

IV.3. Kegunaan Hukum Termodinámika II

1. Menentukan efisiensi paling tinggi dari mesin panas atau KP yang maximum dari mesin pendingin.
2. Menentukan apakah proses dapat berlangsung atau tidak (irreversible atau reversible).
3. Menentukan arah atau derajat suatu reaksi kimia.
4. Menentukan skala temperatur yang tidak tergantung pada sifat-sifat fisik tiap zat.
5. Mendefinisikan suatu sifat yang sangat berguna.

IV.3.1 Proses Reversibel

1. Gerakan relative tanpa gesekan (licin)
2. Peregangan dan penekanan suatu pegas.
3. Ekspansi dan kompresi adiabatik tanpa gesekan.
4. Ekspansi dan kompresi isotermik
5. Ekspansi dan kompresi polintropik.
6. Elektrolisa

IV.3.2. Proses Irreversibel

1. Gerakan relatif dengan gesekan.
2. Ekspansi bebas (tidak ada kerja karena $Q = 0 \rightarrow U = 0$)
3. Pembakaran.
4. Proses difusi.

IV.3.3. Siklus Carnot

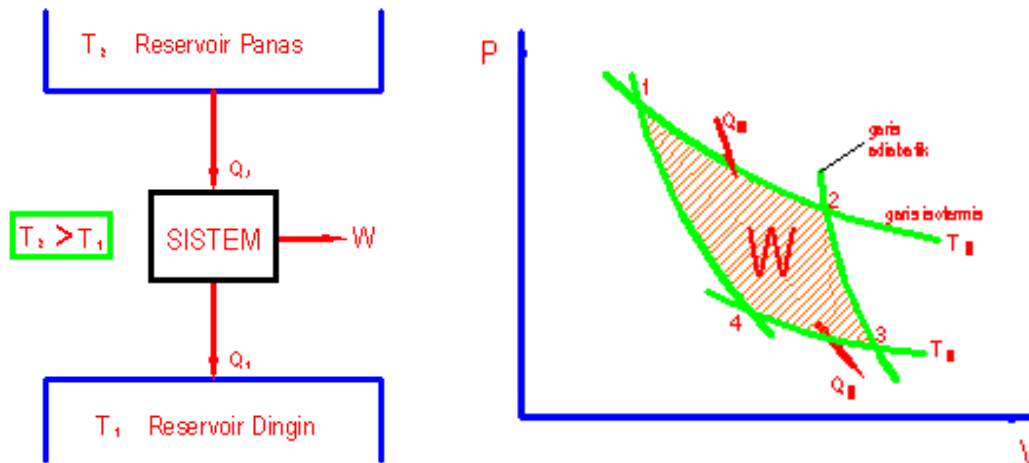
Siklus carnot ini terdiri dari :

- 2 proses isotermik
- 2 proses adiabatik reversible

Siklus carnot : Memiliki medium kerja yang menerima panas dari suatu temperatur dan melepaskannya pada temperatur yang lain \rightarrow jadi diperlukan dua reservoir yang berdasarkan

hukum termodinamika kedua merupakan jumlah minimum.

Siklus ini dapat terjadi pada proses-proses tak mengalir reversibel atau pada proses-proses stasioner.



Gambar 4.3. Siklus Carnot pada diagram P-V

Karena sistem mengalami satu siklus maka energi dalam tidak berubah, jadi $\Delta U = 0$. Maka Hukum Termodinamika I diperoleh:

- dimana :
- W adalah kerja total
 - Q2 panas yang diserap sistem
 - Q1 panas yang dilepaskan oleh sistem

Maka efisiensi termis siklus Carnot, yaitu hasil bagi kerja yang dilakukan sistem dengan panas yang diserap sistem pada temperatur tinggi :

$$\eta = \frac{W}{Q_2} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = 1 - \frac{Q_1}{Q_2}$$

Contoh:

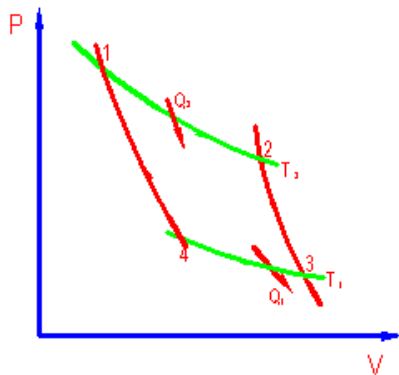
Perhitungan efisiensi termik mesin carnot yang menggunakan gas ideal :

Jawab:

untuk gas ideal: $PV = mRT$ atau $pv = RT$

$$du = C_v \cdot dT$$

- Proses 1-2 : proses isotermik, $pv = \text{konstan}$.



Gambar 4.4. Proses isotermik

$$W_{da} = \int_1^2 p dV = p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1} = p_1 v_1 \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$q = w = p_1 v_1 \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$q = w = RT_1 \ln \frac{p_1}{p_2}$$

Proses 2-3 : proses adiabatik reversible, $pv\gamma = \text{konstan}$, $dq = 0$.

$$W = -\Delta U = -C_v (T_3 - T_2) \quad \text{atau} \quad W = -\Delta U = -C_v (T_1 - T_2)$$

$$W = -\Delta U = C_v (T_2 - T_1)$$

$$W = -\Delta U = C_v (T_2 - T_1)$$

- Proses 3-4 : Proses isotermik ; $\Delta U = 0$

$$W_{da} = \int_3^4 p dV = -p_3 v_3 \ln \left(\frac{p_4}{p_3} \right)$$

$$q = w = -p_3 v_3 \ln \left(\frac{p_4}{p_3} \right) = -RT_3 \ln \left(\frac{p_4}{p_3} \right)$$

-Proses 4-1 : Adiabatik reversible $dq = 0$, $pv^\gamma = \text{konstan}$

$$w = -\Delta U = -C_v (T_1 - T_4)$$

$$\text{atau } w = -C_v (T_2 - T_1)$$

$$\oint dW = q_{1-2} - q_{3-4}$$

$$w = C_v (T_1 - T_2)$$

$$\oint dW = RT_2 \ln \left(\frac{p_1}{p_2} \right) - RT_1 \ln \left(\frac{p_4}{p_3} \right)$$

→ Jadi jumlah kerja siklus :

$$\oint dQ = \oint dW$$

→ Untuk proses adiabatik :

$$\frac{p_2}{p_3} = \left(\frac{T_2}{T_3} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$\frac{p_1}{p_4} = \left(\frac{T_1}{T_4} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$\frac{p_2}{p_3} = \frac{p_1}{p_4}$$

atau

$$\frac{p_4}{p_3} = \frac{p_1}{p_2}$$

$$\phi dW = RT_2 \ln \frac{p_1}{p_2} - RT_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = R(T_2 - T_1) \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$\eta_{th} = \frac{\phi dW}{q_{1-2}} = \frac{R(T_2 - T_1) \ln \frac{p_1}{p_2}}{RT \ln \frac{p_1}{p_2}} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

Jadi η Carnot hanya bergantung pada T_1 dan T_2 .

Maka akan diperoleh efisiensi carnot :

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

$$\eta = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

atau:

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

IV.4. Entropi

- Hukum Termodinamika II dalam bentuk ketidaksamaan clausius mengenai entropi
- Dari proses reversibel siklus carnot diketahui :

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

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

dimana : Q_2 = panas masuk sistem (+)
 Q_1 = panas keluar sistem (-)

