

## MODUL 4

# HUKUM KEDUA TERMODINAMIKA

### PENDAHULUAN

Modul ini merupakan modul keempat dari mata kuliah Termodinamika yang menjelaskan tentang hukum kedua termodinamika yang membahas mengenai aliran kalor. Saat ingin menaikkan temperatur atau suhu benda, kamu bisa menambahkan benda kedua. Kemudian, menempelkannya ke benda pertama yang temperaturnya lebih tinggi. Misalnya, saat kamu ingin mendidihkan air, nantinya bisa menambahkan api untuk membuat suhu air bertambah. Jadi, kalor akan mengalir dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu lebih rendah. Lalu, bagaimana jika kamu ingin menurunkan suhu pada suatu benda? Jika benda bersuhu tinggi berubah menjadi lebih rendah, maka kalor pada benda tersebut bakal keluar dari benda. Contohnya, saat kamu ingin mendinginkan sendok yang panas, kemudian bisa menaruhnya di lantai yang dingin. Artinya, kalor dari sendok yang panas akan mengalir ke lantai dengan suhu yang jauh lebih rendah. Lalu, bagaimana jika benda kedua yang digunakan untuk menurunkan suhu memiliki temperatur yang sama atau lebih tinggi? Hal ini bisa dilakukan dengan memaksa kalor keluar.

Pada kegiatan belajar ini akan kita pelajari bagaimana keadaan kesetimbangan system, persamaan keadaan dan hukum gas ideal. Dalam modul ini, akan disajikan tiga kegiatan belajar, yaitu:

1. Kegiatan Belajar 1 : Perubahan usaha menjadi kalor dan sebaliknya
2. Kegiatan Belajar 2 : Mesin pemanas dan mesin pendingin Carnot
3. Kegiatan Belajar 3 : Hukum kedua termodinamika dan siklus Carnot

Setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan mampu menguraikan perubahan usaha menjadi kalor dan sebaliknya, membandingkan mesin pemanas dan mesin pendingin Carnot, serta menganalisis hukum kedua termodinamika, dan siklus Carnot cara bekerjasama dan bertanggungjawab. Secara lebih khusus lagi, Anda diharapkan dapat:

1. menguraikan perubahan usaha menjadi kalor dan sebaliknya
2. membandingkan membandingkan mesin pemanas dan mesin pendingin Carnot

3. menganalisis hukum kedua termodinamika, dan siklus Carnot

Agar Anda memperoleh hasil yang maksimal dalam mempelajari modul ini, ikuti petunjuk pembelajaran berikut ini.

1. Sebelum membaca materi in yang mau dipelajari, bacalah bagian Pendahuluan modul ini, sampai Anda memahami betul apa, untuk apa, dan bagaimana mempelajari modul ini.
2. Bacalah bagian demi bagian, temukan kata-kata kunci dan kata-kata yang Anda anggap baru.
3. Carilah dan baca pengertian kata-kata tersebut dalam daftar kata-kata sulit dalam modul ini atau dalam kamus yang ada.
4. Tangkaplah pengertian demi pengertian dari isi modul ini melalui pemahaman sendiri, tukar pikiran dengan sesama mahasiswa, dan dosen Anda.
5. Mantapkan pemahanan Anda melalui diskusi dengan sesama teman mahasiswa.
6. Lakukan semua kegiatan yang diajarkan sesuai dengan petunjuk modul. Karena di dalam pembelajaran modul ini kita akan melakukan beberapa pengamatandan percobaan.

