

MODUL AJAR

USAHA, HUKUM PERTAMA TERMODINAMIKA DAN KAPASITAS PANAS

INFORMASI UMUM

I. IDENTITAS MODUL

Nama Penyusun :
Satuan Pendidikan : SMA
Kelas / Fase : XI (Sebelas) / F
Mata Pelajaran : Fisika
Alokasi Waktu :
Tahun Penyusunan : 20 ... / 20 ...

CAPAIAN PEMBELAJARAN

Pada akhir fase F, peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip vektor kedalam kinematika dan dinamika gerak, usaha dan energi, fluida, getaran harmonis, gelombang bunyi dan gelombang cahaya dalam menyelesaikan masalah, serta menerapkan prinsip dan konsep energi kalor dan termodinamika dengan berbagai perubahannya dalam mesin kalor. Peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip kelistrikan (baik statis maupun dinamis) dan kemagnetan dalam berbagai penyelesaian masalah dan berbagai produk teknologi, menerapkan konsep dan prinsip gejala gelombang elektromagnetik dalam menyelesaikan masalah. Peserta didik mampu menganalisis keterkaitan antara berbagai besaran fisis pada teori relativitas khusus, gejala kuantum dan menunjukkan penerapan konsep fisika inti dan radioaktivitas dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi. Peserta didik mampu memberi penguatan pada aspek fisika sesuai dengan minat untuk ke perguruan tinggi yang berhubungan dengan bidang fisika. Melalui kerja ilmiah juga dibangun sikap ilmiah dan profil pelajar pancasila khususnya mandiri, inovatif, bernalar kritis, kreatif dan bergotong royong.

II. KOMPETENSI AWAL

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.

III. PROFIL PELAJAR PANCASILA

Beriman, bertakwa kepada Tuhan yag maha Esa, bergotong royong, bernalar kritis, kreatif, inovatif, mandiri, berkebhinekaan global

IV. SARANA DAN PRASARANA

- | | | |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1. Gawai | 4. Buku Teks | 7. Handout materi |
| 2. Laptop/Komputer PC | 5. Papan tulis/White Board | 8. Infokus/Proyektor/Pointer |
| 3. Akses Internet | 6. Lembar kerja | 9. Referensi lain yang mendukung |

V. TARGET PESERTA DIDIK

Peserta didik reguler/tipikal: umum, tidak ada kesulitan dalam mencerna dan memahami materi ajar.

VI. MODEL PEMBELAJARAN

Blended learning melalui model pembelajaran dengan menggunakan *Project Based Learning* (PBL) terintegrasi pembelajaran berdiferensiasi berbasis *Social Emotional Learning* (SEL).

KOMPONEN INTI

I. TUJUAN PEMBELAJARAN

- Memahami pengertian Usaha oleh sistem.
- Menganalisis usaha tekanan tetap
- Menganalisis usaha pada suhu tetap
- Menganalisis usaha pada Volume tetap
- Menganalisis proses adiabatik
- Menganalisis Hukum Pertama Termodinamika
- Menganalisis kapasitas kalor

II. PEMAHAMAN BERMAKNA

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

III. PERTANYAAN PEMANTIK

- Guru mengajukan pertanyaan terbuka kepada peserta didik seputar *Usaha, Hukum Pertama Termodinamika dan Kapasitas Panas*
- Guru membandingkan jawaban peserta didik satu dengan jawaban peserta didik lainnya.