Persamaan diatas ditulis :

$$\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} = \frac{\Sigma Q}{T} = 0$$

atau dapat ditulis

$$\phi_{rev} \frac{dQ}{T} = 0$$

Untuk suatu siklus yang irreversibel integral siklus ini akan lebih kecil dari nol dan dapat ditulis sebagai;

$$\phi_{irrev} \frac{dQ}{T} < 0$$

Persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut :

$$\phi \frac{dQ}{T} \leq 0 \quad \text{Ketidaksamaan clausius}$$

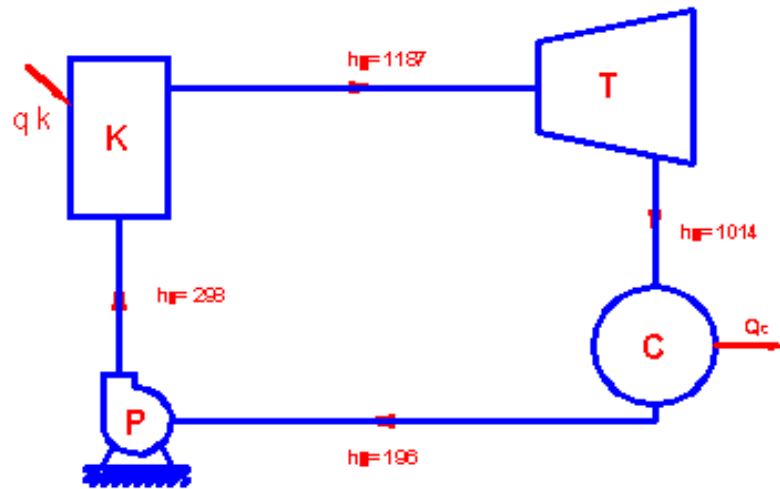
besaran $\frac{dQ}{T}$ merupakan parameter sistem dan disebut "Entropi"

Jadi entropi merupakan adalah perbandingan panas yang ditransfer selama proses reversibel dengan temperatur absolut sistem.

Contoh soal :

Sebuah mesin uap bekerja diantara sebuah ketel pada temperatur tetap 3280 F, dan sebuah kondensator dengan temperatur 1260 F. Air masuk kedalam ketel dalam keadaan cair jenuh. tunjukkanlah bahwa berlaku ketidaksamaan clausius untuk siklus ini.

Jawab



Perpindahan panas terjadi dalam ketel dan kondensor

Ketel :

$$q_k = h_2 - h_1$$
$$q_k = 1187 - 298 = 889 \text{ BTU/Lbm}$$

Kondensor

$$q_k = h_4 - h_3$$
$$\phi \frac{dq}{T} = \frac{q_k}{T} + \frac{q_c}{T} = \frac{889}{788} + \frac{818}{586} = -0,26 \text{ BTU/lbm,}^\circ\text{R}$$

Jadi integral siklus :

$$q_k = 196 - 1014 = -818 \text{ BTU/Lbm}$$

→ Berlaku ketidaksamaan Clausius.

Perbandingan panas yang ditransfer selama proses reversibel dengan temperatur absolut siklus.

$$ds = \left(\frac{dQ}{T} \right)_{rev}$$

Secara matematis

$$\Delta s = \int \left(\frac{dQ}{T} \right)_{rev}$$

atau

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{dQ}{T} \right)_{rev}$$

→ Perubahan Entropi dari keadaan 1 ke keadaan 2

IV.4.1. Perhitungan Perubahan Entropi

$$\Delta s = \int_1^2 \left(\frac{dQ}{T} \right)_{rev}$$

Perubahan Entropi

$$\Delta s = \int \left(\frac{dQ}{T} \right)_{rev} = \int \left(\frac{dU + dW}{T} \right)_{rev}$$

$$T ds = dU + p dV$$

dimana : $H = U + pV$

$$U = H - pV$$

$$T ds = d(H - pV) + p dV$$

$$T ds = dH - p dV$$

Satuan Entropi

$$S = \left\{ \frac{\text{Btu}}{\text{lbm}^\circ\text{R}} \right\}; \left\{ \frac{\text{Kal}}{\text{gr} \cdot \text{K}} \right\} \quad T ds = dH - V dp$$

(Entropi persatuan massa)

$$s = \left\{ \frac{\text{Btu}}{^\circ\text{R}} \right\}; \left\{ \frac{\text{Kal}}{\text{K}} \right\}$$

Untuk satu satuan massa :

$$T ds = dh + v dp$$

Contoh:

Hitunglah perubahan entropi untuk 3 kg gas ideal dengan $C_v = (18,94 + 0,0528 T) \text{ kg/kg K}$, selama proses volume tetap dari 75o C sampai 100o C.

