BAB IV

ENTROPI GAS SEMPURNA

Istilah entropi secara literatur berarti transformasi, dan diperkenalkan oleh Claussius. Entropi adalah sifat termodinamika yang penting dari sebuah zat, dimana harganya akan meningkat ketika ada penambahan kalor dan menurun ketika terjadi pengurangan kalor. Adalah sulit untuk mengukur entropi, tetapi akan mudah untuk mencari perubahan entropi dari suatu zat. Pada jangkauan kecil temperature, kenaikan atau penurunan entropi jika dikalikan dengan temperature akan menghasilkan jumlah kalor yang diserap atau dilepaskan oleh suatu zat. Secara matematis:

$$dQ = T.ds$$

dimana: dQ = Kalor yang diserap

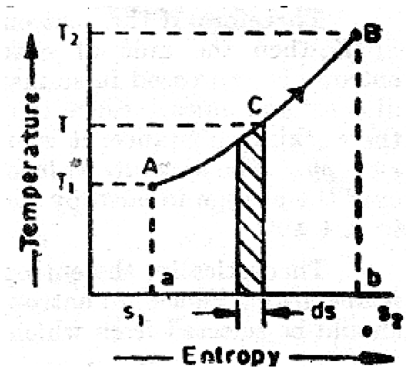
T = temperatur absolut

ds = kenaikan entropi.

Persamaan di atas juga bisa digunakan untuk kalor yang dilepaskan oleh suatu zat, dalam hal ini *ds* menjadi penurunan entropi.

Para ahli teknik dan ilmuwan menggunakan entropi untuk memberikan jawaban cepat terhadap permasalahan yang berkaitan dengan ekspansi adiabatik.

Hubungan Antara Kalor Dengan Entropi



Gambar 1. Kurva Temperatur-Entropi.

Misalkan pemanasan suatu zat ditunjukkan oleh kurva dari *A* ke *B* pada gambar 1, dimana sumbu-x merupakan entropi dan sumbu-y adalah temperatur mutlak. Grafik ini dikenal dengan diagram temperatur-entropi (*T-s*).

Misalkan titik *C* pada kurva. Pada titik ini, katakan ada sejumlah kecil kalor (*dQ*) yang diberikan ke zat, yang akan menaikkan entropi sebesar *ds*. Katakan temperatur absolut pada titik ini *T*. Maka sesuai dengan definisi entropi:

$$dQ = T.ds \qquad \text{(i)}$$

Dalam hal ini, $T.ds$ diwakili oleh daerah yang diarsir pada kurva selama terjadi perubahan entropi. Maka luas daerah di bawah kurva *AB* bisa dicari dengan mengintegralkan persamaan (i), sehingga:

$$= \int T.ds = \int dQ \qquad \text{... dari persamaan (i)}$$

= kalor total yang diberikan atau diserap

$$ds = \frac{dQ}{T}$$

Perubahan total entropi diperoleh dengan mengintegralkan persamaan di atas:

$$\int_{s_1}^{s_2} ds = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T} \qquad \text{(ii)}$$

Catatan: 1. Daerah dibawah diagram *T-s* pada proses termodinamika apa saja merupakan jumlah kalor yang diserap atau dilepaskan selama proses.

2. Karena $\int \frac{dQ}{T}$ adalah sama untuk semua jalur reversibel antara *A* dan *B*, sehingga disimpulkan bahwa harga ini tidak bergantung pada jalur/lintasan dan hanya merupakan fungsi keadaan. Entropi bisa dinyatakan sebagai fungsi sifat termodinamika yang lain dari sistem, seperti tekanan atau temperatur dan volume.

