal adalah :

$$W = \frac{3}{2} n.R.(T_1 - T_2)$$

atau

$$W = \frac{1}{\gamma - 1} (P_1 V_1 - P_2 V_2)$$

Karena tekanan sama dan suhu berubah dari T_1 menjadi T_2 , maka berlaku hukum Poisson :

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

atau

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

$\gamma = \text{tetapan laplace.}$

Contoh Soal :

1. 4 liter gas ideal pada tekanan 2 atm dipanaskan sehingga volumenya mengembang dengan tekanan konstan sampai mencapai 6 l. Berapa usaha yang dilakukan oleh gas?

Penyelesaian :

Diketahui :

$$V = 4 \text{ l}, \quad P_1 = 2 \text{ atm}, \quad V_2 = 6 \text{ l}$$

Jawab :

Usaha pada tekanan konstan

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

$$W = 2 \cdot (6 - 4)$$

$$W = 4 \text{ atm} \cdot \text{l}$$

Usaha untuk
Tekanan Tetap
 $W = P \cdot \Delta V$

2. Sebuah sistem terdiri atas 4 kg air pada suhu 73 °C, 30 kJ usaha dilakukan pada sistem dengan cara mengaduk, dan 10 kkal panas dibuang.
(a) Berapakah perubahan tenaga internal sistem? (b) Berapa temperatur akhir sistem?

Penyelesaian :

Diketahui :

$$m = 4 \text{ kg}, \quad T_1 = 73^\circ \text{ C} = 273 + 73 = 346 \text{ K}$$

Jawab :

Usaha yang dilakukan $W = -30 \text{ kJ}$, kalor yang keluar

$$Q = -10 \text{ kkal}$$

$$= -10 \cdot 4,2 \text{ kJ} = -42,0 \text{ kJ}.$$

Tenaga internal sistem adalah :

$$\Delta U = Q - W = -42,0 \text{ kJ} + 30 \text{ kJ} = -12 \text{ kJ}$$

$$Q = mc\Delta T$$

Karena Q bernilai negatif maka suhu menjadi turun.

$$\Delta T = 11,8 \text{ kJ} / ((4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C})(1,5))$$

$$= 1,88^\circ$$

Jadi, suhu akhir sistem adalah $73 - 1,88 = 71,12^\circ \text{ C}$

1 kal = 4,2 joule

Kalian masih ingat tentang kalor yang diperlukan untuk mengubah suhu sistem bukan?
 $Q = mc\Delta T$

Hukum Pertama Termodinamika

Hukum pertama termodinamika sebenarnya adalah kekekalan tenaga yang menghubungkan antara usaha yang dilakukan pada sistem, panas yang ditambahkan atau dikurangkan, dan tenaga dalam sistem.

Hukum pertama termodinamika menyatakan:

Panas yang ditambahkan pada suatu sistem sama dengan perubahan energi internal sistem ditambah usaha yang dilakukan oleh sistem.

Jika usaha dilakukan oleh sistem pada lingkungan misalkan gas mengembang sehingga volume tabung membesar maka usaha W bertanda positif (+). Jika usaha dilakukan pada sistem, misalkan volume mengecil maka dilakukan usaha pada sistem atau W bertanda negatif (-). Jika positif artinya panas diberikan kepada sistem, Q bertanda negatif jika panas keluar dari sistem.

Kita telah mempelajari berbagai proses dan usaha tiap proses. Untuk proses isobarik usaha yang dilakukan gas adalah $W = P\Delta V$ maka hukum termodinamika pertama menjadi:

Pada proses isothermik usaha yang dilakukan gas adalah $W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$, karena suhu

konstan maka energi dalam

sistem juga konstan atau $\Delta U = 0$. Hukum termodinamika pertama menjadi:

$$Q = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Pada proses isokhorik, usaha yang dilakukan gas adalah nol, maka $Q = \Delta U$. Dengan demikian semua kalor yang masuk digunakan untuk menaikkan tenaga dalam sistem.

Kapasitas Kalor Gas

Kapasitas kalor merupakan kemampuan gas untuk menyerap atau melepas kalor tiap satuan suhu. Jadi kapasitas kalor adalah jumlah kalor yang diperlukan (Q) untuk menaikkan suhu gas (ΔT) sebesar 1 Kelvin.

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

C = kapasitas kalor (J/K)

Q = kalor (J)

ΔT = perubahan suhu (K)

Kapasitas kalor gas monoatomik

1. Kapasitas Kalor pada volum tetap (C_v)

Pada volume tetap $\Delta V = 0$ atau $W = 0$, sehingga $Q = \frac{3}{2}nR\Delta T$

Jadi :

$$C_v = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{3}{2}nR$$

2. Kapasitas Kalor pada tekanan tetap (C_p)

Pada tekanan tetap $W = P.\Delta V = n.R.\Delta T$ dan $\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$, sehingga :

$$Q = \Delta U + W$$

$$Q = \frac{3}{2}nR\Delta T + nR\Delta T$$

$$Q = \frac{5}{2}nR\Delta T$$

$$C_p = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{5}{2}nR$$

Hubungan antara C_v dan C_p adalah :

$$C_p - C_v = n.R$$

dan

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

C_p = kapasitas kalor pada tekanan tetap (J/K)

C_v = kapasitas kalor pada volume tetap (J/K)

γ = tetapan Laplace

Kapasitas kalor gas diatomik

Kapasitas kalor untuk gas diatomik dan poliatomik tergantung pada derajat kebebasan.