Jawab :

Untuk gas ideal : $PV = RT, \quad du = C_v \cdot dT$

dalam satu satuan massa : $Tds = du + pdv$

$$Tds = C_v.dT + pdv$$

$$ds = c_v \frac{dT}{T} + \frac{P}{T} dv = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v}$$

$$s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_v \frac{dT}{T} + R \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} \rightarrow R \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} = 0 ; \text{ karena } v = \text{konstan}$$

$$s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} (18,94 + 0,0528T) \frac{dT}{T}$$

$$s_2 - s_1 = 18,94 \ln \frac{373}{348} + 0,0528 (373 - 348)$$

$$s_2 - s_1 = 2,627 \text{ KJ/kg K}$$

Untuk 3 kg, maka : $\Delta S = 3(2,627) = 7,881 \text{ KJ/kg}$

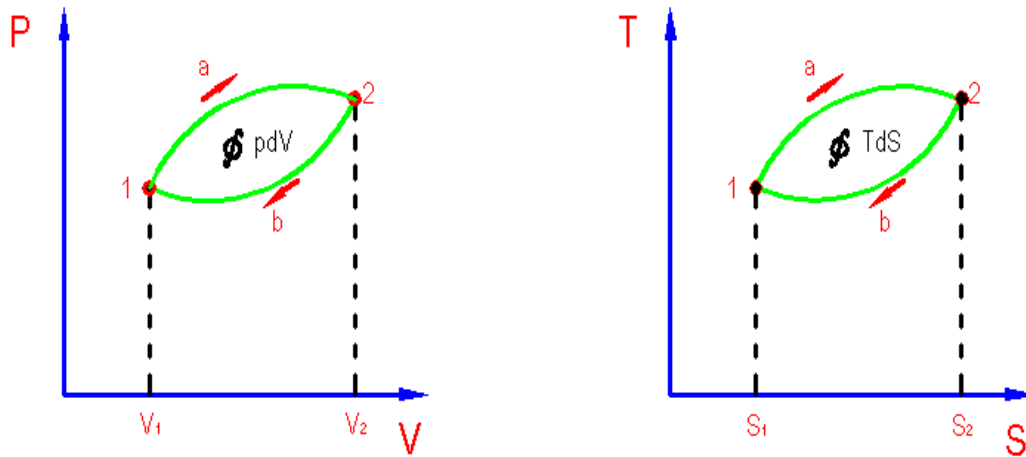
IV.4.2. Diagram Temperatur - Entropi

Dari persamaan :