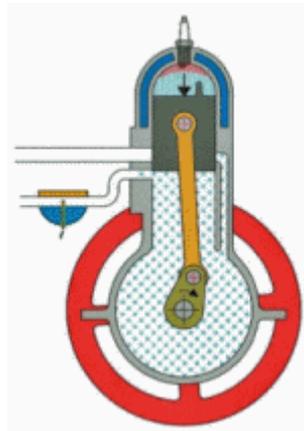
## Kegiatan Belajar 2

### Mesin Pemanas dan Pendingin Carnot

#### A. Mesin Kalor / Mesin Carnot

Berdasarkan Hukum Termodinamika I, Kalor yang siderap oleh sistem dapat menyebabkan gas melakukan usaha. Berdasarkan prinsip ini, dimungkinkan untuk merancang suatu mesin kalor yang dapat mengubah kalor (energy panas) menjadi kerja atau usaha. Mesin tersebut dinamakan Mesin Carnot.

**Mesin kalor bisa disebut juga Mesin Carnot.** Mesin ini merupakan **alat yang berfungsi mengubah energi panas menjadi energi mekanik.** Sebagai contohnya, mesin motor ojek online tadi. Hasil pembakaran dari bahan bakar diubah menjadi energi gerak dalam mesin mobil.



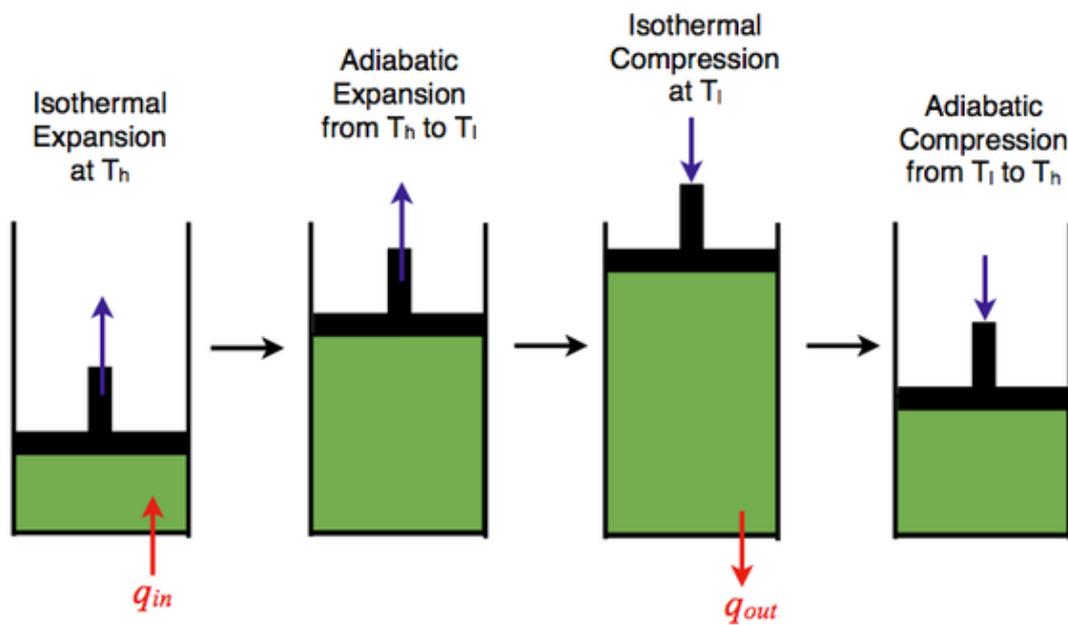
**Gambar 4.1.** Rangkaian mesin motor yang bergerak karena adanya energi panas dari hasil pembakaran bahan bakar. (sumber: giphy.com)

Gambar di atas tadi merupakan piston yang ada pada **mesin kendaraan** yang menggunakan **prinsip aliran kalor spontan.** **Mesin carnot** memanfaatkan **prinsip kalor yang mengalir dari suhu tinggi ke suhu rendah tanpa perlu melakukan usaha.** Saat aliran kalor terjadi, **panas yang mengalir diubah menjadi usaha,** misalnya gerak. Konsep tersebutlah yang ditemukan oleh Nicolas Leonard Sadi Carnot.