IV. KEGIATAN PEMBELAJARAN

KEGIATAN PENDAHULUAN	
• Doa; absensi; menyampaikan tujuan pembelajaran; dan menyampaikan penilaian hasil pembelajaran • Memotivasi siswa untuk tercapainya kompetensi dan karakter yang sesuai dengan Profil Pelajar Pancasila; yaitu 1) beriman, bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa, dan berakhlak mulia, 2) mandiri, 3) bernalar kritis, 4) kreatif, 5) bergotong royong, dan 6) berkebinekaan global, yang merupakan salah satu kriteria standar kelulusan dalam satuan pendidikan.	
KEGIATAN INTI	
<i>Stimulus</i>	• Peserta didik diberi motivasi atau rangsangan untuk memusatkan perhatian pada topik materi : <i>Usaha, Hukum Pertama Termodinamika dan Kapasitas Panas</i>
<i>Identifikasi masalah</i>	• Guru memberikan kesempatan pada peserta didik untuk mengidentifikasi sebanyak mungkin pertanyaan yang berkaitan dengan materi : <i>Usaha, Hukum Pertama Termodinamika dan Kapasitas Panas</i>
<i>Pengumpulan data</i>	• Mengamati dengan seksama materi : <i>Usaha, Hukum Pertama Termodinamika dan Kapasitas Panas</i>, dalam bentuk gambar/video/slide presentasi yang disajikan dan mencoba menginterpretasikannya • Mencari dan membaca berbagai referensi dari berbagai sumber guna menambah pengetahuan dan pemahaman tentang materi : <i>Usaha, Hukum Pertama Termodinamika dan Kapasitas Panas</i> • Mengajukan pertanyaan berkaitan dengan materi : <i>Usaha, Hukum Pertama Termodinamika dan Kapasitas Panas</i>

<i>Pembuktian</i>	● Berdiskusi tentang data dari materi : <i>Usaha, Hukum Pertama Termodinamika dan Kapasitas Panas</i>. ● Peserta didik mengerjakan beberapa soal mengenai materi : <i>Usaha, Hukum Pertama Termodinamika dan Kapasitas Panas</i>.
<i>Menarik kesimpulan</i>	● Menyampaikan hasil diskusi tentang materi : <i>Usaha, Hukum Pertama Termodinamika dan Kapasitas Panas</i> berupa kesimpulan berdasarkan hasil analisis secara lisan, tertulis, atau media lainnya untuk mengembangkan sikap jujur, teliti, toleransi, kemampuan berpikir sistematis, mengungkapkan pendapat dengan sopan ● Mempresentasikan hasil diskusi kelompok secara klasikal tentang materi : <i>Usaha, Hukum Pertama Termodinamika dan Kapasitas Panas</i>. ● Mengemukakan pendapat atas presentasi yang dilakukan tentang materi : <i>Usaha, Hukum Pertama Termodinamika dan Kapasitas Panas</i> dan ditanggapi oleh kelompok yang mempresentasikan ● Bertanya atas presentasi tentang materi : <i>Usaha, Hukum Pertama Termodinamika dan Kapasitas Panas</i> dan peserta didik lain diberi kesempatan untuk menjawabnya.
REFLEKSI DAN KONFIRMASI	
● Refleksi pencapaian siswa/formatif asesmen, dan refleksi guru untuk mengetahui ketercapaian proses pembelajaran dan perbaikan. ● Menginformasikan kegiatan pembelajaran yang akan dilakukan pada pertemuan berikutnya. ● Guru mengakhiri kegiatan belajar dengan memberikan pesan dan motivasi tetap semangat belajar dan diakhiri dengan berdoa.	

V. ASESMEN PEMBELAJARAN

- Penilaian Sikap / Profil Pelajar Pancasila
Selama proses mengajar berlangsung guru mengamati profil pelajar Pancasila pada siswa dalam pembelajaran yang meliputi Beriman, bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa, Kebhinekaan Global, Mandiri, Bernalar Kritis, Gotong Royong dan Kreatif
- Penilaian Pengetahuan
Penilaian pengetahuan yang dilakukan pada Capaian Pembelajaran ini sesuai dengan tujuan pembelajaran yang ingin di capai adalah dengan tes tertulis
- Penilaian Keterampilan
Penilaian keterampilan yang dilakukan pada Capaian Pembelajaran ini sesuai dengan tujuan pembelajaran yang ingin di capai adalah dengan tes unjuk kerja / praktek

Penilaian Diri

Isilah pertanyaan pada tabel di bawah ini sesuai dengan yang kalian ketahui, berilah penilaian secara jujur, objektif, dan penuh tanggung jawab dengan memberi tanda pada kolom Jawaban.

