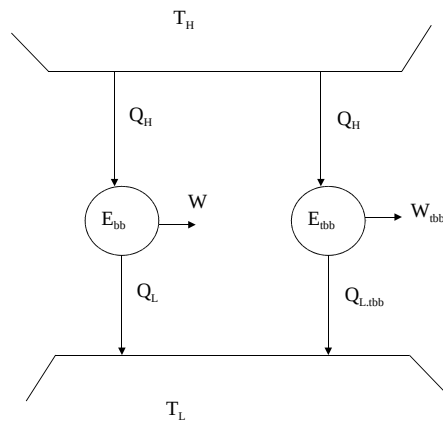


Ketaksamaan Clausius



Dua mesin haba antara dua suhu yang sama

Kaji $\frac{\delta Q}{T}$ seluruh kitaran

(a) E_{bb}

$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{bb} = \int \frac{\delta Q_H}{T_H} - \int \frac{\delta Q_L}{T_L}$$

$$= \frac{1}{T_H} \int \delta Q_H - \frac{1}{T_L} \int \delta Q_L$$

$$= \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_L}{T_L}$$

$$= 0$$

$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{bb} = 0$$

(b) E_{tbb}

$$Q_{L,tbb} > Q_L$$

$$Q_{L,tbb} = Q_L + \Delta Q$$

$$\begin{aligned} \oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{tbb} &= \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_{L,tbb}}{T_L} \\ &= \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_L + \Delta Q}{T_L} \\ &= \underbrace{\frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_L}{T_L}}_{=0} - \frac{\Delta Q}{T_L} \\ &= -\frac{\Delta Q}{T_L} < 0 \end{aligned}$$

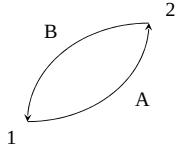
$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{tbb} < 0$$

Digabungkan menjadi:

$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$	Ketaksamaan Clausius
-----------------------------------	----------------------

$= 0$	jika bolehbalik
< 0	jika takbolehbalik

ENTROPI



$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{bb} = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_A + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_B = 0$$

$$\left. \begin{aligned} \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_A &= - \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_B \\ &= \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_B \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Tak bergantung} \\ \text{kepada laluan; sifat} \\ \text{termodinamik!} \end{array}$$

Namakan sifat ini sebagai entropi, S

$$dS \equiv \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{bb}$$

Entropi , **S** = sifat ekstensif

Entropi tentu, **s** = sifat intensif

$$\int_1^2 dS = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{bb}$$

Kita sebenarnya menakrifkan perubahan entropi

- Secara termodinamik statistik, entropi ~ ukuran **kecelaruan (disorder)** molekul
- **Kerja** adalah bentuk tenaga yg teratur (Kualiti tinggi)
- Tiada *pemindahan entropi* mengiringi pemindahan kerja
- **Haba** adalah bentuk tenaga tidak teratur (Kualiti rendah)
- *Entropi dipindah* bersama-sama pemindahan haba

“Entropi = sifar untuk bahan tulin (hablur) pada 0 K”
Hukum Ketiga Termodinamik

Entropi dengan titik rujukan pada 0 K dinamakan *entropi mutlak*

Hubungan-hubungan T-ds

Untuk mendapatkan hubungan antara δQ dan T supaya kamilan $\delta Q/T$ boleh dibuat.

- Dari **Hukum Pertama** (abaikan Ke & PE)

$$Q - W = U$$

$$\delta Q_{bb} - \delta W_{bb} = dU$$

$$\delta Q_{bb} = TdS$$

$$\delta W_{bb} = pdV$$

$$TdS - pdV = dU$$

$$TdS = dU + pdV$$

$$TdS = du + pdv$$

← (a)

- Dari takrif **entalpi**

$$h = u + pv$$

$$dh = du + pdv + vdp$$

$$du = dh - pdv - vdp$$

Dari (a)

$$TdS = du + pdv$$

$$= dh - pdv - vdp + pdv$$

$$TdS = dh - vdp$$

← (b)

$$TdS = du + pdv$$

$$TdS = dh - vdp$$

→

$$ds = \frac{du}{T} + \frac{pdv}{T}$$

&

$$ds = \frac{dh}{T} - \frac{vdp}{T}$$

- Boleh dipakai untuk ΔS kesemua proses (bb & tbb)
- Boleh dipakai untuk sistem terbuka & tertutup

