



Termodinamika Teknik (TFH2F3)

# Entropi

Ketidaksamaan Clausius

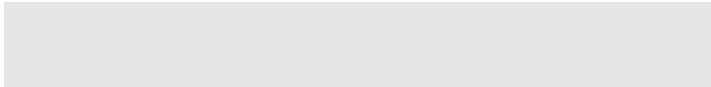
Mukhammad Ramdhan Kirom

Prodi Teknik Fisika – Fakultas Teknik Elektro





# Pengertian

- Perubahan entropi sebanding dengan perubahan kalor terhadap waktu.
    - Entropi menyatakan secara kualitas derajat ketidakteraturan atau keacakan sistem.
    - Kecenderungan sistem dalam arah proses tertentu disebut entropi sistem.
  - Jika entropi meningkat maka sistem cenderung lebih tidak teratur. Dan sesuai dengan hukum II termodinamika proses ini adalah proses yang spontan
- 



# Ketidaksamaan Clausius

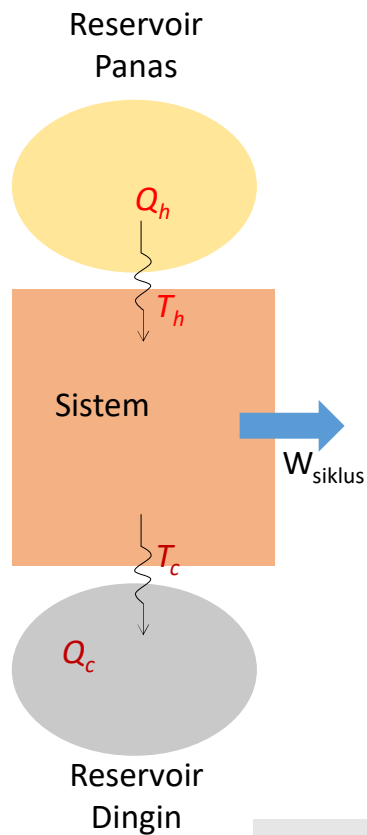
$$\oint \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_b \leq 0$$

$$\oint \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_b = -\sigma_{\text{siklus}}$$

di mana  $\sigma_{\text{siklus}}$  menyatakan **produksi entropi** oleh irreversibilitas internal selama siklus dan memenuhi kondisi :

- $\sigma_{\text{siklus}} = 0 \rightarrow$  tidak ada irreversibilitas dalam sistem
- $\sigma_{\text{siklus}} > 0 \rightarrow$  ada irreversibilitas dalam sistem
- $\sigma_{\text{siklus}} < 0 \rightarrow$  tidak mungkin

$$\oint \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_b = \sum \frac{\delta Q_h}{T_h} - \sum \frac{\delta Q_c}{T_c}$$



$$\oint \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_b = \sum \frac{\delta Q_h}{T_h} - \sum \frac{\delta Q_c}{T_c}$$

Untuk sistem seperti di samping berlaku :

$$\oint \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_b = \frac{Q_h}{T_h} - \frac{Q_c}{T_c} = -\sigma_{siklus}$$

Defenisi perubahan entropi dari keadaan 1 ke keadaan 2 dengan proses reversibel internal :

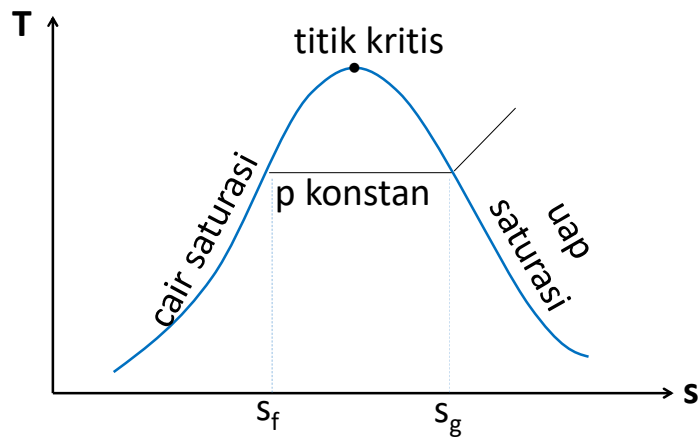
$$S_2 - S_1 = \left( \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{int rev}}$$

$$T dS = dU + p dV$$

$$T dS = dH - V dp$$

Dalam kondisi gabungan dua fase cair-uap :