No	Pertanyaan	Jawaban	
		Ya	Tidak
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		

Catatan:

- Jika ada jawaban “Tidak” maka segera lakukan review pembelajaran.
- Jika semua jawaban “Ya” maka Anda dapat melanjutkan kegiatan Pembelajaran berikutnya

VI. PENGAYAAN DAN REMEDIAL

Remedial

Peserta didik yang hasil belajarnya belum mencapai target, guru melakukan pengulangan materi dengan pendekatan yang lebih individual dengan memberikan tugas individu tambahan untuk memperbaiki hasil belajar peserta didik yang bersangkutan

Pengayaan

Peserta didik yang daya tangkap dan daya kerjanya lebih dari peserta didik lain, guru memberikan kegiatan pengayaan yang lebih menantang dan memperkuat daya serapnya terhadap materi yang telah diajarkan guru.

PROGRAM REMEDIAL DAN PENGAYAAN

Sekolah :

Mata Pelajaran :

Kelas / Semester : /

No	Nama Peserta Didik	Rencana Program		Tanggal Pelaksanaan	Hasil		Kesimpulan
		Remedial	Pengayaan		Sebelum	Sesudah	
1							
2							
3							
4							
5							
dst							

VII. REFLEKSI GURU DAN PESERTA DIDIK

Lembar Refleksi Guru

No	Aspek	Refleksi Guru	Jawaban
----	-------	---------------	---------

1	Penguasaan Materi	Apakah saya sudah memahami cukup baik materi dan aktifitas pembelajaran ini?	
2	Penyampaian Materi	Apakah materi ini sudah tersampaikan dengan cukup baik kepada peserta didik?	
3	Umpan balik	Apakah 100% peserta didik telah mencapai penguasaan tujuan pembelajaran yang ingin dicapai?	

Lembar Refleksi Peserta Didik

No	Aspek	Refleksi Guru	Jawaban
1	Perasaan dalam belajar	Apa yang menyenangkan dalam kegiatan pembelajaran hari ini?	
2	Makna	Apakah aktivitas pembelajaran hari ini bermakna dalam kehidupan saya?	
3	Penguasaan Materi	Saya dapat menguasai materi pelajaran pada hari ini a. Baik b. Cukup c. kurang	
4	Keaktifan	Apakah saya terlibat aktif dan menyumbangkan ide dalam proses pembelajaran hari ini?	
5	Gotong Royong	Apakah saya dapat bekerjasama dengan teman 1 kelompok?	

LAMPIRAN- LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 LEMBAR KERJA PESERTA DIDIK (LKPD)

LKPD adalah panduan dalam melakukan aktivitas pembelajaran, yaitu:

Kelas/Semester : XI /
Mata Pelajaran :
Hari/Tanggal :
Nama siswa :
Materi pembelajaran :
.....

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

Termos



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 .

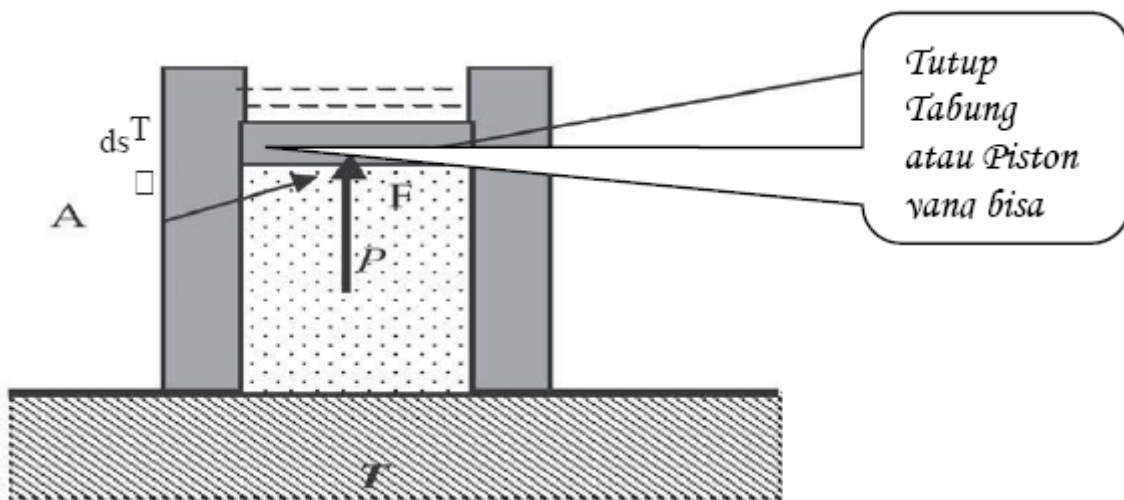
LAMPIRAN 2 BAHAN BACAAN GURU DAN PESERTA DIDIK

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:

$$dW = Fds = PA dx = PdV$$

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.

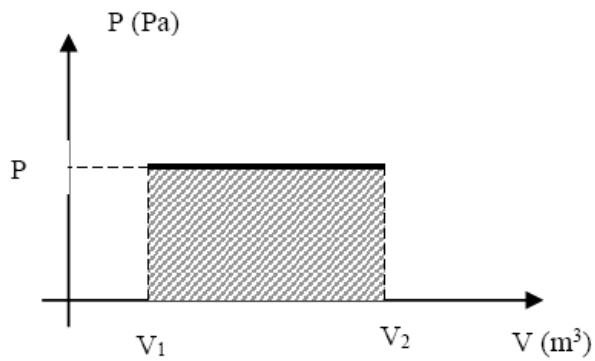
Bila proses terjadi pada tekanan tetap kita bisa mencari usaha yang dilakukan gas menggunakan Persamaan (1), bila proses terjadi tidak pada tekanan konstan maka usaha adalah luasan daerah di bawah diagram PV .

Proses Termodinamika

Gas yang berada dalam ruang tertutup dapat diubah keadaanya 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)

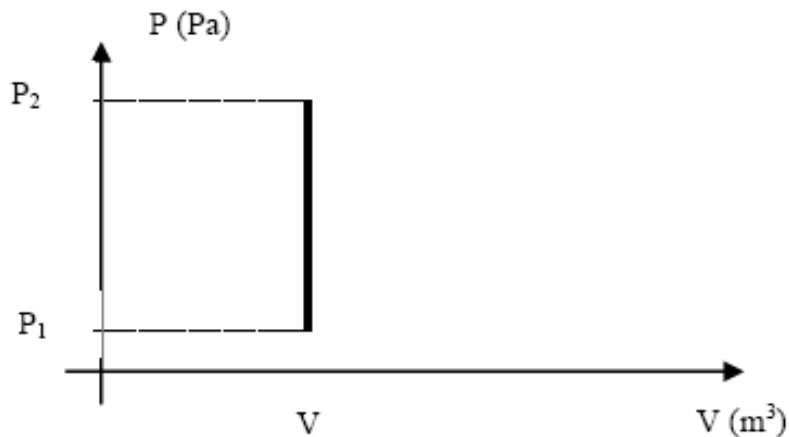
V_2 = volume gas akhir (m^3)

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 isovolume 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 (m3)

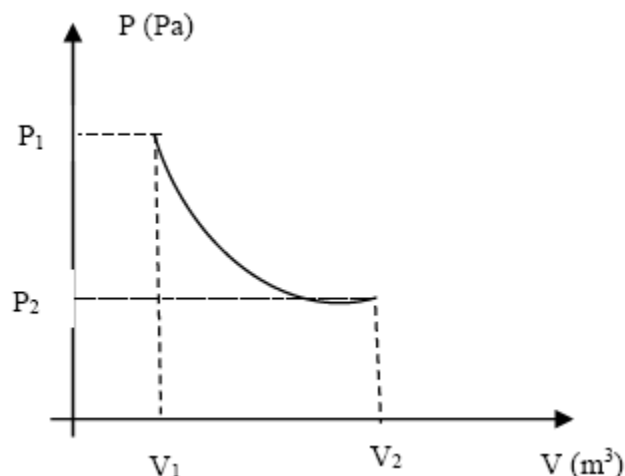
P_2 = tekanan gas akhir (m3)

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 = mol

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

T = suhu gas (K)

Sesuai dengan persamaan gas umum bahwa nilai :