Satuan Entropi

Satuan entropi bergantung pada satuan kalor yang digunakan dan temperatur mutlak. Entropi dinyatakan per satuan massa zat. Kita tahu bahwa:

$$\text{Perubahan entropi} = \frac{\text{Kalor yang diberikan atau dilepaskan}}{\text{Temperatur mutlak}}$$

Sehingga jika satuan kalor adalah *kcal* dan temperatur dalam ^{0}K, maka satuan entropi adalah kcal/kg/^{0}K. Karena entropi dinyatakan per satuan massa zat, maka adalah benar jika entropi disebut sebagai *entropi spesifik*.

Secara teoritis, entropi suatu zat adalah *nol* pada *temperatur nol absolut*. Sehingga di dalam perhitungan entropi, referensi dasar yang mudah harus dipilih sehingga dari referensi ini pengukuran dilakukan. Perlu dicatat bahwa air pada 0^0 C diasumsikan mempunyai entropi nol, dan perubahan entropi dihitung dari temperatur ini.

Persamaan Umum Perubahan Entropi Gas Sempurna

Misalkan sejumlah tertentu gas sempurna dipanaskan oleh proses termodinamika tertentu. Dengan notasi sebagai berikut:

m = massa gas
p_1 = tekanan awal gas
v_1 = volume awal gas
T_1 = temperatur awal gas
p_2, v_2, T_2 = harga yang bersesuaian untuk kondisi akhir gas

Persamaan perubahan entropi selama proses bias dinyatakan dengan tiga cara berikut:

(a) *Dalam volume dan temperature absolut.*

Untuk perubahan kecil kondisi zat diberikan oleh persamaan:

$$dQ = dU + dW$$

$$= mC_v.dT + \frac{p.dv}{J} \qquad \text{... (i)}$$

dimana, dT = perubahan kecil temperatur
dv = perubahan kecil volume

Dengan membagi persamaan (i) dengan *T*,

$$\frac{dQ}{T} = mC_v.\frac{dT}{T} + \frac{p.dv}{JT}$$

karena $pv = mRT$ atau $\frac{p}{T} = \frac{mR}{v}$ dan $\frac{dQ}{T} = ds$

maka $ds = mC_v \frac{dT}{T} + \frac{m.R}{vJ} dv$ ... (ii)

Integralkan persamaan (ii) dengan batas yang tepat,

$$\int_{s_1}^{s_2} ds = m.C_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + \frac{mR}{J} \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v}$$

$$\left[s \right]_{s_1}^{s_2} = m.C_v \left[\ln T \right]_{T_1}^{T_2} + \frac{mR}{J} \left[\ln v \right]_{v_1}^{v_2}$$

sehingga:

$$\Delta s = s_2 - s_1 = m.C_v (\ln T_2 - \ln T_1) + \frac{mR}{J} (\ln v_2 - \ln v_1)$$

$$= m.C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{mR}{J} \ln \frac{v_2}{v_1} \qquad \text{... (iii)}$$

$$= m \left[C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{R}{J} \ln \frac{v_2}{v_1} \right]$$

$$= m \left[C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + (C_p - C_v) \ln \frac{v_2}{v_1} \right]$$

(b) *Dalam tekanan dan temperatur absolut*

Persamaan umum gas:

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{p_1}{p_2} \text{ x } \frac{T_2}{T_1}$$

Substitusikan persamaan di atas ke persamaan (iii):

$$s_2 - s_1 = m.C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{mR}{J} \ln \left[\frac{p_1}{p_2} \text{ x } \frac{T_2}{T_1} \right]$$

$$= mC_v \ln\frac{T_2}{T_1} + \frac{mR}{J}\ln\frac{p_1}{p_2} + \frac{mR}{J}\ln\frac{T_2}{T_1}$$

$$= m\ln\frac{T_2}{T_1}\left(C_v + \frac{R}{J}\right) + \frac{mR}{J}\ln\frac{p_1}{p_2} \qquad \text{(iv)}$$

Sekarang substitusi $R/J = C_p - C_v$ ke persamaan di atas.