- pada suhu rendah ($\pm 250^\circ\text{C}$)

$$C_v = \frac{3}{2}nR \quad \text{dan} \quad C_p = \frac{5}{2}nR$$

- pada suhu sedang ($\pm 500^\circ\text{C}$)

$$C_v = \frac{5}{2}nR \quad \text{dan} \quad C_p = \frac{7}{2}nR$$

- pada suhu rendah ($\pm 1000^\circ\text{C}$)

$$C_v = \frac{7}{2}nR \quad \text{dan} \quad C_p = \frac{9}{2}nR$$

Oleh karena itu, tetapan Laplace untuk gas monoatomik dan diatomik adalah :

- untuk gas monoatomik

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3} = 1,67$$

- untuk gas diatomik

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5} = 1,4$$

C. Rangkuman

1. Termodinamika adalah cabang fisika yang mempelajari hukum-hukum dasar dan membahas konversi energi termal menjadi usaha yang bermanfaat.
2. Kumpulan benda-benda yang diperhatikan disebut sistem, sedangkan semua yang ada disekitar sistem disebut lingkungan.
3. Gas yang berada dalam ruang tertutup dapat diubah keadaanya dengan melalui beberapa proses, yang disebut proses termodinamika.
4. Proses Isobarik

Yaitu proses yang berlangsung pada tekanan tetap .
Usaha yang dilakukan gas pada proses isobar adalah :

$$\begin{aligned} W &= P \cdot \Delta V = P \cdot (V_2 - V_1) \\ W &= n \cdot R \cdot (T_2 - T_1) \\ W &= \text{luas daerah yang diarsir} \end{aligned}$$

dan berlaku :

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

5. Proses Isovolum (isokhorik)

Yaitu proses yang berlangsung pada volume tetap
Usaha yang dilakukan gas pada proses isovolum adalah sama dengan nol.

$$W = P \cdot \Delta V = P \cdot (V_2 - V_1) = 0$$

Dan berlaku

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

6. Proses Isothermal

Yaitu proses yang berlangsung pada suhu tetap
Usaha yang dilakukan gas pada proses isothermal adalah :

$$W = n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Dan berlaku

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

7. Proses Adiabatik

Yaitu proses perubahan keadaan gas dimana tidak ada kalor yang masuk maupun kalor yang keluar dari sistem ($Q = 0$). Usaha yang dilakukan gas monoatomik pada proses isothermal adalah :

$$W = \frac{3}{2} n.R.(T_1-T_2)$$

atau

$$W = \frac{1}{\gamma-1} (P_1V_1 - P_2V_2)$$

dan berlaku :

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

atau

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

γ = tetapan laplace.

8. Hukum Pertama Termodinamika

Pada proses isotermik usaha yang dilakukan gas adalah $W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$, karena $\Delta U = 0$, maka $Q = W$. Pada proses isokhorik, usaha yang dilakukan gas adalah nol, maka $Q = \Delta U$. Dengan demikian semua kalor yang masuk digunakan untuk menaikkan tenaga dalam sistem. Pada proses adiabatik tidak terjadi pertukaran kalor ($Q = 0$), maka $\Delta U = -W$

9. Kapasitas kalor merupakan kemampuan gas untuk menyerap atau melepas kalor tiap satuan suhu. Jadi kapasitas kalor adalah jumlah kalor yang diperlukan (Q) untuk menaikkan suhu gas (ΔT) sebesar 1 Kelvin.

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

10. Tetapan Laplace untuk gas monoatomik dan diatomik adalah :

- untuk gas monoatomik

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3} = 1,67$$

- Untuk gas diatomik

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5} = 1,4$$

Contoh Soal

1. Sebanyak 4 liter gas ideal pada tekanan 2 atm dipanaskan sehingga volumenya mengembang dengan tekanan konstan sampai mencapai 6 l. Berapa usaha yang dilakukan oleh gas?

Penyelesaian :

Diketahui :

$$V = 4 \text{ l}, \quad P_1 = 2 \text{ atm}, \quad V_2 = 6 \text{ l}$$

Jawab :

Usaha pada tekanan konstan

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

$$W = 2 \cdot (6-4)$$

$$W = 4 \text{ atm.l}$$

Usaha untuk
Tekanan Tetap
 $W = P \cdot \Delta V$

2. Sebuah sistem terdiri atas 4 kg air pada suhu 73 °C, 30 kJ usaha dilakukan pada sistem dengan cara mengaduk, dan 10 kkal panas dibuang. (a) Berapakah perubahan tenaga internal sistem? (b) Berapa temperatur akhir sistem?

Penyelesaian :

Diketahui :

$$m = 4 \text{ kg}, \quad T_1 = 73^\circ \text{ C} = 273 + 73 = 346 \text{ K}$$

Jawab :

Usaha yang dilakukan $W = -30 \text{ kJ}$, kalor yang keluar

$$Q = -10 \text{ kkal}$$

$$= -10 \cdot 4,18 \text{ kJ} = -41,8 \text{ kJ}.$$

Tenaga internal sistem adalah :

$$\Delta U = Q - W = -41,8 \text{ kJ} + 30 \text{ kJ} = -11,8 \text{ kJ}$$

$$Q = mc\Delta T$$

Karena Q bernilai negatif maka suhu menjadi turun.

$$\Delta T = 11,8 \text{ kJ} / ((4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C})(1,5))$$

$$= 1,88^\circ$$

Jadi, suhu akhir sistem adalah $73 - 1,88 = 71,12^\circ \text{ C}$

1 kal = 4,18 J

Kalian masih ingat tentang kalor yang diperlukan untuk mengubah suhu sistem bukan? $Q = mc\Delta T$

D. Penugasan Mandiri

Setelah mempelajari hukum pertama termodinamika, Anda tidak boleh puas sebelum mengetahui penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Coba perhatikan gambar berikut !



Gambar 2. Thermos yang dapat menyimpan air panas

Dirumah Anda pasti ada termos atau alat untuk menyimpan air panas. Jika termos diisi air panas dan tidak dibuka maka air didalam termos akan tetap panas untuk beberapa hari. Jelaskan konsep ini dengan menggunakan Hukum Pertama Termodinamika .

E. Latihan Soal

1. Sebuah tabung tertutup yang volumenya 600 liter berisi gas bertekanan 6 atm. Hitung usaha yang dilakukan oleh gas jika pada tekanan tetap gas memampat sehingga volumenya menjadi $\frac{1}{2}$ kali semula !
2. Suatu gas memiliki volume awal $2,0 \text{ m}^3$ dipanaskan dengan kondisi isobaris hingga volume akhirnya menjadi $4,5 \text{ m}^3$. Jika tekanan gas adalah 2 atm, tentukan usaha luar gas tersebut! ($1 \text{ atm} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$)
3. Sebanyak $1,5 \text{ m}^3$ gas helium yang bersuhu 27°C dipanaskan secara isobarik sampai 87°C . Jika tekanan gas helium $2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, gas helium melakukan usaha luar sebesar....
4. Sebanyak $2000/693$ mol gas helium pada suhu tetap 27°C mengalami perubahan volume dari 2,5 liter menjadi 5 liter. Jika $R = 8,314 \text{ J/mol K}$ dan $\ln 2 = 0,693$ tentukan usaha yang dilakukan gas helium!

