



**UNIVERSITAS
PANCASILA**
"A PLACE TO CREATE YOUR SUCCESS"



MATA KULIAH KIMIA



TERMODINAMIKA KIMIA II



Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik Universitas Pancasila
Semester
Gasal 2025/2026

Dosen Pengampu :
Dr. apt. Liliek Nurhidayati, M.Si.

1. Transformasi Sistem

Termodinamika mempelajari transformasi sistem dari satu keadaan ke keadaan lain.

Proses yang terlibat dalam transformasi sistem:

- a. Proses reversibel (dapat balik) dan proses irreversibel (tidak dapat balik)
- b. Proses spontan dan proses tidak spontan

Proses dikatakan reversibel jika dalam proses itu fungsi-fungsi keadaan sistem tidak berbeda dengan keadaan lingkungannya dalam kurun waktu yang sangat lama

Dalam proses reversibel, seolah-olah tidak terjadi perubahan baik sistem maupun lingkungannya.

Proses yang terjadi di alam adalah irreversibel.

Suatu proses dikatakan spontan jika proses itu berlangsung tanpa ada intervensi dari luar.

Semua proses yang irreversibel adalah proses yang berlangsung spontan.

2. Entropi dan Ketidakteraturan

Semua perubahan dalam alam semesta berlangsung ke arah meningkatnya entropi.

Hukum kedua termodinamika menyediakan prinsip-prinsip yang dapat meramalkan arah dari suatu proses baik fisika maupun kimia.

Prinsip yang diturunkan dari hukum kedua ini di antaranya adalah entropi semesta dan energi bebas Gibbs

Entropi (S) adalah fungsi keadaan yang menerangkan jumlah susunan (posisi atau tingkat energi) yang tersedia di dalam suatu sistem pada tatanan tertentu

Yang diamati adalah keadaan awal dan akhir tanpa melihat lintasannya.

➡ pendapat tentang adanya sebuah fungsi keadaan yg menunjukkan arah proses spontan yg disebut **ENTROPI (S)**

Menurut Clausius :

- nilai $\int (1/T) dq_{rev}$ tidak tergantung pada lintasan dalam semua proses reversibel
- perubahan entropi $\Delta S = S_f - S_i$

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dq_{rev}}{T} dT \quad \text{atau} \quad \Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{nC_v}{T} dT$$

$$\Delta S = nC_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

3. Proses

Isotermal ..

$$\Delta S = \frac{q_{rev}}{T}$$

Kompresi/ekspansi gas ideal

$$q_{rev} = nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$\Delta S = nR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$\Delta S = \frac{q_{rev}}{T} = \frac{q_p}{T} = \frac{\Delta H}{T}$$

Untuk perubahan entropi dari fase padat ke fase cair:

$$\Delta S = \frac{\Delta H_{fus}}{T} \quad \Delta H_{fus} = \text{k calor peleburan pada suhu } T$$

$$\Delta S = \frac{\Delta H_{vap}}{T} \quad \Delta H_{vap} = \text{k calor } \text{peleburan} \text{ pada suhu } T$$

penguapan

Suhu berubah

Pada V tetap:

$$\Delta S = nC_v \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Pada p tetap:

$$\Delta S = nC_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Perubahan entropi pada sistem terisolasi

Menurut Gibbs:

- a. Susunan molekul yang teratur terasosiasi dengan nilai entropi yang rendah dari sistem
- b. Zat padat murni, pada $T=0$ K memiliki harga entropi nol, bila T dinaikkan entropi naik.
- c. $V \uparrow \rightarrow$ entropi $\uparrow$ misal zat padat meleleh atau dilarutkan
- d. Reaksi kimia $\rightarrow$ entropi $\uparrow$ bila struktur molekul sederhana atau jumlah mol gas bertambah
- e. Perubahan spontan dalam sistem terisolasi disertai penambahan entropi $\rightarrow$ terus berlangsung sampai entropi mencapai maksimum $\rightarrow \rightarrow$ entropi tidak dapat berubah lagi $\rightarrow$ sistem dalam keadaan kesetimbangan

Hukum termodinamika II secara umum:

Semua perubahan dalam alam semesta berlangsung ke arah meningkatnya entropi

Menurut Clausius:

Energi alam semesta adalah tetap, entropi alam semesta cenderung mencapai suatu nilai maksimum.