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





Untuk gas ideal berlaku :


$$s(T_2, p_2) - s(T_1, p_1) = s^0(T_2) - s^0(T_1) - R \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

$$s(T_2, p_2) - s(T_1, p_1) = c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

$$s(T_2, v_2) - s(T_1, v_1) = c_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

dengan  $s^0(T)$  menyatakan entropi spesifik referensi pada saat tekanan 1 Atm.

Untuk zat inkompresibel :

$$s_2 - s_1 = c \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$




Untuk zat tertentu perubahan entropi bisa langsung dihitung dari data entropi masing-masing menggunakan tabel sifat zat seperti sudah dibahas pada pertemuan sebelumnya

Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Temp. °C
Sat. Liquid $h_f$	Evap. $h_{fg}$	Sat. Vapor $h_g$	Sat. Liquid $s_f$	Sat. Vapor $s_g$	
209.33	2382.7	2592.1	.7038	8.0763	50
230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.9913	55
251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.9096	60
272.06	2346.2	2618.3	.8935	7.8310	65
292.98	2333.8	2626.8	.9549	7.7553	70
313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824	75
334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122	80
355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445	85
376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791	90

Contoh kasus menentukan entropi campuran fase untuk air pada temperatur 90 °C dengan kualitas  $x = 90\%$

Dari tabel entropi saat cair jenuh  $s_f = 1,1925$  kJ/kg.K dan saat uap jenuh  $s_g = 7,4791$  kJ/kg.K

Dari persamaan  $s = s_f + x(s_g - s_f)$

$$s = 1,1925 + 0,9.(7,4791 - 1,1925) = 6,8504 \text{ kJ/kg.K}$$

\*Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics*, 5th ed., 2006, Wiley

## Kesetimbangan Entropi

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_b + \sigma$$

perubahan entropi      perpindahan entropi      produksi entropi

$$\frac{dS}{dt} = \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \dot{\sigma}$$

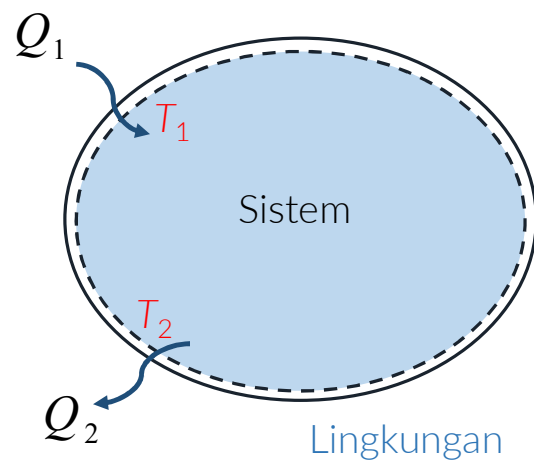
Perubahan entropi dalam sistem tertutup merupakan jumlah dari perpindahan entropi dari lingkungan ke sistem atau sebaliknya dan produksi entropi dalam sistem.

Untuk sistem yang reversibel berlaku

$$Q = T\Delta S$$



## Contoh kasus



Dari contoh di samping diketahui perubahan entropi sama dengan :