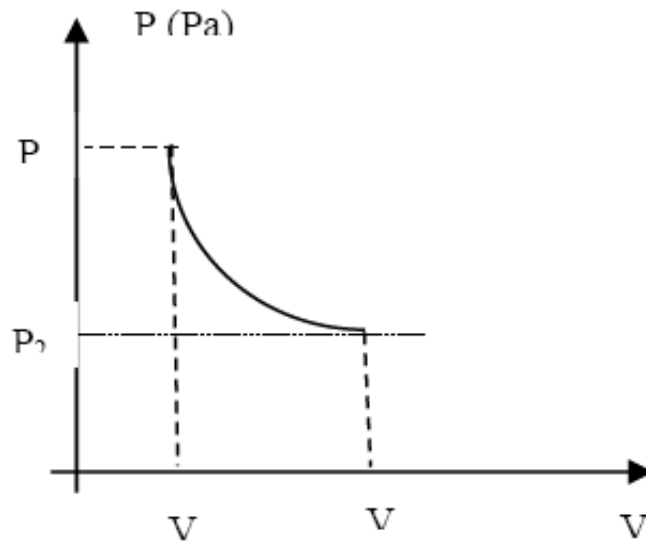
$$n \cdot R \cdot T = P \cdot V$$

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 tekananya 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

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

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 maka hukum termodinamika pertama menjadi:

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1},$$

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:

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 $\Delta U = \frac{\gamma}{2} nR\Delta T$, sehingga

$$Q = \Delta U + W$$

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

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

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

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 ($\pm 250^\circ\text{C}$)

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

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

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

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

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

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

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

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

LAMPIRAN 4

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.

MODUL AJAR

HUKUM TERMODINAMIKA KEDUA, SIKLUS CARNOT DAN ENTROPI

INFORMASI UMUM

I. IDENTITAS MODUL

Nama Penyusun :
Satuan Pendidikan : SMA
Kelas / Fase : XI (Sebelas) / F
Mata Pelajaran : Fisika
Alokasi Waktu :
Tahun Penyusunan : 20 ... / 20 ...

CAPAIAN PEMBELAJARAN

Pada akhir fase F, peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip vektor kedalam kinematika dan dinamika gerak, usaha dan energi, fluida, getaran harmonis, gelombang bunyi dan gelombang cahaya dalam menyelesaikan masalah, serta menerapkan prinsip dan konsep energi kalor dan termodinamika dengan berbagai perubahannya dalam mesin kalor. Peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip kelistrikan (baik statis maupun dinamis) dan kemagnetan dalam berbagai penyelesaian masalah dan berbagai produk teknologi, menerapkan konsep dan prinsip gejala gelombang elektromagnetik dalam menyelesaikan masalah. Peserta didik mampu menganalisis keterkaitan antara berbagai besaran fisis pada teori relativitas khusus, gejala kuantum dan menunjukkan penerapan konsep fisika inti dan radioaktivitas dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi. Peserta didik mampu memberi penguatan pada aspek fisika sesuai dengan minat untuk ke perguruan tinggi yang berhubungan dengan bidang fisika. Melalui kerja ilmiah juga dibangun sikap ilmiah dan profil pelajar pancasila khususnya mandiri, inovatif, bernalar kritis, kreatif dan bergotong royong.

II. KOMPETENSI AWAL

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.

III. PROFIL PELAJAR PANCASILA

Beriman, bertakwa kepada Tuhan yang Maha Esa, bergotong royong, bernalar kritis, kreatif, inovatif, mandiri, berkebhinekaan global

IV. SARANA DAN PRASARANA

- | | | |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1. Gawai | 4. Buku Teks | 7. Handout materi |
| 2. Laptop/Komputer PC | 5. Papan tulis/White Board | 8. Infokus/Proyektor/Pointer |
| 3. Akses Internet | 6. Lembar kerja | 9. Referensi lain yang mendukung |

V. TARGET PESERTA DIDIK

Peserta didik reguler/tipikal: umum, tidak ada kesulitan dalam mencerna dan memahami materi ajar.