Pembahasan Soal Latihan :

1. Penyelesaian :

Data

$$P = 6 \text{ atm} = 6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$V_1 = 600 \text{ liter} = 600 \cdot 10^{-3} = 0,6 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 300 \text{ liter} = 0,3 \text{ m}^3$$

Pada proses isobar,

$$W = P \cdot (V_2 - V_1)$$

$$W = 6 \cdot 10^5 \cdot (0,3 - 0,6) = -180.000 \text{ J} = -180 \text{ kJ}$$

2. Penyelesaian :

Data :

$$V_2 = 4,5 \text{ m}^3 \quad V_1 = 2,0 \text{ m}^3$$

$$P = 2 \text{ atm} = 2,02 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Isobaris → Tekanan Tetap

$$W = P (\Delta V)$$

$$W = P(V_2 - V_1)$$

$$W = 2,02 \times 10^5 (4,5 - 2,0) = 5,05 \times 10^5 \text{ joule}$$

3. Penyelesaian :

Data :

$$V_1 = 1,5 \text{ m}^3$$

$$T_1 = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K} \quad T_2 = 87^\circ\text{C} = 360 \text{ K} \quad P = 2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$W = P\Delta V$$

Mencari V_2 :

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

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

$$V_2 = \frac{1,5}{100} \times 360$$

$$V_2 = 1,8 \text{ m}^3$$

$$W = P\Delta V = 2 \times 10^5 (1,8 - 1,5) = 0,6 \times 10^5 = 60 \times 10^3 = 60 \text{ kJ}$$

4. Penyelesaian :

Data :

$$n = \frac{2000}{693} \text{ mol}$$

$$V_2 = 5 \text{ L}, \quad V_1 = 2,5 \text{ L}$$

$$T = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$$

Usaha yang dilakukan gas :

$$W = nRT \ln (V_2 / V_1)$$

$$W = \left(\frac{2000}{693} \text{ mol}\right) (8,314 \text{ J/mol K})(300 \text{ K}) \ln \left(\frac{5 \text{ L}}{2,5 \text{ L}}\right)$$

$$W = \left(\frac{2000}{693}\right) (8,314) (300) (0,693) = 4988,4 \text{ joule}$$

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan jujur, sesuai dengan kemampuan kalian. Cara menjawabnya adalah dengan memberikan centang (√) di kolom yang disediakan.

No	Pertanyaan	Ya	Tidak	Keterangan
1	Saya mampu memahami pengertian usaha oleh Sistem			
2	Saya mampu menjelaskan pengertian usaha pada tekanan tetap			
3	Saya mampu menjelaskan pengertian usaha pada suhu tetap			
4	Saya mampu menjelaskan pengertian usaha pada volume tetap			
5	Saya mampu menganalisis proses adiabatic			
6	Saya mampu menganalisis Hukum Pertama Termodinamika			
7	Saya mampu menganalisis kapasitas kalor			

Keterangan:

Apabila kalian menjawab pernyataan jawaban Ya, berarti telah memahami dan menerapkan semua materi. Bagi yang menjawab tidak silahkan mengulang materi yang terkait.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

HUKUM TERMODINAMIKA KEDUA, SIKLUS CARNOT DAN ENTROPI

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 2 ini diharapkan

1. Memahami hukum kedua Termodinamika
2. Menganalisis siklus Termodinamika
3. Menganalisis prinsip kerja mesin kalor
4. Menganalisis prinsip kerja mesin pemanas
5. Menganalisis prinsip kerja mesin pendingin
6. Menganalisis siklus mesin Carnot
7. Menganalisis entropi pada siklus reversible.

B. Uraian Materi

Hukum Termodinamika Kedua

Hukum II termodinamika membatasi perubahan energi yang dapat terjadi dan yang tidak dapat terjadi. Hukum II termodinamika dapat dinyatakan dalam berbagai cara :

1. Pendapat Kelvin-Plank

Kalor tidak mungkin diubah seluruhnya menjadi usaha.

2. Pendapat Clausius (pernyataan mesin kalor)

Tidak mungkin membuat mesin yang bekerja dalam suatu siklus mengambil kalor dari reservoir suhu rendah dan memberikan pada reservoir suhu tinggi tanpa memerlukan usaha dari luar.

3. Pernyataan aliran kalor

Kalor mengalir secara spontan dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah dan tidak mengalir secara spontan dalam arah kebalikannya.

4. Pernyataan entropi

Total entropi semesta tidak berubah ketika proses reversibel terjadi dan bertambah ketika proses irreversibel terjadi.

Mesin Kalor

Mesin kalor adalah suatu alat yang mengubah tenaga panas menjadi tenaga mekanik. Misalnya dalam mobil energi panas hasil pembakaran bahan bakar diubah menjadi energi gerak mobil. Kalian tahu ada gas yang dibuang dari knalpot mobil disertai panas. Tidak semua energi panas dapat diubah menjadi energi mekanik, ada energi yang timbul selain energi mekanik. Contoh lain adalah mesin pembangkit tenaga listrik tenaga panas bumi yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap. Uap dialirkan melalui sebuah turbin sehingga turbin bergerak dan memutar generator sehingga timbul tenaga listrik. Secara sistematis usaha mesin kalor adalah usaha yang dilakukan empat tahap secara siklus

SIKLUS TERMODINAMIKA

Siklus Carnot

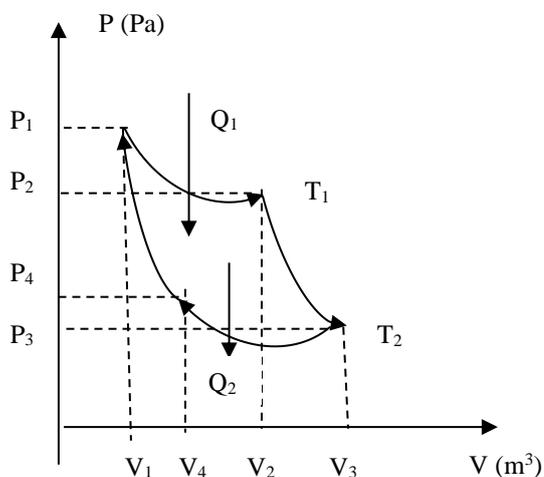
Siklus Carnot adalah proses dimana gas yang melakukan proses dapat dikembalikan ke keadaan semula (bersifat reversibel) tanpa kehilangan energi, sehingga gas dapat melakukan usaha kembali.