**Gambar 4.2.** Nicolas Leonard Sadi Carnot (sumber: theapricity.com)

Supaya dapat menghasilkan usaha, **mesin carnot** perlu menjalani **empat buah langkah** yaitu **2 proses isotermal** dan **2 proses adiabatik**. Gambarannya itu seperti berikut..



**Gambar 4.3.** Siklus dalam mesin carnot (sumber: quora.com)

Pertama-tama, **gas mengalami pemuain isotermal**. Pada saat ini, **gas menyerap kalor  $Q_1$**  dari reservoir suhu tinggi  $T_1$  dan melakukan usaha. Kemudian, **gas mengalami pemuain adiabatik**. Pada proses ini, **gas juga melakukan usaha**.

Setelah melalui 2 proses pemuain, **gas mengalami kompresi/penyusutan isotermal**. **Gas membuang kalor  $Q_2$**  ke reservoir suhu rendah  $T_2$ . Pada proses ini, **gas mendapatkan usaha**. Akhirnya, di **proses terakhir gas mengalami kompresi/penyusutan**

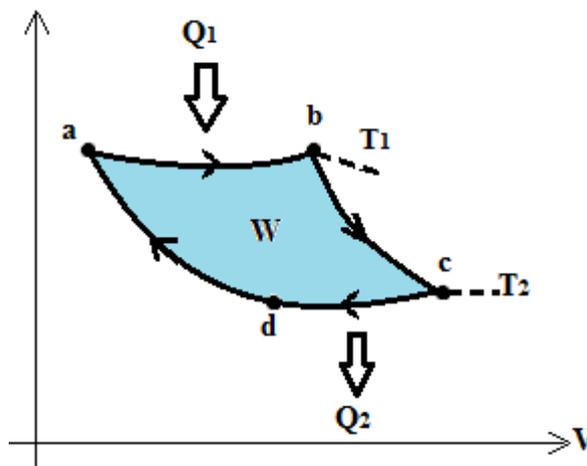
**adiabatik.** Pada proses ini, gas *mendapatkan* usaha kembali, dan kembali ke bentuk semula. Berhubung **proses ini mengembalikan kondisi gas ke kondisi semula**, maka **siklus ini tidak mengalami perubahan energi dalam**. Maka, persamaan termodinamikanya menjadi

$$\Delta Q = W + \Delta U$$

$$\Delta Q = W + 0$$

$$Q_1 - Q_2 = W$$

Lebih jelas kurva mesin Carnot dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



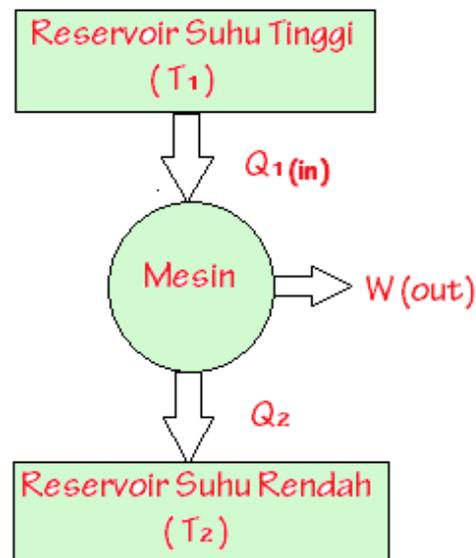
**Gambar 4.4.** Kurva Carnot

Proses a-b dan proses c-d adalah proses isotermik Proses b-c dan proses d-a adalah proses adiabatik. Mesin Carnot bekerja berdasarkan proses termodinamika yang terdiri atas dua proses isotermik dan dua proses adiabatik. Prinsip mesin Carnot digambarkan dalam grafik p – V dan membentuk siklus Carnot. Perhatikan siklus Carnot seperti pada gambar:

- a. Proses A-B, disebut pemuaian isotermik pada suhu konstan  $T_1$ . Kalor  $Q_1$  diberikan kepada sistem sehingga gas mengembang atau memuai dan melakukan usaha.
- b. Proses B – C, disebut pemuaian adiabatik. Suhu sistem berubah dari  $T_1$  menjadi  $T_2$  dan gas melakukan usaha dari perubahan energy dalam sistem.
- c. Proses C – D, disebut penyusutan isotermik pada suhu konstan  $T_2$ , Kalor  $Q_2$  dilepaskan dari sistem kelilingungan sehingga gas menyusut dan usaha dilakukan kepada sistem.