$$s_2 - s_1 = mC_p \ln\frac{T_2}{T_1} + m(C_p - C_v)\ln\frac{p_1}{p_2} \qquad \text{(v)}$$

$$= m\left[C_p \ln\frac{T_2}{T_1} + (C_p - C_v)\ln\frac{p_1}{p_2}\right]$$

(c) *Dalam tekanan dan volume*

Persamaan umum gas:

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1} \text{ x } \frac{v_2}{v_1}$$

Dengan mensubstitusikan harga T_2 / T_1 ke persamaan (iii),

$$s_2 - s_1 = mC_v \ln\left(\frac{p_2}{p_1} + \frac{v_2}{v_1}\right) + \frac{mR}{J}\ln\frac{v_2}{v_1}$$

Substitusi $R/J = C_p - C_v$ ke persamaan di atas,

$$s_2 - s_1 = mC_v \ln\frac{p_2}{p_1} + mC_v \ln\frac{v_2}{v_1} + m(C_p - C_v)\ln\frac{v_2}{v_1}$$

$$= mC_v \ln\frac{p_2}{p_1} + mC_v \ln\frac{v_2}{v_1} + mC_p \ln\frac{v_2}{v_1} - mC_v \ln\frac{v_2}{v_1}$$

$$= mC_v \ln\frac{p_2}{p_1} + mC_p \ln\frac{v_2}{v_1} \qquad \text{(vi)}$$

$$= m\left[C_v \ln\frac{p_2}{p_1} + C_p \ln\frac{v_2}{v_1} \right]$$

Catatan: 1. Perubahan entropi positif bila kalor diserap oleh gas dan ada kenaikan entropi.

2. Perubahan entropi negatif bila kalor dilepaskan dari gas dan ada penurunan entropi.

Perubahan Entropi Gas Sempurna Pada Berbagai Proses Termodinamika

a. Perubahan entropi pada proses volume konstan

Misalkan sejumlah gas sempurna dipanaskan pada volume konstan. Proses ini digambarkan oleh kurva *AB* pada diagram *T-s* pada gambar 2.

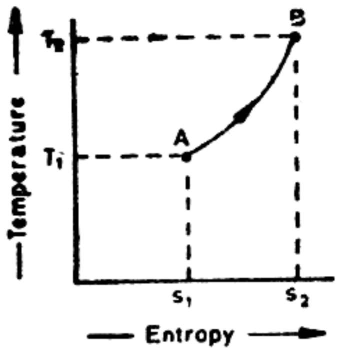
Untuk perubahan kecil temperatur (*dT*),

$$dQ = m.C_v.dT$$

Dengan membagi kedua sisi persamaan dengan *T,*

$$\frac{dQ}{T} = m.C_v.\frac{dT}{T}$$

$$ds = m.C_v.\frac{dT}{T}$$



Gambar 2. Kurva *T-s* pada proses volume konstan.

Dengan mengintegrasikan persamaan di atas, didapatkan perubahan total entropi,

$$\int_{s_1}^{s_2} ds = m.C_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T}$$

$$[s]_{s_1}^{s_2} = m.C_v [\ln T]_{T_1}^{T_2}$$

$$s_2 - s_1 = m.C_v \ln\frac{T_2}{T_1} \qquad \text{(i)}$$

Persamaan di atas bisa dinyatakan dalam variabel tekanan. Dari persamaan umum gas:

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2}$$

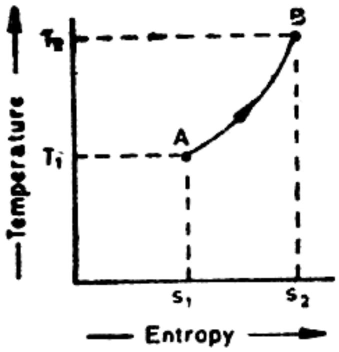
$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1} \qquad (v_1 = v_2)$$

Dengan mensubstituiskan harga T_2/T_1 ke persamaan (i)

$$s_2 - s_1 = m.C_v \ln \frac{p_2}{p_1} \qquad \text{(ii)}$$

b. Perubahan entropi pada proses tekanan konstan

Misalkan sejumlah gas sempurna dipanaskan pada tekanan konstan. Proses ini dilukiskan oleh kurva *AB* pada diagram *T-s* yang ditunjukkan gambar 3.