VI. MODEL PEMBELAJARAN

Blended learning melalui model pembelajaran dengan menggunakan *Project Based Learning* (PBL) terintegrasi pembelajaran berdiferensiasi berbasis *Social Emotional Learning* (SEL).

KOMPONEN INTI

I. TUJUAN PEMBELAJARAN

- Memahami hukum kedua Termodinamika
- Menganalisis siklus Termodinamika
- Menganalisis prinsip kerja mesin kalor
- Menganalisis prinsip kerja mesin pemanas
- Menganalisis prinsip kerja mesin pendingin
- Menganalisis siklus mesin Carnot
- Menganalisis entropi pada siklus reversible.

II. PEMAHAMAN BERMAKNA

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

III. PERTANYAAN PEMANTIK

- Guru mengajukan pertanyaan terbuka kepada peserta didik seputar *Hukum Termodinamika Kedua, Siklus Carnot dan Entropi*
- Guru membandingkan jawaban peserta didik satu dengan jawaban peserta didik lainnya.

IV. KEGIATAN PEMBELAJARAN

KEGIATAN PENDAHULUAN	
• Doa; absensi; menyampaikan tujuan pembelajaran; dan menyampaikan penilaian hasil pembelajaran • Memotivasi siswa untuk tercapainya kompetensi dan karakter yang sesuai dengan Profil Pelajar Pancasila; yaitu 1) beriman, bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa, dan berakhlak mulia, 2) mandiri, 3) bernalar kritis, 4) kreatif, 5) bergotong royong, dan 6) berkebinekaan global, yang merupakan salah satu kriteria standar kelulusan dalam satuan pendidikan.	
KEGIATAN INTI	
<i>Stimulus</i>	• Peserta didik diberi motivasi atau rangsangan untuk memusatkan perhatian pada topik materi : <i>Hukum Termodinamika Kedua, Siklus Carnot dan Entropi</i>
<i>Identifikasi masalah</i>	• Guru memberikan kesempatan pada peserta didik untuk mengidentifikasi sebanyak mungkin pertanyaan yang berkaitan dengan materi : <i>Hukum Termodinamika Kedua, Siklus Carnot dan Entropi</i>
<i>Pengumpulan data</i>	• Mengamati dengan seksama materi : <i>Hukum Termodinamika Kedua, Siklus Carnot dan Entropi</i>, dalam bentuk gambar/video/slide presentasi yang disajikan dan mencoba menginterpretasikannya • Mencari dan membaca berbagai referensi dari berbagai sumber guna menambah pengetahuan dan pemahaman tentang materi : <i>Hukum Termodinamika Kedua, Siklus Carnot dan Entropi</i> • Mengajukan pertanyaan berkaitan dengan materi : <i>Hukum Termodinamika Kedua, Siklus Carnot dan Entropi</i>

<i>Pembuktian</i>	• Berdiskusi tentang data dari materi : <i>Hukum Termodinamika Kedua, Siklus Carnot dan Entropi</i>. • Peserta didik mengerjakan beberapa soal mengenai materi : <i>Hukum Termodinamika Kedua, Siklus Carnot dan Entropi</i>.
<i>Menarik kesimpulan</i>	• Menyampaikan hasil diskusi tentang materi : <i>Hukum Termodinamika Kedua, Siklus Carnot dan Entropi</i> berupa kesimpulan berdasarkan hasil analisis secara lisan, tertulis, atau media lainnya untuk mengembangkan sikap jujur, teliti, toleransi, kemampuan berpikir sistematis, mengungkapkan pendapat dengan sopan • Mempresentasikan hasil diskusi kelompok secara klasikal tentang materi : <i>Hukum Termodinamika Kedua, Siklus Carnot dan Entropi</i>. • Mengemukakan pendapat atas presentasi yang dilakukan tentang materi : <i>Hukum Termodinamika Kedua, Siklus Carnot dan Entropi</i> dan ditanggapi oleh kelompok yang mempresentasikan • Bertanya atas presentasi tentang materi : <i>Hukum Termodinamika Kedua, Siklus Carnot dan Entropi</i> dan peserta didik lain diberi kesempatan untuk menjawabnya.
REFLEKSI DAN KONFIRMASI	
• Refleksi pencapaian siswa/formatif asesmen, dan refleksi guru untuk mengetahui ketercapaian proses pembelajaran dan perbaikan. • Menginformasikan kegiatan pembelajaran yang akan dilakukan pada pertemuan berikutnya. • Guru mengakhiri kegiatan belajar dengan memberikan pesan dan motivasi tetap semangat belajar dan diakhiri dengan berdoa.	