- d. Proses D –A, disebut penyusutan Adiabatik. Suhu sistem berkurang dari  $T_2$  menjadi  $T_1$  dan usaha dilakukan kepada gas. Karena tidak ada perubahan suhu yang terjadi pada keseluruhan siklus, perubahan energy dalam sama dengan nol. Jadi, usaha  $W$  yang dilakukan oleh mesin dalam keseluruhan siklus adalah selisih kalor yang diberikan kedalam sistem  $Q_1$  dengan kalor yang dilepaskan  $Q_2$ .

$$W = Q_1 - Q_2$$



Menurut Nicolas Carnot, **mesin yang ideal** adalah **mesin yang sanggup mengubah seluruh panas menjadi usaha**. Sayangnya, mesin ideal itu tidak pernah ada. Semua mesin tidak dapat mengubah seluruh panas menjadi usaha. Sebagian besar panas terbuang sia-sia. Sebagian lagi menjadi bunyi, getaran, atau asap dan hanya sebagian kecil yang menjadi usaha.



**Gambar 4.6.** Hasil pembakaran mesin ada yang menjadi asap (sumber: giphy)

Oleh karena itu, ada konsep yang dikenal dengan **efisiensi mesin Carnot**. Efisiensi adalah **perbandingan dari panas yang berubah menjadi usaha dengan panas yang diserap**. Mudah-mudahan ini Squad, **hasil bagi antara usaha yang dilakukan dengan kalor yang diserap**. Rumusnya seperti ini.

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

Sementara di atas sudah disebutkan bahwa  $Q_1 - Q_2 = W$ , maka

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Nah, karena  $Q_1 = T_1$  dan  $Q_2 = T_2$ , maka rumus di atas dapat juga berubah menjadi

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

### **Contoh Soal**

Sebuah mesin Carnot bekerja diantara suhu 107 °C dan 487 °C. Jika mesin tersebut menyerap kalor 800 joule, tentukan jumlah kalor yang dibuang dalam joule!

Penyelesaian :

Diketahui :  $T_1 = (487 + 273) \text{ K} = 760 \text{ K}$

$T_2 = (107 + 273) \text{ K} = 380 \text{ K}$

$Q_1 = 800 \text{ joule}$

Ditanya :  $Q_2 ?$

Jawab :  $\eta = 1 - Q_2/Q_1$

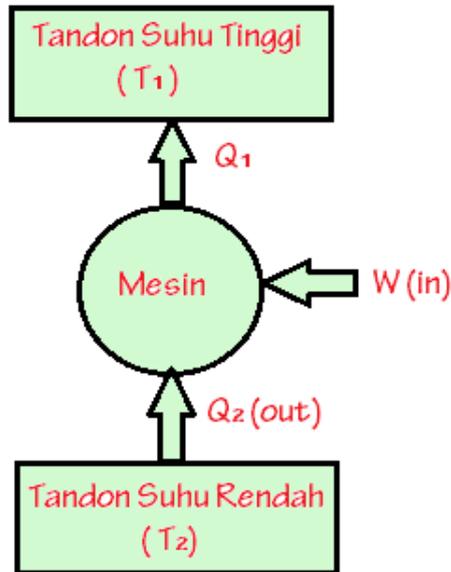
$= 1 - T_2/T_1$

$800 = (380/760) Q_2$

$= 400 \text{ J}$

### **B. Mesin Pendingin**

Prinsip dasar mesin pendingin berlawanan dengan mesin kalor. Mesin pendingin pada dasarnya mengambil (melepaskan) kalor dari sistem ke lingkungan atau memindahkan kalor dari reservoir dingin ke reservoir panas. Usaha diperlukan atau dikerjakan pada sistem agar mekanisme ini dapat berlangsung.