Gambar 3. Kurva *T-s* selama proses tekanan konstan.

Untuk perubahan kecil temperatur (*dT*), kalor yang diberikan:

$$dQ = m.C_p.dT$$

Dengan membagi kedua sisi persamaan di atas dengan *T*,

$$\frac{dQ}{T} = m.C_p.\frac{dT}{T}$$

$$ds = m.C_p.\frac{dT}{T}$$

Dengan mengintegralkan persamaan di atas:

$$\int_{s_1}^{s_2} ds = m.C_p \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T}$$

atau

$$s_2 - s_1 = m.C_p \ln \frac{T_2}{T_1} \qquad \text{(i)}$$

Persamaan di atas bisa dinyatakan dengan variabel volume.

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2}$$

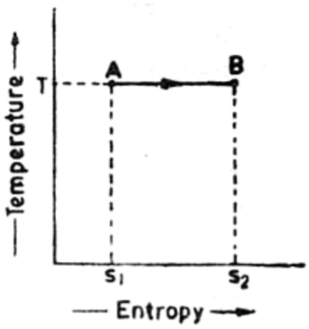
$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{v_2}{v_1} \qquad \text{karena } p_1 = p_2$$

Dengan mensubstitusikan harga T_2 / T_1 ke persamaan (i) maka,

$$s_2 - s_1 = m.C_p \ln \frac{v_2}{v_1}$$

c. Perubahan entropi pada proses temperatur konstan

Misalkan sejumlah gas sempurna dipanaskan pada temperatur konstan. Proses ini dilukiskan oleh kurva *AB* pada diagram *T-s* yang ditunjukkan gambar 4.



Gambar 4. Kurva *T-s* selama proses temperatur konstan.

Kita tahu bahwa selama proses temperatur konstan tidak ada perubahan energi dalam, dan kalor yang diberikan sama dengan kerja yang dilakukan oleh gas. Kita jga tahu bahwa kerja yang dilakukan pada proses temperatur konstan (isothermal) :

$$W = mRT \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

$$= \frac{mRT}{J} \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) \qquad \text{dalam satuan kalor.}$$

$$Q = W = \frac{mRT}{J}\ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

Kita tahu bahwa perubahan entropi,

= Kalor yang diberikan / Temperatur mutlak

atau

$$s_2 - s_1 = \frac{mRT}{JT}\ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

$$= \frac{mR}{J}\ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) \qquad \text{(i)}$$

$$= m(C_p - C_v)\ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

Persamaan di atas bisa juga dinyatakan dengan variabel tekanan.

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{p_1}{p_2} \qquad \text{karena } T_1 = T_2$$

Dengan mensubstitusikan harga v_2/v_1 ke persamaan (i)

$$s_2 - s_1 = \frac{mR}{J}\ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$$

$$= m(C_p - C_v)\ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$$

d. Perubahan entropi pada proses politropik (pv^n = konstan)

Pada proses politropik, sejumlah kecil panas diserap oleh gas selama ekspansi mengikuti rumus:

$$dQ = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \mathrm{X}\, W$$

$$= \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \text{X} \frac{p.dv}{J}$$

Dengan membagi persamaan di atas dengan *T* diperoleh:

$$\frac{dQ}{T} = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \text{X} \frac{p.dv}{JT}$$

Substitusi $\frac{dQ}{T} = s, \text{dan } \frac{p}{T} = \frac{mR}{v}$

Sehingga:

$$ds = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \text{X} \frac{mR}{J} \text{X} \frac{dv}{v}$$