Perubahan spontan dalam sistem terisolasi:

$\Delta S > 0$ (entropi bertambah)

$\Delta S < 0$ (entropi berkurang)

$\Delta S = 0$ (entropi tetap)

$$\Delta S_{\text{tot}} = \Delta S_{\text{sist}} + \Delta S_{\text{lingk}} > 0$$

4. Perhitungan ΔS

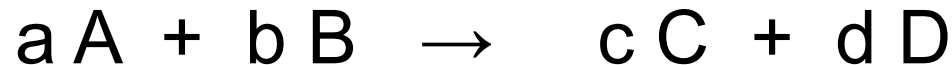
1. ΔS perubahan fase

Pada proses , T dan P tetap:

$$\Delta S = \frac{q_r}{T} = \frac{\Delta H}{T}$$

2. ΔS pada reaksi kimia

Reaksi:

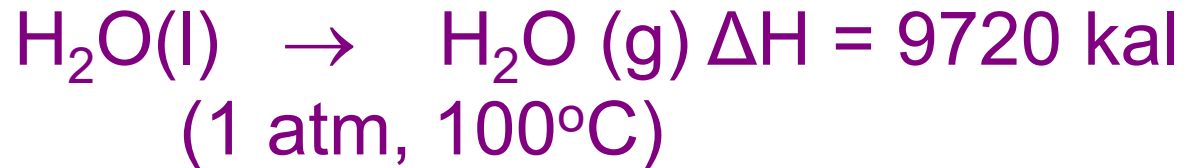


$$\Delta S = (c S_C + d S_D) - (a S_A + b S_B)$$

$$\Delta S^\circ = \underbrace{(c S^\circ_C + d S^\circ_D)}_{\text{produk}} - \underbrace{(a S^\circ_A + b S^\circ_B)}_{\text{reaktan}}$$

Contoh soal:

1. Hitung ΔS bila 1 mol air diuapkan pada temperatur 100°C tekanan 1 atm



Penyelesaian:

Pada 100°C 1 atm $\rightarrow$ fasa cair dan gas setimbang $\rightarrow$ perubahan fase

$$\begin{aligned} \text{Maka } \Delta S &= q_r/T = \Delta H / T \\ &= 9720/373 = 26,06 \text{ kal/K} \end{aligned}$$

2. Hitung harga ΔS^0 pada temperatur 25°C 1 atm untuk reaksi



$$S^\circ(\text{N}_2(\text{g})) = 191,50 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$$

$$S^\circ(\text{O}_2(\text{g})) = 205,03 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$$

$$S^\circ(\text{NO}_2(\text{g})) = 239,95 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$$

Jawab:

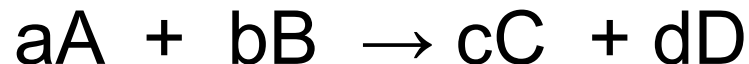
$$\begin{aligned}\Delta S^0 &= 2S^\circ(\text{NO}_2(\text{g})) - ((2S^\circ(\text{O}_2(\text{g})) + S^\circ(\text{N}_2(\text{g}))) \\ &= (2 \text{ mol})(239,95 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}) - (1 \text{ mol})(191,50 \\ &\quad \text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1}) - (2 \text{ mol})(205,03 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}) \\ &= - 121,66 \text{ JK}^{-1}\end{aligned}$$

Pengaruh temperatur terhadap ΔS

Pada tekanan tetap $\frac{\partial(\Delta S)}{\partial T} p = \left[\frac{\Delta C_p}{T} \right]$

Di mana $\Delta C_p = C_p(\text{produk}) - C_p(\text{reaktan})$

Untuk reaksi :



$$\Delta C_p = [c C_p(C) + d C_p(D)] - [a C_p(A) + b C_p(D)]$$

$$S_2 - S_1 = \Delta n C_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

HUKUM TERMODINAMIKA III

“Entropi dari setiap zat murni (unsur atau senyawa) dalam keadaan kesetimbangan mendekati nol pada suhu nol absolut”

Entropi zat pada temperatur $T \rightarrow S_T$ dapat juga dianggap ΔS

$$\Delta S = S_T - S_0 \quad S_0 = 0$$

$$\Delta S = S_T$$

Nilai standar entropi molar =
entropi molar zat dalam kondisi standar pada
suhu 25°C
 $\rightarrow$ data ada pada pustaka

Bagi ion-ion yang terlarut dalam air (aq) kandungan entropi absolutnya tidak dapat ditentukan → tidak ada kation atau anion yang dapat berada mandiri dalam larutan. Entropi ditentukan berdasarkan penilaian nisbi/relatif.