Mesin Carnot

Tidak ada mesin yang bekerja di antara dua tandon panas yang tersedia yang dapat lebih efisien daripada mesin reversible yang bekerja di antara kedua tandon tersebut

Siklus carnot disebut siklus ideal yang terdiri dari dua proses, yaitu :

1. proses isotermik, yang terdiri dari proses pemuaian isotermis dan pemampatan isotermik
2. proses adiabatik, yang terdiri dari proses pemuaian adiabatik dan pemampatan adiabatik.



Jika kita lihat siklus carnot terdiri dari 4 proses lengkap sebagai berikut :

1. Proses pemuaian isothermal
Gas yang mula-mula tekanannya P_1 , volumenya V_1 melakukan proses pemuaian isothermal pada suhu T_1 sehingga tekanannya menjadi turun menjadi P_2 dan volumenya naik menjadi V_2 . Pada proses ini sistem menyerap kalor Q_1 dari reservoir suhu tinggi T_1 dan melakukan usaha W_1 .
2. Proses pemuaian adiabatik
Gas yang tekanannya P_2 volumenya V_2 dan suhunya T_1 melakukan proses pemuaian adiabatik sehingga tekannya turun menjadi P_3 , volumenya naik menjadi V_3 dan suhunya turun menjadi T_2 sambil melakukan usaha W_2 .
3. Proses pemampatan isotermik
Gas yang tekanannya P_3 volumenya V_3 melakukan proses pemampatan isotermis pada suhu T_2 , sehingga tekanannya naik menjadi P_4 , volumenya turun menjadi V_4 . Pada proses ini sistem menerima usaha W_3 dan melepas kalor Q_2 ke reservoir bersuhu rendah T_2 .
4. Proses pemampatan adiabatik
Gas yang tekanannya P_4 volumenya V_4 m dan suhunya T_2 mengalami proses pemampatan adiabatik, sehingga tekanannya kembali menjadi P_1 , volumenya kembali menjadi V_1 dan suhunya menjadi T_1 akibat dari sistem yang menerima usaha W_4 .

Siklus Carnot merupakan dasar dari mesin ideal, yaitu mesin yang efisiensi tertinggi yang disebut dengan mesin Carnot.

Usaha yang dilakukan oleh mesin Carnot adalah :

$$W = Q_1 - Q_2 \quad \text{Karena} \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}, \text{ maka :}$$

$$W = Q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$$

W = usaha mesin Carnot (J)

Q_1 = kalor yang diserap dari reservoir suhu T_1

Q_2 = kalor yang dibuang pada reservoir suhu T_2

T_1 = suhu tinggi (K)

T_2 = suhu rendah (K)

Dalam prakteknya dikenal mesin kalor seperti motor bakar, diesel dan mesin uap. Pada siklus Otto terdiri dari proses adiabatik dan isokhorik, sedangkan pada siklus diesel terdiri dari 3 proses, yaitu proses adiabatik, isobarik dan isokhorik.

Efisiensi mesin Carnot adalah :

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \times 100\% = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

atau

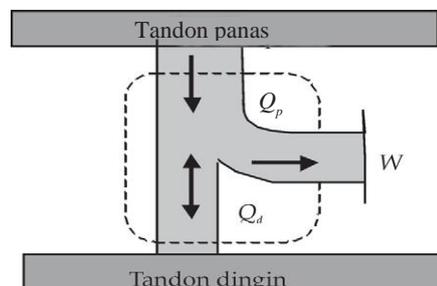
$$\eta = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \times 100\%$$

Mesin Pendingin(Refrigerator)

Refrigerator adalah mesin panas yang kerjanya berlawanan dengan sistem panas .Pada refrigerator usaha diberikan pada mesin untuk menyerap panas dari tandon dingin dan memberikan pada tandon panas. Mesin pendingin merupakan perlatan yang bekerja berdasarkan aliran kalor dari benda dingin ke benda panas dengan melakukan usaha pada sistem.

Contoh mesin pendingin : lemari es (kulkas) dan pendingin ruangan (AC).

Skema kerja mesin pendingin atau refrigertor ditunjukkan pada Gambar berikut . Kita mengusahakan sebanyak mungkin kalor Q_d yang dipindahkan dengan melakukan kerja sekecil mungkin.



Gambar 4 :Prinsip kerja refrigerator untuk menyerap panas dari tandon dngin diperlukan usaha dari luar

Hukum termodinamika kedua untuk mesin pendingin

Sebuah refrigerator tidak mungkin bekerja secara siklis tanpa menghasilkan efek lain di luar serapan panas dari benda dingin ke benda panas.

Mesin pendingin mempunyai *koefisien daya guna (koefisien performansi)* yang besarnya :

$$K_p = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

K_p = koefisien performansi mesin pendingin

Q_2 = kalor yang diserap dari reservoir suhu T_2

Q_1 = kalor yang diberikan pada reservoir suhu T_1

W = usaha yang diperlukan (J)

T_1 = suhu tinggi (K)

T_2 = suhu rendah (K)

Hukum kedua termodinamika menyatakan adanya proses ireversibel atau tidak dapat balik. Proses reversibel sebenarnya menunjukkan adanya tenaga mekanis yang hilang. Semua proses reversibel menuju ke ketidakteraturan. Misalkan sebuah kotak berisi gas kemudian kotak menumbuk dinding secara tidak elastis. Gerak gas dalam kotak menjadi tidak teratur, sehingga suhu gas naik. Gas menjadi kurang teratur dan kehilangan kemampuan untuk melakukan usaha.