Dengan mengintegralkan persamaan di atas, maka:

$$\int_{s_1}^{s_2} ds = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} X \frac{mR}{J} \int_{v1}^{v2} \frac{dv}{v}$$

$$s_2 - s_1 = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \text{X} \frac{mR}{J} \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

$$= m \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \text{X} \frac{R}{J} \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) \qquad \text{(i)}$$

$$= m \frac{\frac{C_p}{C_v} - n}{\gamma - 1} \text{X} C_v (\gamma - 1) \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) \qquad \left(\because \frac{R}{J} = C_v(\gamma - 1)\right)$$

$$= m(C_p - nC_v) \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) \qquad \text{(ii)}$$

Persamaan di atas bisa ditulis dalam temperatur dan tekanan mutlak.

Pada proses politropik:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{n-1} \quad \text{dan} \quad \frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{n-1}}$$

Dengan mensubstitusikan harga di atas ke persamaan (i):

$$s_2 - s_1 = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \mathrm{X} \frac{mR}{J} \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$= m\frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \mathrm{X} \frac{R}{J} \mathrm{X} \frac{1}{n-1} \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)$$

$$= m\frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \mathrm{X} C_v(\gamma - 1) \mathrm{X} \frac{1}{n-1} \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)$$

$$= mC_v \frac{\gamma - n}{n-1} \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)$$

Kita juga tahu bahwa pada proses politropik:

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{atau} \quad \frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}}$$

Dengan mensubstitusikan harga di atas ke persamaan (i):

$$s_2 - s_1 = m\frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \mathrm{X} \frac{R}{J} \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}}$$

$$= m\frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \mathrm{X} \frac{R}{J} \frac{1}{n} \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$$

$$= m\frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \mathrm{X} C_v(\gamma - 1) \mathrm{X} \frac{1}{n} \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$$

$$= mC_v \frac{\gamma - n}{n} \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$$

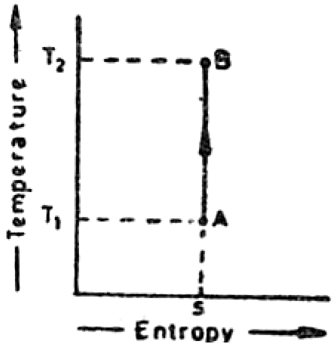
Perubahan Entropi Selama Proses Adiabatik (Proses Isentropik)

Pada proses adiabatik, tidak ada kalor yang memasuki atau meninggalkan gas. Secara matematik:

$$dQ = 0$$

sehingga:

$ds = 0$ karena $ds = dQ/T$



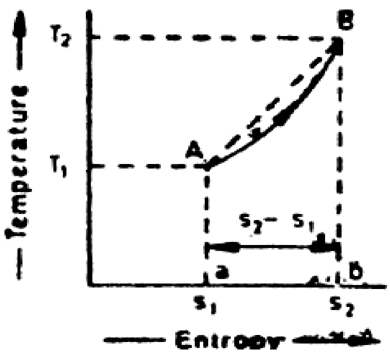
Gambar 5. kurva *T-s* selama proses adiabtik.

Atau dengan kata lain, perubahan entropi selama proses adiabatik adalah nol. Proses adiabatik pada grafik *T-s* ditunjukkan oleh garis vertikal *AB* pada gambar.

Karena entropi gas tetap selama ekspansi atau kompresi adiabatik pada gas, proses ini disebut *isentropik*.

Metode Pendekatan Untuk Penyerapan Kalor

Misalkan 1 kg gas sempurna dipanaskan pada suatu proses. Misalkan proses ini ditunjukkan oleh kurva *AB* pada diagram *T-s* seperti gambar 6.



Gambar 6. Kalor yang diserap karena perubahan entropi.