Perubahan entropi bahan tulin

-Boleh didapati dari perhubungan Tds bersama-sama perhubungan termo lain
 -Untuk bahan 2 fasa seperti *air* dan *R-12*, jadual sifat hendaklah digunakan

$$\Delta S = S_2 - S_1$$

Untuk **ideal gas**, dari hubungan Tds

$$ds = \frac{du}{T} + \frac{pdv}{T}$$

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

$$\int ds = \int C_v \frac{dT}{T} + \int R \frac{dv}{v}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$du = C_v dT$$

$$pv = RT \rightarrow \frac{p}{T} = \frac{R}{v}$$

Anggap C_v = malar & kamilkan

Satu lagi,

$$dh = C_p dT$$

$$pv = RT \rightarrow \frac{p}{T} = \frac{R}{v}$$

Anggap C_p = malar & kamilkan

$$ds = \frac{dh}{T} - \frac{vdp}{T}$$

$$ds = C_p \frac{dT}{T} - R \frac{dp}{p}$$

$$\int ds = \int C_p \frac{dT}{T} - \int R \frac{dp}{p}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

Kedua-dua persamaan memberikan hasil yang sama;
 Pilih ikut data yang ada..

Proses-proses seentropi, $\Delta S = 0$

Untuk **ideal gas**, dengan C_p & C_v malar

$$\Delta S = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} = 0$$

$$C_v \ln \frac{T_2}{T_1} = -R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = -\frac{R}{C_v} \ln \frac{v_2}{v_1} = \ln \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{R/C_v}$$

$$\rightarrow \ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

$$\begin{aligned} C_p - C_v &= R \\ k &= \frac{C_p}{C_v} \\ \therefore \frac{R}{C_v} &= k - 1 \end{aligned}$$

11

Satu lagi

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1} = 0$$

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = \frac{R}{C_p} \ln \frac{p_2}{p_1}$$

$$= \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{R/C_p}$$

$$= \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$\begin{aligned} C_p - C_v &= R \\ \frac{R}{C_p} &= \frac{C_p}{C_p} - \frac{C_v}{C_p} = 1 - \frac{1}{k} \\ \therefore \frac{R}{C_p} &= \frac{k-1}{k} \end{aligned}$$

Gabungkan menjadi

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

Ideal gas,
 C_p, C_v malar

12

Hubungan Kerja Sistem Terbuka

Kerja sempadan bb *sistem tertutup* $w_B = \int p dv$

Kerja bb *sistem terbuka* dari H1 (1 salur masuk, 1 salur keluar)

$$\delta q_{bb} - \delta w_{bb} = dh + d(ke) + d(pe)$$

$$\delta q_{bb} = Tds$$

$$Tds = dh - vdp$$

$$\rightarrow \delta q_{bb} = dh - vdp$$

$$\cancel{dh} - vdp - \delta w_{bb} = \cancel{dh} + d(ke) + d(pe)$$

Jika ke & pe diabaikan, & susun semula;

$$\delta w_{bb} = -vdp$$

$$w_{bb} = -\int_1^2 vdp \quad \text{Kerja bb } \underline{\text{sistem terbuka}}$$

13

Prinsip Penambahan Entropi

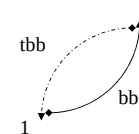
-Utk proses bb, entropi alam (sist + sek.) tidak berubah, ia hanya dipindahkan (bersama-sama pemindahan haba)

-Dlm proses sebenar, kesan2 ke-tbb-an menyebabkan entropi alam bertambah.

-Takungan haba tak mempunyai ke-tbb-an

-Untuk memudahkan analisa, anggap semua ke-tbb-an wujud hanya di dalam *sistem* yang dikaji.

