

Bab 5

Entropi dan Temperatur

The background of the slide is a dark blue-grey color. It features a faint, light-colored graphic on the left side that includes a compass rose with the letters 'N', 'E', 'S', and 'W' and a topographic map with contour lines.

Entropi dan Temperatur

Topik-topik yang akan dibahas:

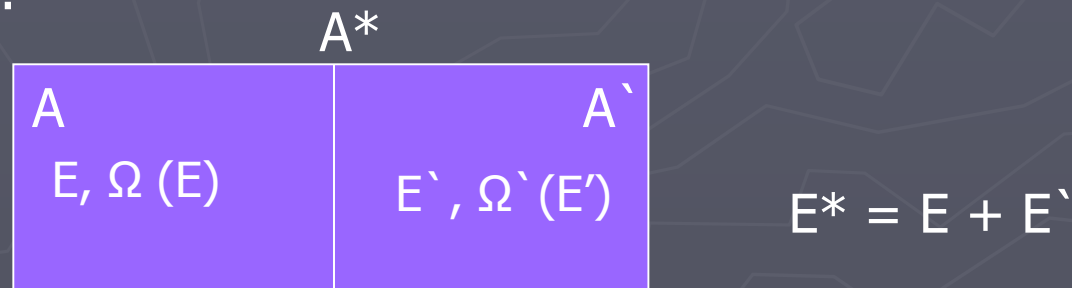
- ▶ Distribusi energi antar sistem yang saling berinteraksi
- ▶ Entropi dan temperatur dikaitkan dengan jumlah keadaan
- ▶ Perubahan entropi
- ▶ Perubahan energi dan temperatur

1. Distribusi Energi antar Sistem yang Saling Berinteraksi

Tinjau 2 sistem A dan A' yang masing-masing dispesifikasi oleh E, $\Omega(E)$ dan E', $\Omega'(E')$



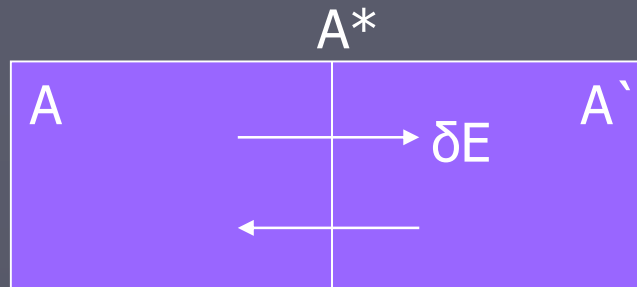
Sekarang, 2 sistem A dan A' digabung menjadi sistem gabungan A* yang tidak saling berinteraksi:



Keadaan sistem gabungan A* dapat dinyatakan sebagai fungsi dari salah satu energi sistem, E atau E'. Jumlah keadaan total A* dengan sistem A berenergi E adalah:

$$\Omega^*(E) = \Omega(E) \Omega'(E')$$

Sekarang, 2 sistem A dan A' mengalami interaksi termal yaitu dapat mengalami transfer energi sedangkan parameter luar tidak berubah.



Setelah selang waktu tertentu, sistem A* setimbang dengan energi E* ($E^* = E + E'$)

Bagaimana pernyataan jumlah keadaan total A* sekarang?

$$\Omega^*(E - \delta E) = \Omega(E - \delta E) \Omega'(E' - \delta E)$$

Sehingga, jumlah keadaan total sistem gabungan berenergi E merupakan jumlah dari seluruh jumlah keadaan untuk setiap E dari sistem A yang mungkin, ditulis:

$$\Omega^*(E^*) = \sum \Omega(E) \Omega'(E')$$

Contoh:

Dua sistem A dan A' mempunyai jumlah keadaan sesuai dengan masing-masing energi seperti tabel di bawah ini.

A					
E	4	5	6	7	8
Ω	2	5	10	17	25

A'					
E'	7	8	9	10	11
Ω'	5	8	16	26	40

Jika kedua sistem berinteraksi termal dengan energi total 15, tentukan jumlah keadaan yang mungkin dari sistem gabungan!

Jawab:

No	E* _{Total}	E _A	E' _{A'}	Ω (E)	Ω' (E')	Ω* (E)
1	15	4	11	2	40	80
2	15	5	10	5	26	130
3	15	6	9	10	16	160
4	15	7	8	17	8	136
5	15	8	7	25	3	75

$$\begin{aligned} \Omega^* (E^*) &= \sum \Omega (E) \Omega' (E') \\ \Omega^* (15) &= \sum \Omega (E) \Omega' (E') \\ &= 2 \cdot 40 + 5 \cdot 26 + 10 \cdot 16 + 17 \cdot 8 + 25 \cdot 3 \\ &= 80 + 130 + 160 + 136 + 75 \\ &= 631 \end{aligned}$$