Besaran yang menunjukkan ukuran ketidakteraturan adalah entropi S . Entropi merupakan suatu fungsi yang tergantung pada keadaan sistem. Entropi suatu sistem berubah dari satu keadaan ke keadaan yang lain dengan definisi:

$$\Delta S = \int \frac{dQ_{rev}}{T}$$

dQ_{rev} adalah panas yang harus ditambahkan pada sistem dalam suatu proses reversibel untuk membawa dari keadaan awal ke keadaan akhirnya, dQ_{rev} bernilai positif (+) jika panas ditambahkan pada sistem dan bernilai negatif (-) jika panas diambil dari sistem.

Mari kita melihat entropi sistem pada berbagai keadaan. Mari kita tinjau zat yang dipanaskan pada tekanan tetap dari temperatur T_1 menjadi temperatur T_2 . Untuk menaikkan suhunya panas yang diserap adalah dQ . Kaitan antara dQ dengan perubahan suhunya adalah:

$$dQ = C_p dt$$

Hantaran panas antara dua sistem yang memiliki beda temperatur tertentu bersifat tak dapat balik atau irreversibel. Entropi merupakan fungsi keadaan jadi tidak tergantung pada proses. Maka perubahan entropi pada sistem adalah:

$$\Delta S = C_p \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Bila $T_2 > T_1$ maka perubahan entropi positif, dan sebaliknya jika $T_2 < T_1$ maka perubahan entropinya negatif.

Sekarang kita tinjau pemuai reversibel pada suhu tetap suatu gas yang memiliki suhu T dari volume V_1 sampai V_2 . Karena suhu tetap maka tenaga internalnya nol dan $Q = W$. Usaha dilakukan gas dan panas diserap sistem dari tandon pada temperatur T . Perubahan entropi gas adalah:

$$dS = \frac{dQ}{T} = \frac{dW}{T}$$

$$\Delta S = \int_{VT_1}^{V_2} \frac{PdV}{T} = \int_{VT_1}^{V_2} \frac{nRdV}{T} = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Jika V_2 lebih besar daripada V_1 maka perubahan entropi gas bernilai positif. Pada proses ini sejumlah panas Q meninggalkan tandon dan memasuki gas. Jumlah panas ini sama dengan usaha yang dilakukan oleh gas. Perubahan entropi gas adalah positif, karena $Q=W$ positif, tetapi perubahan entropi tandon negatif karena Q negatif atau Q keluar dari tandon. Jadi total perubahan entropi gas dan tandon adalah nol. Sistem gas dan tandon kita katakan sebagai semesta. Semesta adalah sistem dan lingkungannya. Dengan demikian kita bisa mengambil kesimpulan

Pada proses reversibel, perubahan entropi semesta adalah nol

Bagaimana jika prosesnya tidak reversibel? Misalkan saja gas pada suhu T dan gas memuai secara bebas dari volume V_1 menjadi V_2 . Pada pemuai bebas tidak ada usaha yang dilakukan dan tidak ada panas yang dipindah. Jadi kita biarkan gas memuai sendiri. Prosesnya tidak reversibel, maka kita tidak bisa menggunakan $\Delta dQ/T$ untuk mencari perubahan entropi gas. Akan tetapi karena keadaan awal sama dengan keadaan akhir pada proses isothermal maka perubahan entropi untuk pemuai bebas sama dengan perubahan entropi pada pemuai isothermal. Maka perubahan entropi pada pemuai bebas:

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Nilai V_2 lebih besar dari V_1 karena terjadi pemuai bebas, maka perubahan entropi semesta untuk proses irreversibel bernilai positif, atau entropinya naik, maka kita bisa mengatakan pada proses irreversibel entropi semesta naik. Bagaimana jika volume akhir lebih kecil dari volume mula-mula? Bila ini terjadi maka entropi semesta akan turun, akan tetapi hal ini tak mungkin terjadi karena gas tidak bisa secara bebas menyusut dengan sendirinya menjadi volume yang lebih kecil. Maka kita sekarang bisa menyatakan hukum termodinamika kedua menjadi untuk sembarang proses, entropi semesta tak pernah berkurang.

Contoh Soal :

1. Sebuah mesin panas menyerap panas 250 J dari tandon panas, kemudian melakukan usaha dan membuang 150 J panas ke tandon dingin. Berapa efisiensi mesin?

Penyelesaian :

Diketahui :

$$Q_p = 200 \text{ J}, \quad Q_d = 150 \text{ J}$$

Jawab :

Efisiensi mesin

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \frac{Q_d}{Q_p} \\ \eta &= 1 - \frac{150}{200} \\ \eta &= 1 - 0,75 \\ \eta &= 0,25 \\ \eta &= 25 \% \end{aligned}$$

Jadi, efisiensi mesin adalah 25%

2. Sebuah mesin uap bekerja di antara tandon panas 127 °C dan tandon dingin 0°C. Berapa efisiensi maksimum mesin ini?

Penyelesaian :

Diketahui :

$$T_p = 123^\circ\text{C} = 273^\circ + 127 = 400 \text{ K}, \quad T_d = 0^\circ = 273 \text{ K}$$

Jawab :

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \frac{T_d}{T_p} \\ \eta &= 1 - \frac{273}{400} \\ \eta &= 1 - 0,68 \\ \eta &= 0,32 \\ \eta &= 32 \% \end{aligned}$$

Perhatikan satuan suhu dalam SI adalah K, jadi ubahlah selalu satuan dalam suhu menjadi Kelvin.