Penilaian mengacu kepada ion H^+ (aq) ideal dengan molalitas 1 mol per kg (H_2O)

Reaksi kimia sebatas pada kondisi standar:

$$\Delta S^0 (\text{reaksi}) = \sum S^0(\text{produk}) - \sum S^0(\text{reaktan})$$

5. Energi bebas Gibbs

Hk TD I; II; III → teoritis bisa menentukan reaksi spontan/tidak

$$\Delta S_{\text{a.s}} = \Delta S_{\text{sist}} + \Delta S_{\text{lingk}}$$

Untuk reaksi spontan

$$\Delta S_{\text{sist}} + \Delta S_{\text{lingk}} > 0$$

Berdasar pers $\Delta S = \frac{q_{\text{rev}}}{T}$ lingk

Untuk T & p lingkungan sekeliling tetap

$$\Delta H = - (q_{\text{rev}})_{\text{lingk}} \quad \Delta S_{\text{lingk}} = \left[\frac{\Delta H_{\text{sist}}}{T} \right]$$

Bila $T_{\text{sistem}} = T_{\text{lingk}}$

$$\Delta S_{\text{sist}} - \Delta H_{\text{sist}}/T > 0$$

Dengan mengalikan kedua ruas dengan T

$$T \Delta S_{\text{sist}} - \Delta H_{\text{sist}} > 0$$

Energi bebas Gibbs $G = H - TS$

Pada T & P tetap perubahan energi bebas Gibbs:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

$$-\frac{\Delta G}{T} = -\frac{\Delta H}{T} + \Delta S$$

$$-\frac{\Delta G}{T} = -\frac{\Delta H}{T} + \Delta S = \Delta S_{\text{ling}} + \Delta S_{\text{sis}} = \Delta S_{\text{smt}}$$

$$\text{pada suhu dan tekanan tetap } \Delta S_{\text{smt}} = -\frac{\Delta G}{T}$$

Ada 4 kemungkinan nilai ΔG

ΔH	ΔS	ΔG	Contoh
+	+	+ / - reaksi spontan pada $T \gg$	$\text{H}_2\text{O}(s) \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
+	-	+ Reaksi tidak spontan pada semua T	$2\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2 \text{N}_2\text{O}(g)$
-	+	- Reaksi spontan pada semua T	$2 \text{O}_3(g) \rightarrow 3\text{O}_2(g)$
-	-	+ / - pada $T \ll$ reaksi spontan	$\text{CH}_4(g) + 2 \text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(l)$

Energi bebas Gibbs standar (ΔG°)

➤ Kondisi standar:

- Padatan murni: zat murni, $p = 1 \text{ atm}$
- Cairan : zat murni, $p = 1 \text{ atm}$
- Gas : gas ideal, $p = 1 \text{ atm}$
- Larutan : lart ideal dg konsentrasi 1 M

ΔG° dapat dihitung bila reaktan dan produk dalam keadaan standar

ΔG°_f suatu unsur dalam keadaan paling stabil pada $p = 1 \text{ atm}$ pada T tertentu adalah NOL

Ketergantungan G pada T dan p

- $dG = Tdp - S dT$
- Untuk 1 mol gas ideal pada T tetap
 $dG = VdP$

Perubahan energi bebas antara P_1 & P_2 :

$$G_2 - G_1 = RT \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Pada keadaan standar energi bebas untuk gas ideal
pada tekanan 1 atm

$$P_1 = 1 \text{ atm} \quad G_1 = G^0$$

$$G_2 - G^0 = RT \ln P_2/P_1 \rightarrow G_2 = G^0 + RT \ln P_2$$

Secara umum :

$$G = G^0 + RT \ln P$$

Bila $T_{\text{sistem}} = T_{\text{lingk}}$

$$\Delta S_{\text{sist}} - \Delta H_{\text{sist}}/T > 0$$

Dengan mengalikan kedua ruas dengan T

$$T \Delta S_{\text{sist}} - \Delta H_{\text{sist}} > 0$$

Energi bebas Gibbs :

$$G = H - TS$$

Pada T & p tetap perubahan energi bebas Gibbs:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

$\Delta G < 0$: reaksi spontan

$\Delta G > 0$: reaksi tidak spontan

$\Delta G = 0$: keadaan setimbang



SELAMAT BELAJAR