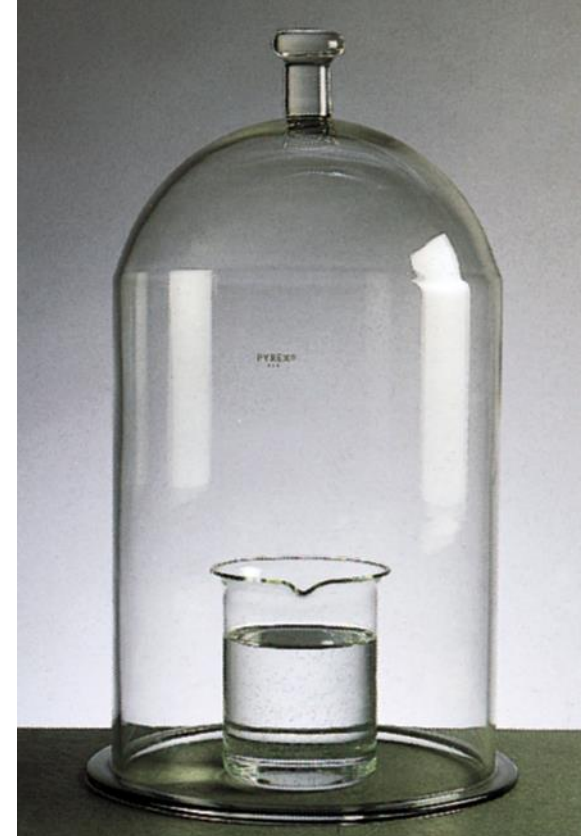




Kesetimbangan Kimia

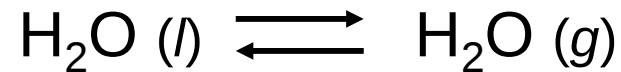
Bab 14

Kesetimbangan/equilibrium adalah keadaan di mana tidak ada perubahan yang dapat diamati seiring berjalannya waktu.

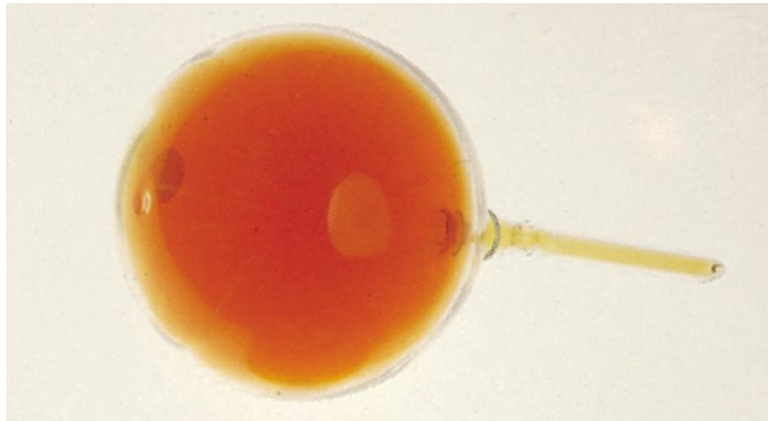
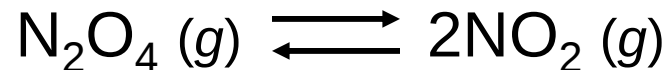
Kesetimbangan kimia tercapai jika:

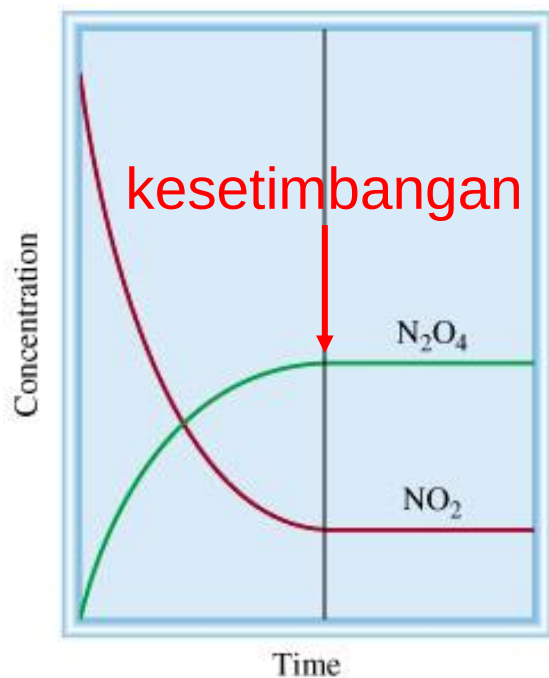
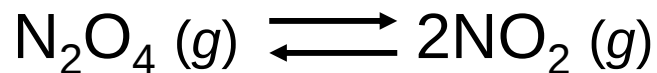
- laju reaksi maju dan mundur adalah sama dan
- konsentrasi reaktan dan produk tetap konstan