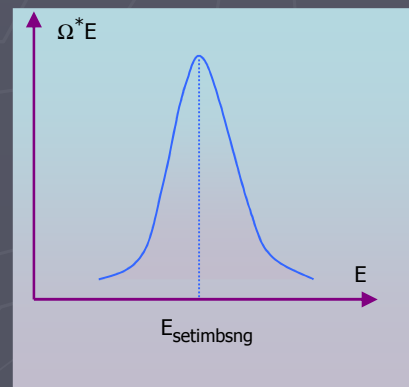
2. Entropi dan Temperatur Dikaitkan dengan Jumlah Keadaan

Dari contoh sistem A dan A' yang saling berinteraksi, probabilitas keadaan sistem gabungan berenergi total E* dengan sistem A berenergi E diberikan oleh:

$$P(E) = \frac{\Omega^*(E)}{\Omega^*(E^*)} = \frac{1}{\Omega^*(E^*)} \Omega(E) \Omega'(E^* - E) = C \Omega(E) \Omega'(E^* - E)$$

Terlihat, P(E) bergantung pada $\Omega(E)$ dan $\Omega'(E^* - E)$

Pola distribusi dua sistem tunggal ini akan memberikan pola distribusi baru yakni, distribusi yang menonjol di sekitar nilai energi tertentu bagi sistem gabungan:



Distribusi energi sistem gabungan

Kita ingin memperoleh variasi yang lebih lambat dan konvergensi yang lebih cepat dari Ω , maka kita ambil logaritma dari $P(E)$

$$\ln P(E) = \ln(C \Omega(E) \Omega'(E^* - E)) = \ln C + \ln \Omega(E) + \ln \Omega'(E^* - E)$$

Probabilitas maksimum terjadi jika:

$$\frac{\partial}{\partial E} \ln P(E) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial E} \{ \ln C + \ln \Omega(E) + \ln \Omega'(E^* - E) \} = 0$$

$$\frac{\partial \ln \Omega(E)}{\partial E} + \frac{\partial \ln \Omega'(E^*)}{\partial E} = 0$$

$$\frac{1}{\Omega(E)} \frac{\partial \Omega(E)}{\partial E} - \frac{1}{\Omega(E^*)} \frac{\partial \Omega'(E^*)}{\partial E^*} = 0$$

$$\frac{1}{\Omega(E)} \frac{\partial \Omega(E)}{\partial E} = \frac{1}{\Omega(E^*)} \frac{\partial \Omega'(E^*)}{\partial E^*}$$

Definisikan kuantitas bergantung energi $\beta = \beta(E)$

$$\beta = \frac{\partial \ln \Omega(E)}{\partial E} = \frac{1}{\Omega(E)} \frac{\partial \Omega(E)}{\partial E}$$

Sehingga, probabilitas maksimum terjadi jika:

$$\beta(E) = \beta'(E')$$

Definisikan parameter temperatur T terkait dengan $\beta(E)$:

$$\beta = \frac{1}{kT} = \frac{1}{\Omega(E)} \frac{\partial \Omega(E)}{\partial E}$$

Jelas bahwa pada saat maksimum tercapai, dipenuhi:

$$T = T' \quad \text{Artinya!}$$

Selanjutnya, definisikan kuantitas S menurut:

$$\frac{1}{T} = \frac{\partial S}{\partial E}$$

Sehingga, hubungan S dengan jumlah keadaan Ω :

$$S = k \ln \Omega$$

S didefinisikan sebagai entropi.

Dengan demikian syarat bagi probabilitas maksimum P (E) adalah

$$S + S' = \text{Maksimum}$$

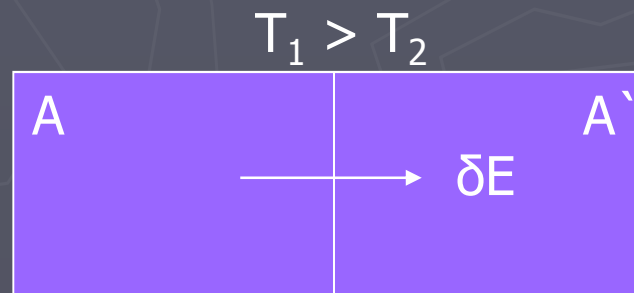
3. Perubahan entropi

Uraian sebelumnya memberikan hasil bahwa dalam keadaan setimbang, entropi menjadi maksimum

Hal ini berarti perubahan entropi terhadap waktu selama menuju proses setimbang selalu positif.

Berikut bukti formal perubahan ini.

Tinjau 2 sistem A dan A' yang masing-masing dispesifikasi oleh T_1, S_1, E_1 dan T_2, S_2, E_2 saling berinteraksi termal.



Entropi kedua sistem sebelum digabung : $S_{\text{total}} = S_1 + S_2$

Perubahan entropi sistem gabungan:

$$\begin{aligned}\delta S &= \frac{\partial S_1}{\partial E_1} \delta E_1 + \frac{\partial S_2}{\partial E_2} \delta E_2 \\ &= \frac{\partial S_1}{\partial E_1} (-\delta E) + \frac{\partial S_2}{\partial E_2} (\delta E) \\ &= \left(-\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) \delta E > 0\end{aligned}$$

4. Perubahan Energi dan Temperatur