Kalau kamu di dalam ruangan ber-AC, apa yang kamu rasakan? Sejuk kan? Nah, coba kalau kamu berdiri di samping benda ini yang sebenarnya masih satu paket dengan AC yang kamu rasa sejuk itu, gimana rasanya? Panas kan? Itu dia. Mesin pendingin seperti AC itu kebalikan dari mesin carnot. **Mesin pendingin membuang kalor dari tempat dingin ke tempat panas dan membutuhkan usaha supaya proses tersebut bisa berjalan. Mesin pendingin membutuhkan usaha.**



**Gambar 4.8.** Kompresor dan kondensator AC mengeluarkan hawa panas  
(sumber:artomorobarokahteknik.com)

Kenapa perlu usaha? Ini karena **proses pada mesin pendingin adalah tidak spontan**. Usaha yang dibutuhkan untuk menjalankan mesin pendingin dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$W = Q_1 - Q_2$$

Nah, seperti mesin carnot, **mesin pendingin juga tidak ideal**, alias **tidak dapat mengubah semua usaha untuk membuang panas**. Ada sebagian usaha yang dilakukan terbuang menjadi panas lagi, menjadi bunyi, dan atau menjadi getaran.

Jika mesin pendingin itu ideal, maka persamaan yang berlaku adalah

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Nah, **ketidakidealan mesin pendingin** dapat dilihat dari **koefisien performansi**. Pada dasarnya, ini adalah “**efisiensi versi mesin pendingin**”. Koefisien performansi ditunjukkan dengan:

$$C_P = \frac{Q_2}{W}$$

Karena  $W = Q_1 - Q_2$ , maka

$$C_P = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

Atau, karena

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

maka

$$C_P = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

## LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

1. Mesin sebuah mobil mempunyai efisiensi 20 persen dan menghasilkan rata-rata 23.000 J kerja mekanik perdetik (s) selama operasinya. Berapa besar kalor yang dibuang dari mesin ini per detik (s)?
2. Sebuah mesin uap bekerja antara 500 °C dan 270 °C. Berapa efisien maksimum yang mungkin dari mesin ini?
3. Sebuah pompa kalor mempunyai koefisien kinerja 3,0 dan melakukan kerja pada 150 W.
  - a. Berapabesar kalor yang bisa ditambahkan ke sebuah ruangan per detik (s)?
  - b. Jika pompa kalor bisa dibalikkan untuk berfungsi sebagai penyejuk udara di musim panas, berapa koefisien kinerja yang anda harapkan, dengan menanggapi semuanya tetap sama?
4. Temperatur rendah dari kumparan pendingin sebuah alat pembeku adalah sebesar -15 °C dan temperature pembuangan adalah 30 °C. Berapa koefisien kinerja teoritis maksimum?
5. Lemari es restoran mempunyai koefisien kinerja 5,0. Jika temperature di dapur, diluar lemari es tersebut adalah 29 °C, berapa temperature terendah yang bisa di dapat di dalam lemari es jika ideal?

## DAFTAR PUSTAKA

Cengel & Turner. (2005). Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences. Boston: McGraw-Hill Higher Education.

Cengel & Boles. (2006). Thermodynamics, An Engineering Approach. Boston: McGraw Hill Higher Education.

Giancoli, D.C. (2004). Physics volume I. New Jersey: Prentice Hall

Halliday, D., Resnick, R. (1997). Physics, terjemahan: Patur Silaban dan Erwin Sucipto. Jakarta: Erlangga.

Tipler, P.A. (1998). Fisika untuk Sains dan Teknik. Jakarta: Erlangga.

Serway, R. (1990). Physics for Scientists & Engine

Suparno, P. (2011). Pengantar Termodinamika. Yogyakarta: USD.