Jika: T_1 = temperatur awal gas

T_2 = temperatur akhir gas

s_1 = entropi awal gas

s_2 = entropi akhir gas

Kita tahu bahwa kalor yang diserap selama proses adalah sama dengan daerah di bawah kurva *AB* pada diagram *T-s* yaitu *ABba*. Misalkan *AB* adalah garis lurus (ditunjukkan oleh garis putus-putus), kita peroleh:

Kalor yang diserap = Daerah *ABba* = Alas X tinggi rata-rata

$$= (s_1 - s_2)\left(\frac{T_1 + T_2}{2}\right)$$

Jadi, kalor yang diserap kira-kira sama dengan perubahan entropi dikalikan dengan temperatur mutlak rata-rata.

Catatan: Metode ini disebut metode pendekatan, karena kita mengambil garis *AB* sebagai sebuah garis lurus.

Mesin Kalor dan Pompa Kalor

Sebuah reservoar panas adalah sebuah benda dengan kapasitas kalor yang tidak terbatas. Jika sejumlah kalor ditambahkan atau dikeluarkan dari reservoar panas, akan terjadi perubahan entropi terbatas pada temperatur konstan, dimana perubahan entropi:

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

Misalkan sejumlah kalor Q berpindah dari satu reservoar ke reservoar lainnya, Besarnya kalor sama bagi kedua reservoar namun tandanya berbeda (Q_H dan Q_C berbeda tanda), untuk kalor yang ditambahkan ke reservoar tandanya positif dan kalor dikeluarkan dari reservoar tandanya negatif. Sehingga:

$$Q_H = -Q_C$$

$$\Delta s_H = \frac{Q_H}{T_H} = \frac{-Q_C}{T_C} \quad \text{dan} \quad \Delta s_C = \frac{Q_C}{T_C}$$

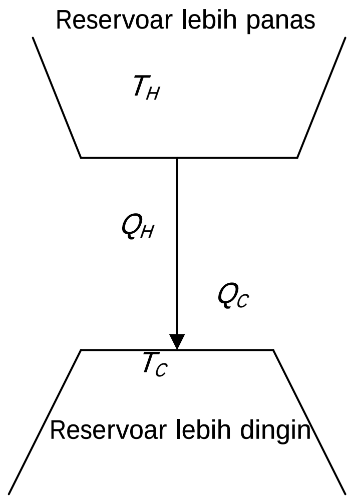
$$\Delta s_{total} = \Delta s_H + \Delta s_C = \frac{-Q_C}{T_H} + \frac{Q_C}{T_C} = Q_C\left(\frac{T_H - T_C}{T_H T_C}\right)$$

sesuai dengan hukum kedua, Δs_{total} harus positif, sehingga:

$$Q_C (T_H - T_C) > 0$$

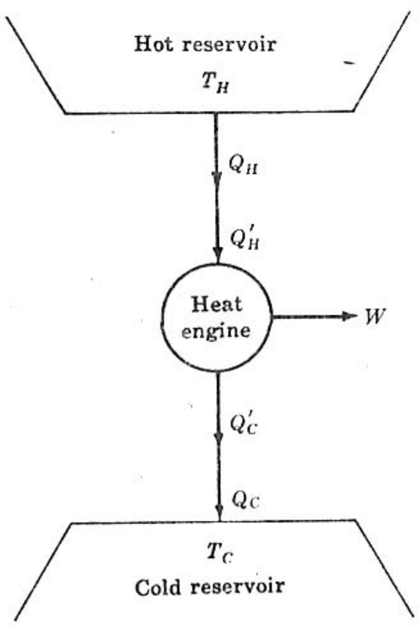
Sehingga $T_H > T_C$, Q_C harus positif, artinya kalor ditambahkan ke reservoir pada T_C.

Jadi kalor harus mengalir dari reservoir temperature yang lebih tinggi, T_H ke reservoar temperatur lebih rendah pada T_C.



Gambar 7. Aliran kalor dari reservoar lebih panas ke reservoar lebih dingin.