$$\Delta S = \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} + \sigma$$

Jika sistem adiabatik maka tidak ada kalor yang masuk ataupun keluar

$$\Delta S = \sigma$$

Jika sistem adiabatik dan reversibel

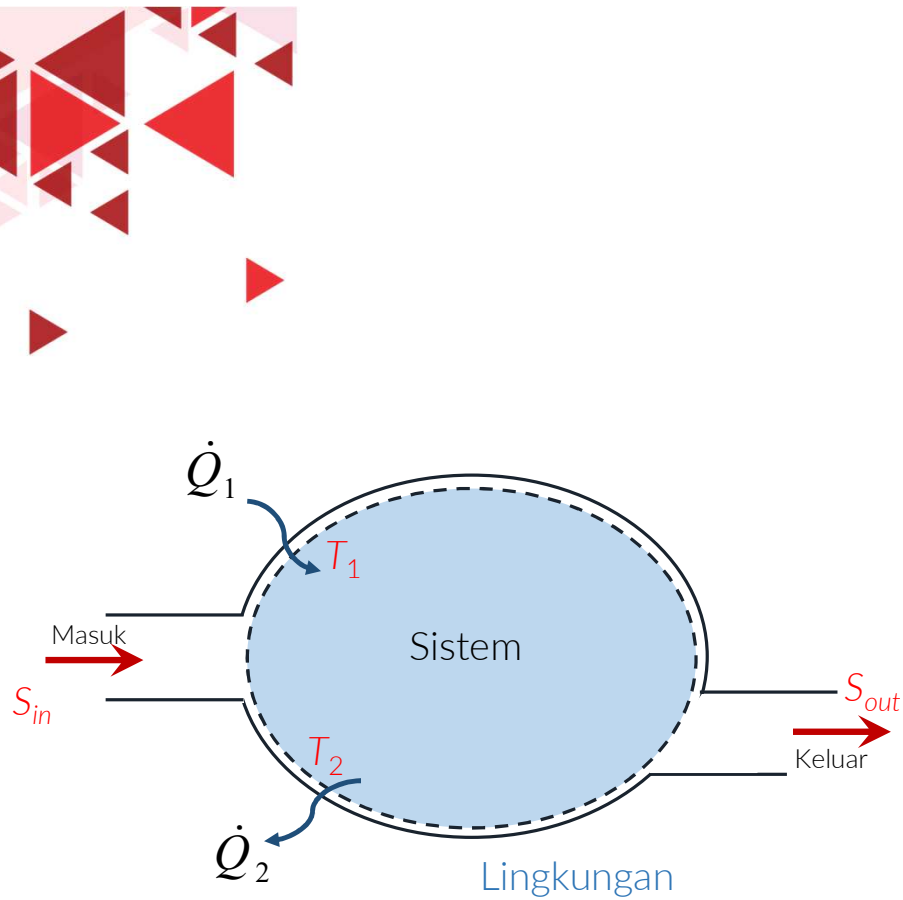
$$\Delta S = 0 \quad \text{isentropik}$$

## Kesetimbangan Entropi

$$\frac{dS_{cv}}{dt} = \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum_i \dot{m}_i s_i - \sum_e \dot{m}_e s_e + \dot{\sigma}_{cv}$$

laju perubahan entropi      laju perpindahan entropi      laju produksi entropi

- Perubahan entropi dalam sistem terbuka merupakan jumlah dari perpindahan entropi dari lingkungan ke sistem atau sebaliknya dan produksi entropi dalam sistem.
- Laju perpindahan entropi sama dengan jumlah laju kalor yang masuk sistem dibagi dengan temperatur pada titik kontak dengan sistem ditambah dengan selisih entropi yang masuk dan keluar bersamaan dengan zat



Untuk sistem 1 saluran masuk dan 1 saluran keluar berlaku :

$$\frac{dS_{st}}{dt} = \frac{\dot{Q}_1}{T_1} - \frac{\dot{Q}_2}{T_2} + \dot{m}(s_{in} - s_{out}) + \dot{\sigma}$$

Untuk sistem dalam keadaan tunak berlaku :

$$\dot{m}(s_{out} - s_{in}) = \frac{\dot{Q}_1}{T_1} - \frac{\dot{Q}_2}{T_2} + \dot{\sigma}$$

Untuk sistem reversibel berlaku :

$$\dot{m}(s_{out} - s_{in}) = \frac{\dot{Q}_1}{T_1} - \frac{\dot{Q}_2}{T_2}$$

Jika sistem adiabatik ireversibel berlaku :

$$\dot{m}(s_{out} - s_{in}) = \dot{\sigma}$$

## Proses isentropik

Proses isentropik artinya proses di mana nilai entropinya selalu sama selama proses.

Dari hubungan  $Q = T\Delta S$ , diperoleh jika entropi  $S$  konstan maka tidak ada aliran kalor dari lingkungan atau sebaliknya.