Efisiensi mesin Carnot adalah 32 %

3. Mesin Carnot menyerap kalor 50 kkal dari reservoir suhu 910 K dan melakukan usaha 3.10^4 J . Hitunglah :

a. suhu reservoir dingin

b. efisiensi mesin

Penyelesaian :

$$Q_1 = 50 \text{ kkal} = 50000 \text{ kal} \times 4,2 \text{ J} = 21.10^4 \text{ J}$$

$$T_1 = 910 \text{ K}$$

$$W = 3.10^4 \text{ J}$$

$$a. \quad W = Q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$3.10^4 = 21.10^4 \cdot \left(1 - \frac{T_2}{910}\right)$$

$$T_2 = 780 \text{ K}$$

$$b. \quad \eta = \frac{W}{Q_1} \times 100 \% = \frac{3.10^4}{21.10^4} \times 100 \%$$

$$\eta = 14,3\%$$

C. Rangkuman

1. Hukum II termodinamika membatasi perubahan energi yang dapat terjadi dan yang tidak dapat terjadi. Hukum II termodinamika dapat dinyatakan dalam berbagai cara :
 - a. Pendapat Kelvin-Plank
Kalor tidak mungkin diubah seluruhnya menjadi usaha.
 - b. Pendapat Clausius (pernyataan mesin kalor)
Tidak mungkin membuat mesin yang bekerja dalam suatu siklus mengambil kalor dari reservoir suhu rendah dan memberikan pada reservoir suhu tinggi tanpa memerlukan usaha dari luar.
 - c. Pernyataan aliran kalor
Kalor mengalir secara spontan dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah dan tidak mengalir secara spontan dalam arah kebalikannya.
 - d. Pernyataan entropi
Total entropi semesta tidak berubah ketika proses reversibel terjadi dan bertambah ketika proses irreversibel terjadi.
2. Mesin kalor adalah suatu alat yang mengubah tenaga panas menjadi tenaga mekanik. Misalnya dalam mobil energi panas hasil pembakaran bahan bakar diubah menjadi energi gerak mobil.
3. Siklus Carnot adalah proses dimana gas yang melakukan proses dapat dikembalikan ke keadaan semula (bersifat reversibel) tanpa kehilangan energi, sehingga gas dapat melakukan usaha kembali.
4. Usaha yang dilakukan oleh mesin Carnot adalah :

$$W = Q_1 - Q_2 \quad \text{Karena } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}, \text{ maka :}$$

$$W = Q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$$

5. Dalam prakteknya dikenal mesin kalor seperti motor bakar, diesel dan mesin uap. Pada siklus Otto terdiri dari proses adiabatik dan isokhorik, sedangkan pada siklus diesel terdiri dari 3 proses, yaitu proses adiabatik, isobarik dan isokhorik.
6. Efisiensi mesin Carnot adalah :

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \times 100\% = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

atau

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

7. Refrigerator adalah mesin panas yang kerjanya berlawanan dengan sistem panas . Pada refrigerator usaha diberikan pada mesin untuk menyerap panas dari tandon dingin dan memberikan pada tandon panas. Mesin pendingin merupakan perlatan yang bekerja berdasarkan aliran kalor dari benda dingin ke benda panas dengan melakukan usaha pada sistem.
Contoh mesin pendingin : lemari es (kulkas) dan pendingin ruangan (AC).
8. Hukum kedua termodinamika menyatakan adanya proses ireversibel atau tidak dapat balik. Proses reversibel sebenarnya menunjukkan adanya tenaga mekanis yang hilang.

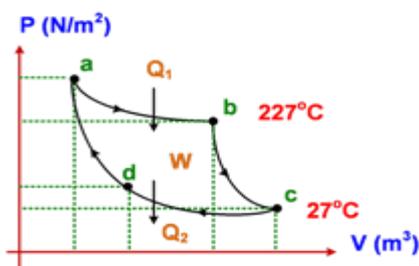
9. Besaran yang menunjukkan ukuran ketidakteraturan adalah entropi S . Entropi merupakan suatu fungsi yang tergantung pada keadaan sistem. Entropi suatu sistem berubah dari satu keadaan ke keadaan yang lain.
10. Maka kita sekarang bisa menyatakan hukum termodinamika kedua menjadi untuk sembarang proses, entropi semesta tak pernah berkurang.

D. Penugasan Mandiri

Anda sudah mempelajari efisiensi. Dalam contoh disebutkan bahwa efisiensi merupakan perbandingan antara usaha yang dilakukan terhadap panas yang diserap pada tandon panas. Nah, setelah Anda memahami hal itu, apa yang akan Anda lakukan tentang efisiensi? Buatlah langkah kerja yang sesuai dengan pengetahuan ini, yang bermanfaat bagi kehidupan manusia.

E. Latihan Soal

1. Mesin Carnot bekerja pada suhu tinggi 600 K, untuk menghasilkan kerja mekanik. Jika mesin menyerap kalor 600 J dengan suhu rendah 400 K, Tentukan usaha yang dihasilkan oleh mesin!
2. Suatu mesin Carnot, jika reservoir panasnya bersuhu 400 K akan mempunyai efisiensi 40%. Jika reservoir panasnya bersuhu 640 K, tentukanlah efisiensi mesin sekarang!
3. Sebuah mesin Carnot yang menggunakan reservoir suhu tinggi bersuhu 800 K mempunyai efisiensi sebesar 40%. Agar efisiensinya naik menjadi 50%, berapakah suhu reservoir suhu tinggi sekarang?
4. Perhatikan gambar berikut ini!



- Jika kalor yang diserap reservoir suhu tinggi adalah 1200 joule, tentukan :
- a. Efisiensi mesin Carnot
 - b. Usaha mesin Carnot
 - c. Perbandingan kalor yang dibuang di suhu rendah dengan usaha yang dilakukan mesin Carnot
 - d. Jenis proses ab, bc, cd dan da
5. Sebuah mesin pendingin memiliki reservoir suhu rendah sebesar -15°C . Jika selisih suhu antara reservoir suhu tinggi dan suhu rendahnya sebesar 40°C , tentukan koefisien performansi mesin tersebut!