Mesin Kalor adalah: suatu alat atau piranti yang merubah kalor menjadi kerja.



Gambar 8. Mesin Kalor.

Perubahan entropi pada reservoar panas:

$$\Delta s_H = \frac{Q_H}{T_H} \quad \text{dan} \quad \Delta s_C = \frac{Q_C}{T_C}$$

Sejumlah kalor yang sama diberikan ke mesin, tetapi tandanya berlawanan.

$$Q_H = - Q_H' \quad \text{dan} \quad Q_C = - Q_C'$$

Perubahan entropi total:

$$\Delta s_{total} = \Delta s_H + \Delta s_C + \Delta s_{mesin}$$

Karena mesin tidak berubah, bagian terakhir adalah nol, sehingga:

$$\Delta s_{total} = \frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_C}{T_C} \tag{1}$$

Dari hukum pertama untuk mesin:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U_{mesin} = Q_H' + Q_C' - W$$

Karena mesin tidak berubah, maka ΔU_{mesin} = 0, sehingga:

$$W = Q_H' + Q_C' = -Q_H - Q_C \tag{2}$$

Kombinasi (1) dan (2) :

$$W = -T_H \Delta s_{total} + Q_C \left(\frac{T_H}{T_C} - 1 \right) \tag{3}$$

Pada proses ireversibel, Δs_{total} menjadi nol sehingga:

$$W = Q_C \left(\frac{T_H}{T_C} - 1 \right) \tag{4}$$

Supaya W positif, maka Q_C mesti positif.

Kombinasi (2) dan (4):

$$\frac{Q_C}{T_C} = \frac{-Q_H}{T_H}$$

$$\frac{W}{-Q_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

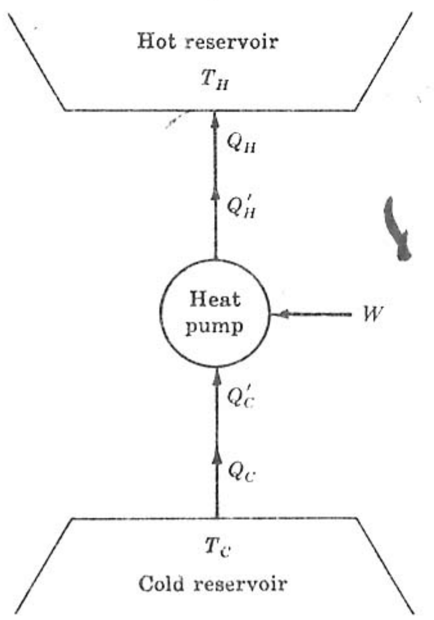
Karena Q_H adalah kalor yang keluar dari reservoir panas sehingga harganya adalah negatif, sehingga persamaan di atas ditulis tanpa tanda minus.

$$\frac{Q_C}{Q_H} = \frac{T_C}{T_H}$$

$$\frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

Persamaan W/Q_H dikenal juga dengan Efisiensi termal, η mesin kalor Carnot.

Mesin kalor reversible bisa dibalik, sehingga akan berfungsi sebagai **pompa kalor** atau **refrigerator** yaitu mesin yang merubah kerja menjadi kalor, seperti yang ditunjukkan gambar 9.



Gambar 9. Pompa Kalor.

Rumus yang sudah disebutkan di atas berlaku juga untuk pompa kalor. Perbedaan terletak pada arah kalor yang dipindahkan, dan kerja diberikan daripada dihasilkan.

Kualitas penting dari pompa kalor atau refrigerator adalah rasio kalor yang dipindahkan dari temperatur rendah terhadap kerja yang diperlukan, Q_C/W. Rasio ini disebut *koefisien performansi* atau *rasio energi pendinginan, ω*. Secara matematik:

$$\omega = \frac{Q_C}{W} = \frac{T_C}{T_H - T_C}$$