V. ASESMEN PEMBELAJARAN

- a) Penilaian Sikap / Profil Pelajar Pancasila
Selama proses mengajar berlangsung guru mengamati profil pelajar Pancasila pada siswa dalam pembelajaran yang meliputi Beriman, bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa, Kebhinekaan Global, Mandiri, Bernalar Kritis, Gotong Royong dan Kreatif
- b) Penilaian Pengetahuan
Penilaian pengetahuan yang dilakukan pada Capaian Pembelajaran ini sesuai dengan tujuan pembelajaran yang ingin di capai adalah dengan tes tertulis
- c) Penilaian Keterampilan
Penilaian keterampilan yang dilakukan pada Capaian Pembelajaran ini sesuai dengan tujuan pembelajaran yang ingin di capai adalah dengan tes unjuk kerja / praktek

Penilaian Diri

Isilah pertanyaan pada tabel di bawah ini sesuai dengan yang kalian ketahui, berilah penilaian secara jujur, objektif, dan penuh tanggung jawab dengan memberi tanda pada kolom Jawaban.

No	Pertanyaan	Jawaban	
		Ya	Tidak
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		

Catatan:

- Jika ada jawaban “Tidak” maka segera lakukan review pembelajaran.
- Jika semua jawaban “Ya” maka Anda dapat melanjutkan kegiatan Pembelajaran berikutnya

VI. PENGAYAAN DAN REMEDIAL

Remedial

Peserta didik yang hasil belajarnya belum mencapai target, guru melakukan pengulangan materi dengan pendekatan yang lebih individual dengan memberikan tugas individu tambahan untuk memperbaiki hasil belajar peserta didik yang bersangkutan

Pengayaan

Peserta didik yang daya tangkap dan daya kerjanya lebih dari peserta didik lain, guru memberikan kegiatan pengayaan yang lebih menantang dan memperkuat daya serapnya terhadap materi yang telah diajarkan guru.

PROGRAM REMEDIAL DAN PENGAYAAN

Sekolah :

Mata Pelajaran :

Kelas / Semester : /

No	Nama Peserta Didik	Rencana Program		Tanggal Pelaksanaan	Hasil		Kesimpulan
		Remedial	Pengayaan		Sebelum	Sesudah	
1							
2							
3							
4							
5							
dst							

VII. REFLEKSI GURU DAN PESERTA DIDIK

Lembar Refleksi Guru

No	Aspek	Refleksi Guru	Jawaban
1	Penguasaan Materi	Apakah saya sudah memahami cukup baik materi dan aktifitas pembelajaran ini?	

2	Penyampaian Materi	Apakah materi ini sudah tersampaikan dengan cukup baik kepada peserta didik?	
3	Umpan balik	Apakah 100% peserta didik telah mencapai penguasaan tujuan pembelajaran yang ingin dicapai?	

Lembar Refleksi Peserta Didik

No	Aspek	Refleksi Guru	Jawaban
1	Perasaan dalam belajar	Apa yang menyenangkan dalam kegiatan pembelajaran hari ini?	
2	Makna	Apakah aktivitas pembelajaran hari ini bermakna dalam kehidupan saya?	
3	Penguasaan Materi	Saya dapat menguasai materi pelajaran pada hari ini a. Baik b. Cukup c. kurang	
4	Keaktifan	Apakah saya terlibat aktif dan menyumbangkan ide dalam proses pembelajaran hari ini?	
5	Gotong Royong	Apakah saya dapat bekerjasama dengan teman 1 kelompok?	

LAMPIRAN- LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

LEMBAR KERJA PESERTA DIDIK (LKPD)

LKPD adalah panduan dalam melakukan aktivitas pembelajaran, yaitu:

Kelas/Semester : XI /
Mata Pelajaran :
Hari/Tanggal :
Nama siswa :
Materi pembelajaran :
.....