Pembahasan Soal :

1. Di ketahui :

$$T_r = 400 \text{ K}$$

$$T_p = 600 \text{ K}$$

Ditanya $W = \dots?$

Jawab

$$\eta = (1 - T_r / T_t) \times 100 \%$$

Hilangkan saja 100% untuk memudahkan perhitungan :

$$\eta = (1 - 400/600) = 1/3$$

$$\eta = (W / Q_1)$$

$$1/3 = W/600$$

$$W = 200 \text{ J}$$

2. Diketahui :

$$\eta = 40\% = 4 / 10$$

$$T_t = 400 \text{ K}$$

Ditanya : berapakah efisiensinya jika suhu tinggi naik menjadi 640 K

Penyelesaian :

Cari terlebih dahulu suhu rendahnya (T_r)

$$\eta = 1 - (T_r / T_t)$$

$$4 / 10 = 1 - (T_r / 400)$$

$$(T_r / 400) = 6 / 10$$

$$T_r = 240 \text{ K}$$

Data kedua :

$$T_t = 640 \text{ K}$$

$T_r = 240 \text{ K}$ (dari hasil perhitungan pertama)

$$\eta = (1 - T_r / T_t) \times 100\%$$

$$\eta = (1 - 240/640) \times 100\%$$

$$\eta = (5 / 8) \times 100\% = 62,5\%$$

3. Diketahui :

$$T_t = 800 \text{ K}$$

$$\eta = 40\%$$

Ditanya : Jika efisiensi naik menjadi 50%, maka berapa suhu tingginya sekarang?

Penyelesaian :

Rumus efisiensi (tanpa %)

$$\eta = 1 - \frac{T_r}{T_t}$$

$$T_r = (1 - \eta)T_t$$

$$T_t = \frac{T_r}{(1 - \eta)}$$

Data dari Efisiensi pertama,

$$T_t = 800 \text{ K}$$

$$\eta = 40\% = 0,4 \rightarrow (1 - \eta) = 0,6$$

Dari sini diperoleh suhu rendah T_r

$$T_r = (1 - \eta)T_t$$

$$T_r = 0,6 \times 800$$

$$T_r = 480 \text{ K}$$

Dari data efisiensi kedua,

$$\eta = 50\% = 0,5 \rightarrow (1 - \eta) = 0,5$$

$$T_r = 480 \text{ K}$$

Suhu tingginya:

$$T_t = \frac{T_r}{(1 - \eta)}$$

$$T_t = \frac{480}{0,5} = 960 \text{ K}$$

4. **Diketahui :**

$$T_t = 227^\circ\text{C} = 500 \text{ K}$$

$$T_r = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K} \quad Q = 1200 \text{ J}$$

Ditanyakan : a. η b. W c. Q_2/W d. Jenis Proses

Penyelesaian :

a) Efisiensi mesin Carnot

$$\eta = (1 - T_r/T_t) \times 100\%$$

$$\eta = (1 - 300/500) \times 100\% = 40\%$$

b) Usaha mesin Carnot

$$\eta = W/Q_1$$

$$4/10 = W/1200$$

$$W = 480 \text{ joule}$$

c) Perbandingan kalor yang dibuang di suhu rendah dengan usaha yang dilakukan mesin Carnot

$$Q_2 = Q_1 - W = 1200 - 480 = 720 \text{ joule}$$

$$Q_2 : W = 720 : 480 = 9 : 6 = 3 : 2$$

d) Jenis proses ab, bc, cd dan da

ab → pemuaian isoteris (volume gas bertambah, suhu gas tetap)

bc → pemuaian adiabatik (volume gas bertambah, suhu gas turun)

cd → pemampatan isoteris (volume gas berkurang, suhu gas tetap)

da → pemampatan adiabatik (volume gas berkurang, suhu gas naik)

5. Data mesin

$$\text{Diketahui : } T_r = -15^\circ\text{C} = (-15 + 273) \text{ K} = 258 \text{ K} ; T_t - T_r = \Delta T = 40^\circ\text{C} = 40 \text{ K}$$

Ditanya $C_p = ?$

Jawab :

$$C_p = \frac{T_r}{T_t - T_r}$$

$$C_p = \frac{258}{40} = 6,45$$

F. Penilaian Diri

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan jujur, sesuai dengan kemampuan kalian. Cara menjawabnya adalah dengan memberikan centang (√) di kolom yang disediakan.

No	Pertanyaan	Ya	Tidak	Keterangan
1	Saya mampu memahami hukum kedua Termodinamika			
2	Saya mampu menganalisis siklus Termodinamika			
3	Saya mampu menganalisis prinsip kerja mesin kalor			
4	Saya mampu menganalisis prinsip kerja mesin pemanas			
5	Saya mampu menganalisis prinsip kerja mesin pendingin			
6	Saya mampu menganalisis siklus mesin Carnot			
7	Saya mampu menganalisis entropi pada siklus reversible			

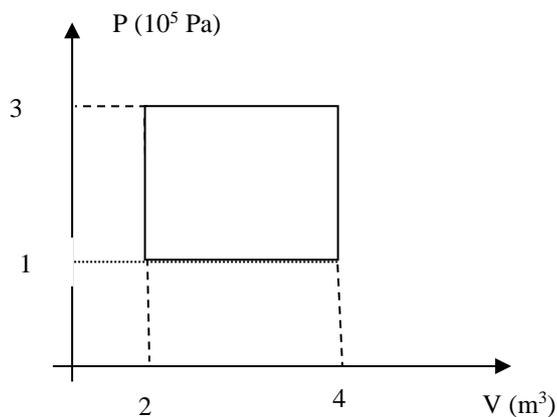
Keterangan:

Apabila kalian menjawab pernyataan jawaban Ya, berarti telah memahami dan menerapkan semua materi. Bagi yang menjawab tidak silahkan mengulang materi yang terkait.

EVALUASI

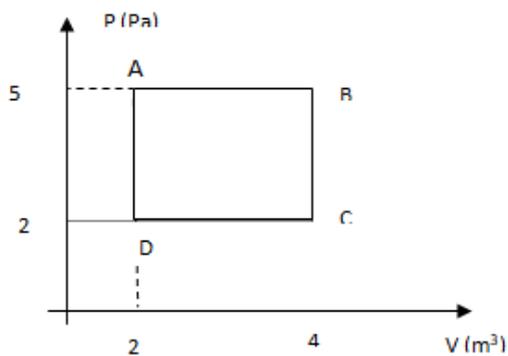
Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat!