-Di dalam *sistem*, *pemindahan* entropi dan juga *penjanaan* entropi berlaku



Kitaran ini kitar tbb kerana salah satu prosesnya tbb

Dari Kenyataan Clausius;

$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{tbb} < 0$$

$$\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{tbb} + \underbrace{\int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{bb}}_{=\Delta S = S_2 - S_1} < 0$$

$$\rightarrow S_2 - S_1 + \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{tbb} < 0$$

14

Susun semula

$$S_2 - S_1 < -\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{tbb}$$

$$S_2 - S_1 > \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{tbb}$$

Amkan untuk semua proses

$$S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{gen}$$

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T_b} \right) + S_{gen}$$

Perubahan
entropi
sistem

Pemindahan
entropi (T di mana
Q dipindahkan,
biasanya di
sempadan

Penjanaan
entropi

= bila bb
> Bila tbb
< mustahil

S_{gen} = entropi terjana
= 0 bila bb
> 0 bila tbb
< 0 mustahil

15

S_{gen} adalah ukuran ke-tbb-an yg terlibat ketika proses

$$\Delta S_{total (alam)} = \Delta S_{sekitaran} + \Delta S_{sistem} \geq 0$$

ΔS sekitaran atau sistem boleh berkurang (-ve), tetapi ΔS total (sekitaran + sistem) mesti > 0

Entropi alam sentiasa *bertambah* (prinsip penambahan entropi)

Tiada prinsip keabadian entropi

Untuk sesuatu proses berlaku, $S_{gen} > 0$

16

Penjanaan Entropi Sistem Tertutup

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int \frac{\delta Q}{T_b} + S_{gen}$$

$$S_2 - S_1 = \frac{Q}{T_b} + S_{gen}$$

Utk banyak pemindahan haba pada suhu-suhu berlainan

$$S_2 - S_1 = \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{T_j} + S_{gen}$$

$$\frac{dS}{dt} = \sum_{j=1}^n \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \dot{S}_{gen} \quad \text{Dlm bentuk kadaran}$$

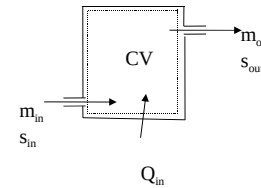
$$dS = \sum_{j=1}^n \frac{\delta Q_j}{T_j} + \delta S_{gen} \quad \text{Dlm bentuk selisihan}$$

δS_{gen} - bergantung kepada proses (geseran, ΔT etc.)
- bukan sifat

17

Penjanaan Entropi Sistem Terbuka

Di samping haba, **jisim keluar/masuk** juga membawa entropi bersama-samanya



$$\Delta S_{CV} = \sum_{j=1} \frac{Q_j}{T_j} + \sum S_{in} - \sum S_{out} + S_{gen}$$

$$\Delta S_{CV} = \sum_{j=1} \frac{Q_j}{T_j} + \sum m s_{in} - \sum m s_{out} + S_{gen}$$

$$\frac{dS_{CV}}{dt} = \sum_{j=1} \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum \dot{m} s_{in} - \sum \dot{m} s_{out} + \dot{S}_{gen}$$

Kadar
perubahan
entropi
sistem

Kadar pemindahan
entropi

Kadar
penjanaan
entropi

18

Proses Aliran Mantap

$$\frac{dm_{CV}}{dt} = 0 \rightarrow \boxed{\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out}}$$

$$\frac{dS_{CV}}{dt} = 0$$

$$\frac{dS_{CV}}{dt} = \sum_{j=1} \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_o s_o + \dot{S}_{gen}$$

$$\boxed{0 = \sum_{j=1} \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_o s_o + \dot{S}_{gen}}$$

1 masuk / 1 keluar:

$$0 = \sum_{j=1} \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \dot{m}(s_i - s_o) + \dot{S}_{gen}$$

$$s_o - s_i = \sum_{j=1} \frac{\dot{Q}_j / \dot{m}}{T_j} + \frac{\dot{S}_{gen}}{\dot{m}}$$

Proses adiabatik bolehbalik = proses seentropi

Proses seentropi tak semestinya adiabatik bb.

Proses bolehbalik $\rightarrow S_{gen} = 0$

Mengeluarkan W_{max}

Menggunakan W_{min}

Kecekapan Seentropi

Juga dipanggil **kecekapan adiabatik, 2nd Law Efficiency**

Turbin

$$\eta_T = \frac{\text{Kerja sebenar turbin}}{\text{Kerja seentropi turbin}} = \frac{w_a}{w_s} = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}$$

Pemampat

$$\eta_P = \frac{\text{Kerja seentropi pemampat}}{\text{Kerja sebenar pemampat}} = \frac{w_s}{w_a} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1}$$

Nozzle

$$\eta_N = \frac{\text{KE sebenar pada keluaran}}{\text{KE seentropi pada keluaran}} = \frac{\bar{V}_{2a}^2}{\bar{V}_{2s}^2} = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}$$