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.

LAMPIRAN 2

BAHAN BACAAN GURU DAN PESERTA DIDIK

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

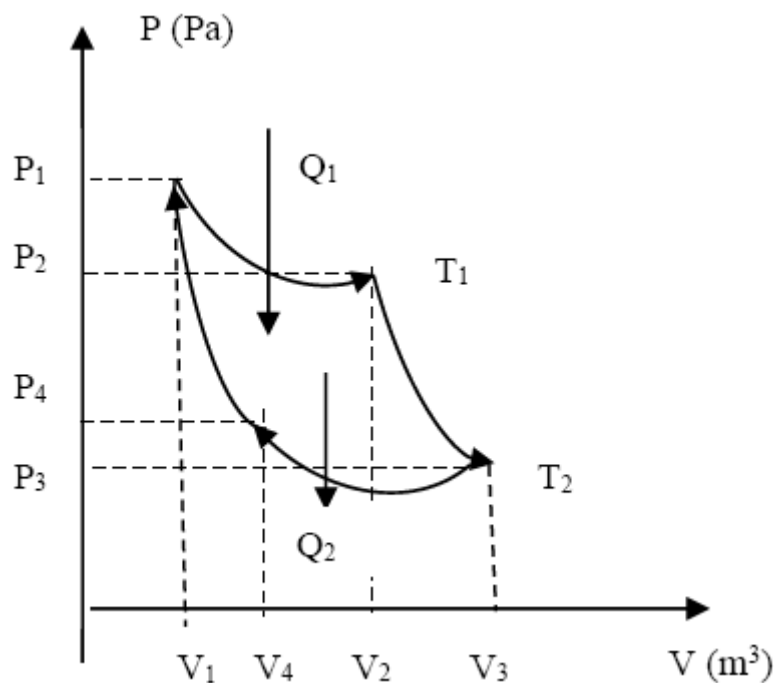
Siklus Carnot adalah proses dimana gas yang melakukan proses dapat dikembalikan ke keadaan semula (bersifat reversibel) tanpa kehilangan energi, sehingga gas dapat melakukan usaha kembali.

Mesin Carnot

Tidak ada mesin yang bekerja di antara dua tandon panas yang tersedia yang dapat lebih efisien daripada mesin reversibel 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 P2 volumenya V2 dan suhunya T1 melakukan proses pemuaian adiabatik sehingga tekannya turun menjadi P3, volumenya naik menjadi V3 dan suhunya turun menjadi T2 sambil melakukan usaha W2.

3. Proses pemampatan isotermik

Gas yang tekanannya P3 volumenya V3 melakukan proses pemampatan isotermis pada suhu T2, sehingga tekanannya naik menjadi P4, volumenya turun menjadi V4. Pada proses ini sistem menerima usaha W3 dan melepas kalor Q2 ke reservoir bersuhu rendah T2.

4. Proses pemampatan adiabatik

Gas yang tekanannya P4 volumenya V4 dan suhunya T2 mengalami proses pemampatan adiabatik, sehingga tekanannya kembali menjadi P1, volumenya kembali menjadi V1 dan suhunya menjadi T1 akibat dari sistem yang menerima usaha W4.

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)

Q₁ = kalor yang diserap dari reservoir suhu T₁

Q₂ = kalor yang dibuang pada reservoir suhu T₂

T₁ = suhu tinggi (K)

T₂ = 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 peralatan 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 refrigerator ditunjukkan pada Gambar berikut . Kita mengusahakan sebanyak mungkin kalor Q_d yang dipindahkan dengan melakukan kerja sekecil mungkin.



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 irreversible 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 pemuatan 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:

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

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

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 pemuatan 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 pemuatan bebas sama dengan perubahan entropi pada pemuatan isothermal. Maka perubahan entropi pada pemuatan bebas:

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

Nilai V_2 lebih besar dari V_1 karena terjadi pemuatan 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.

LAMPIRAN 3

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

LAMPIRAN 4

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.