- Gas yang volumenya $0,5 \text{ m}^3$ dipanaskan pada tekanan tetap hingga volumenya 2 m^3 . Jika usaha luar gas $3 \cdot 10^5 \text{ J}$, maka tekanan gas adalah ... Pa
 - $6 \cdot 10^5$
 - $2 \cdot 10^5$
 - $1,5 \cdot 10^5$
 - $0,6 \cdot 10^5$
 - $0,3 \cdot 10^5$
- Gas ideal melakukan proses seperti pada gambar berikut :



- Kerja yang dihasilkan pada proses tersebut adalah ... kJ
- 200
 - 400
 - 600
 - 800
 - 1000
- Gas ideal pada suhu 300 K mengalami pemuaian adiabatik sehingga volumenya menjadi dua kali volume awalnya dan kemudian di panasi sampai tekanan kembali mencapai nilai awalnya. Suhu akhir gas adalah ... K
 - 300
 - 400
 - 450
 - 500
 - 600

4. Perhatikan gambar berikut !



Sejumlah gas melakukan proses ABCDA. Jika suhu di titik C = 499 K, maka :

- 1) kalor yang diserap gas per siklus 20 J
- 2) usaha gas 6 J
- 3) perubahan energi dalam 2 J
- 4) suhu di titik A = 500 K

Pernyataan yang benar adalah ...

- A. 1, 2, 3
 - B. 1, 3
 - C. 2, 4
 - D. 4 saja
 - E. semua benar
5. Gas menerima kalor 8000 kal menghasilkan usaha 14000 J. Perubahan energi dalamnya adalah ... J
- A. 19440
 - B. 20500
 - C. 21450
 - D. 22500
 - E. 24240
6. Sebuah mesin carnot bekerja pada suhu 300 K dan 750 K. Efisiensi mesin adalah%
- A. 80
 - B. 75
 - C. 70
 - D. 65
 - E. 60
7. Sebuah mesin Carnot mengambil kalor dari tandon bersuhu 400 K dan saat itu efisiensinya 40%. Jika reservoir panas dinaikkan menjadi 640 K maka efisiensi mesin berubah menjadi ...
- A. 50 %
 - B. 52,5 %
 - C. 57%
 - D. 62,5%
 - E. 64 %

8. Mesin Kalor menyerap panas dari tandon bersuhu 800 K dengan efisiensi 40%. Agar efisiensi mesin menjadi 50%, berapakah suhu tandon panasnya ?
 - A. 900 K
 - B. 960 K
 - C. 1000 K
 - D. 1180 K
 - E. 1600 K

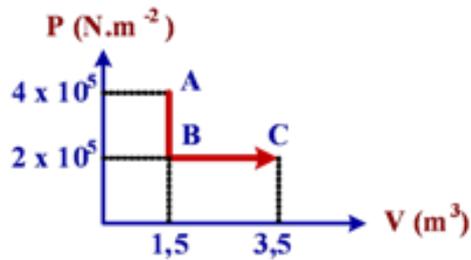
9. Mesin Carnot yang dioperasikan memiliki efisiensi 60% pada suhu reservoir pembuangan 27°C. Tentukan kenaikan suhu reservoir kalor jika efisiensi mesin diharapkan mencapai 80%.
 - A. 50 K
 - B. 150 K
 - C. 250 K
 - D. 500 K
 - E. 750 K

10. Mesin Carnot menghasilkan usaha sebesar 6000 J dengan bekerja antara tandon bersuhu 300 K dan 800 K. Tentukan besar kalor yang dilepas mesin tersebut
 - A. 2250 J
 - B. 3600 J
 - C. 3750 J
 - D. 6000 J
 - E. 9600 J

11. Mesin Carnot bekerja pada suhu tinggi 600 K, untuk menghasilkan kerja mekanik. Jika mesin menyerap kalor 600 J dengan suhu rendah 400 K, maka usaha yang dihasilkan adalah....
 - A. 120 J
 - B. 124 J
 - C. 135 J
 - D. 148 J
 - E. 200 J

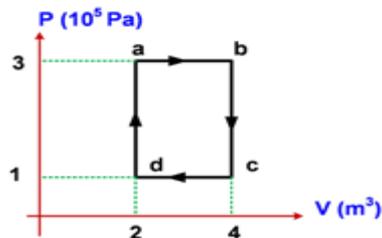
12. Sebuah mesin Carnot bekerja pada reservoir suhu tinggi 600 K mempunyai efisiensi 40%. Supaya efisiensi mesin menjadi 75% dengan suhu reservoir rendah tetap maka reservoir suhu tinggi harus dinaikkan menjadi
 - A. 480 K
 - B. 840 K
 - C. 900 K
 - D. 1028 K
 - E. 1440 K

13. Diagram P-V dari gas helium yang mengalami proses termodinamika ditunjukkan seperti gambar berikut!



Usaha yang dilakukan gas helium pada proses ABC sebesar....

- A. 660 kJ
 - B. 400 kJ
 - C. 280 kJ
 - D. 120 kJ
 - E. 60 kJ
14. Suatu pesawat pendingin Carnot mempunyai koefisien kinerja 6,5. Jika reservoir yang tinggi 27°C , maka reservoir yang bersuhu rendah adalah....
- A. -5°C
 - B. -8°C
 - C. -10°C
 - D. -12°C
 - E. -13°C
15. Perhatikan gambar berikut !



Suatu gas ideal mengalami proses siklus seperti pada gambar P - V di atas. Kerja yang dihasilkan pada proses siklus ini adalah....kilojoule.

- A. 200
- B. 400
- C. 600
- D. 800
- E. 1000

KUNCI JAWABAN

1. B
2. B
3. E
4. A
5. A
6. E
7. D
8. B
9. B
10. E
11. E
12. E
13. B
14. E
15. B

DAFTAR PUSTAKA

- Frederick J. Bueche, Ph.D.1999. *Physics Handbook, Student Edition*, Hartwell Bratt Ltd., Lud: Sweden.
- Hewit.G.P, 1993. *Fundamental of Physics Extended, Edisi 5*, John Willet and Sons, Inc.
- Muis, Abdul,.2006. *Perang Siasat Fisika Praktis*, Jakarta : Kreasi Wacana. Grolier International, 2004.
- Nordling C. dan Osterman J. 1987. *Conceptual Physics, Edisi 7*. Harper Collins College Publisher.
- Tipler.P,2006. *Fisika untuk Sains dan Teknik, Edisi Ketiga*. Jakarta : Erlangga.