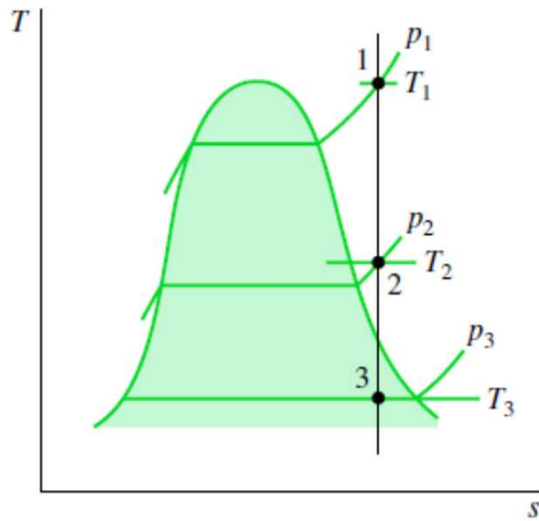
Jadi proses isentropik juga berarti proses adiabatik.

Untuk gas ideal berlaku :

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

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

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k \quad \text{Proses politropik}$$



\*Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics*, 5th ed., 2006, Wiley

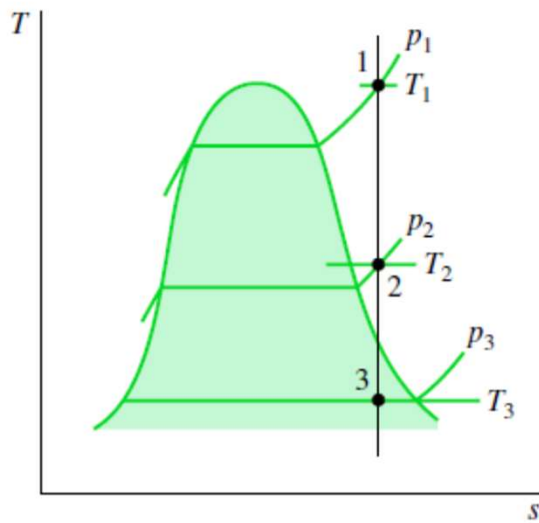
## Efisiensi isentropik

Efisiensi isentropik untuk turbin menyatakan perbandingan antara kerja yang dihasilkan oleh turbin aktual dibagi dengan kerja yang dihasilkan oleh turbin isentropik

$$\eta_t = \frac{(\dot{W}_t / \dot{m})}{(\dot{W}_t / \dot{m})_s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}}$$

Efisiensi isentropik untuk nosel menyatakan perbandingan antara energi kinetik spesifik aktual dibagi dengan energi kinetik spesifik isentropik

$$\eta_{\text{nozzle}} = \frac{V_2^2 / 2}{(V_2^2 / 2)_s}$$

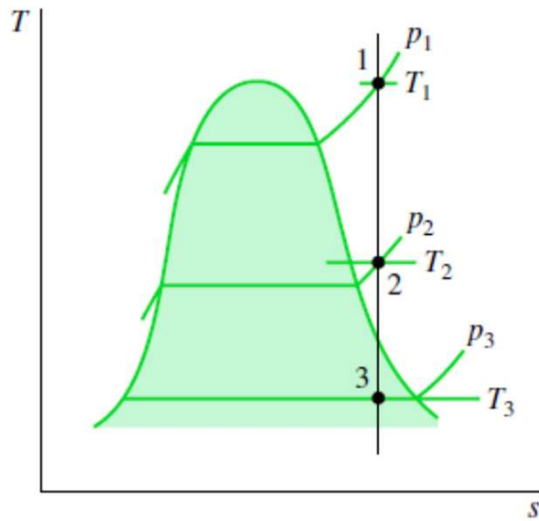


\*Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics*, 5th ed., 2006, Wiley

## Efisiensi isentropik

Efisiensi isentropik untuk pompa atau kompresor menyatakan perbandingan antara kerja yang dibutuhkan oleh pompa isentropik dibagi dengan kerja yang dibutuhkan oleh pompa aktual

$$\eta_p = \frac{(\dot{W}_p / \dot{m})_s}{(\dot{W}_p / \dot{m})} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$



\*Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics*, 5th ed., 2006, Wiley