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

atau $Q_{1-2} = \int_{s_1}^{s_2} T ds$

$$W_{12} = \int_1^2 p dv \quad Q_{12} = \int_1^2 T ds$$

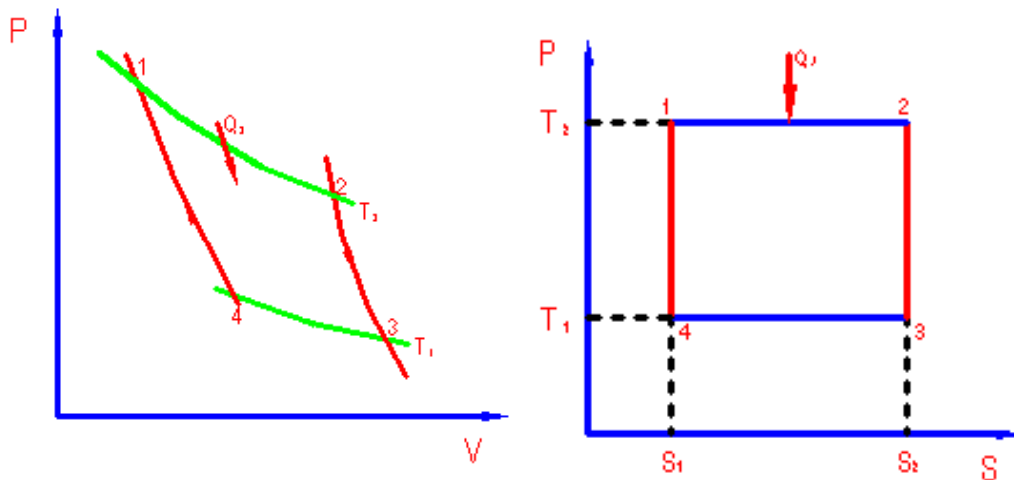


Gambar 4.5. Diagram P-v dan T-S

$$\oint \delta dW = \oint \delta dQ$$

$$\oint \delta p dV = \oint \delta T dS$$

Diagram P-V dan T-S menyatakan proses reversibel dapat kita ambil contoh pada proses / siklus carnot, sebagai berikut :



Gambar 4.6. Diagram P-V dan T-S pada Siklus Carnot

Garis 1-2 dan 3-4 : proses isotermik ($dT = 0$)

Garis 2-3 dan 4-1 : proses adiabatik reversibel ($dQ = 0 = T dS$) ; $T \neq 0$; $dS = 0$

Jadi, adiabatik reversibel = isontropik (entropi konstan)

Effisiensi siklus carnot dapat dihitung dari diagram T-S :

$$\eta_{th} = \frac{\oint dw}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{T_2(s_2 - s_1) - T_1(s_2 - s_1)}{T_2(s_2 - s_1)}$$

$$\eta_{th} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

IV.4.3. Azas Pertambahan Entropi

Azas pertambahan entropi dapat dilihat dari hubungan persamaan-persamaan di bawah ini.

$$\Delta S_{SK} = \Delta S_{System} + \Delta S_{Lingkungan} \geq 0$$

$$\Delta S_S + \Delta S_L = \Delta S_{KS} \quad (\text{untuk proses reversibel dan irreversibel})$$

Bila sistem diisolasi, maka tidak ada hubungan energi dengan lingkungan, sehingga entropinya tetap.

$$\Delta S_{LING} = 0$$

$$W = Q \left[\frac{T_2 - T_1}{T_2} \right] = Q \left[1 - \frac{T_1}{T_2} \right]$$

$$W = Q - T_1 \Delta S$$

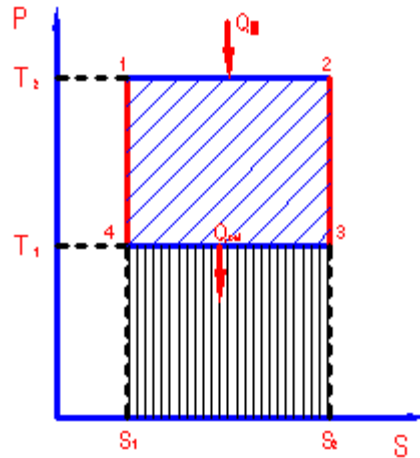
$$\Delta S_{SK} = \Delta S_{SYS} \geq 0$$

$$Q = \text{Energi yang masuk } T_1 \Delta S$$

$$T_1 \Delta S = \text{Energi yang hilang}$$

IV.4.4. Energi yang Hilang Pada Proses

Sebagai contoh pada siklus carnot :



Gambar 4.7. Siklus Carnot

Effisiensi siklus carnot dan hubungannya dengan temperatur :

$$\eta_{th} = \frac{W}{Q} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

$$\left(\frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \right) = \left(\frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in}} \right)$$

Jumlah kerja yang diperoleh :

$$W = Q \left[\frac{T_2 - T_1}{T_2} \right] = Q \left[1 - \frac{T_1}{T_2} \right]$$

$$W = Q - T_1 \Delta S$$

$$Q = \text{Energi yang masuk } T_1 \Delta S$$

$$T_1 \Delta S = \text{Energi yang hilang}$$