Kesetimbangan fisika

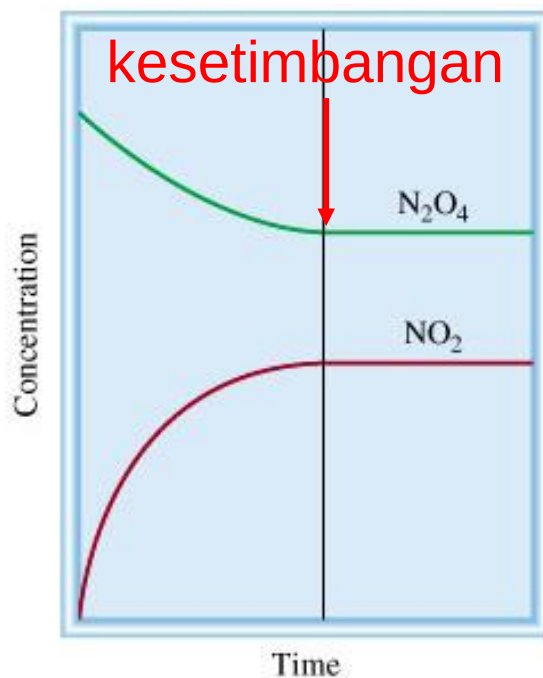


Kesetimbangan kimia

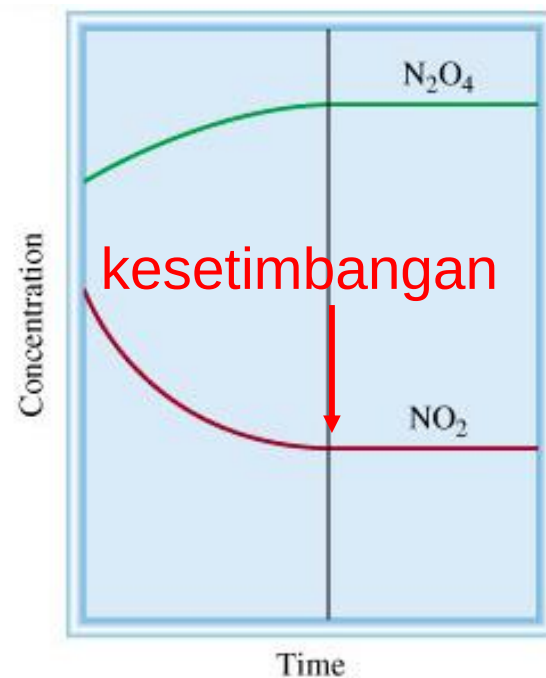




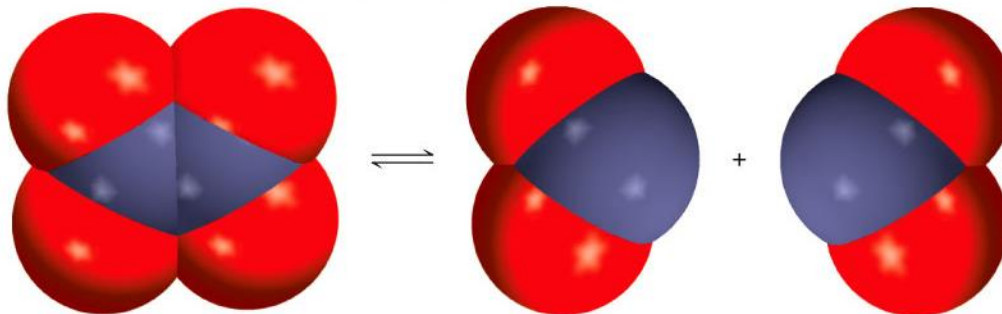
Mulai dari NO_2

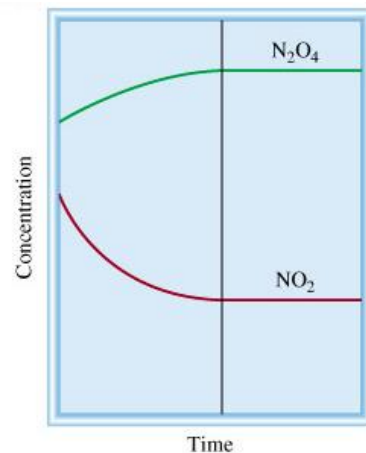
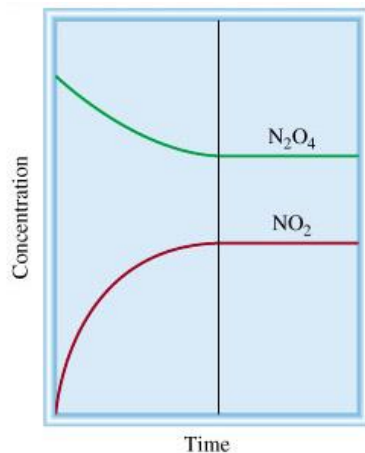
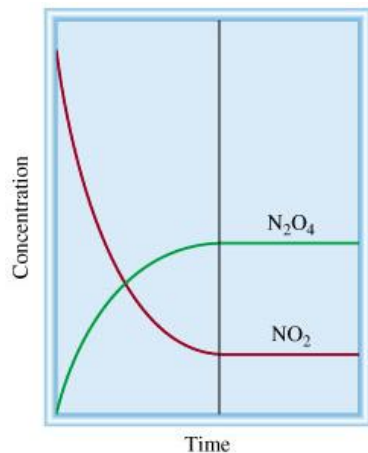


Mulai dari N_2O_4



Mulai dari NO_2 & N_2O_4

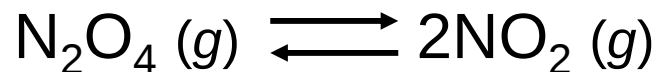




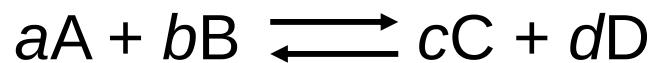
konstan

TABLE 14.1 The $\text{NO}_2\text{--N}_2\text{O}_4$ System at 25°C

Initial Concentrations (M)		Equilibrium Concentrations (M)		Ratio of Concentrations at Equilibrium	
$[\text{NO}_2]$	$[\text{N}_2\text{O}_4]$	$[\text{NO}_2]$	$[\text{N}_2\text{O}_4]$	$\frac{[\text{NO}_2]}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$	$\frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$
0.000	0.670	0.0547	0.643	0.0851	4.65×10^{-3}
0.0500	0.446	0.0457	0.448	0.102	4.66×10^{-3}
0.0300	0.500	0.0475	0.491	0.0967	4.60×10^{-3}
0.0400	0.600	0.0523	0.594	0.0880	4.60×10^{-3}
0.200	0.000	0.0204	0.0898	0.227	4.63×10^{-3}

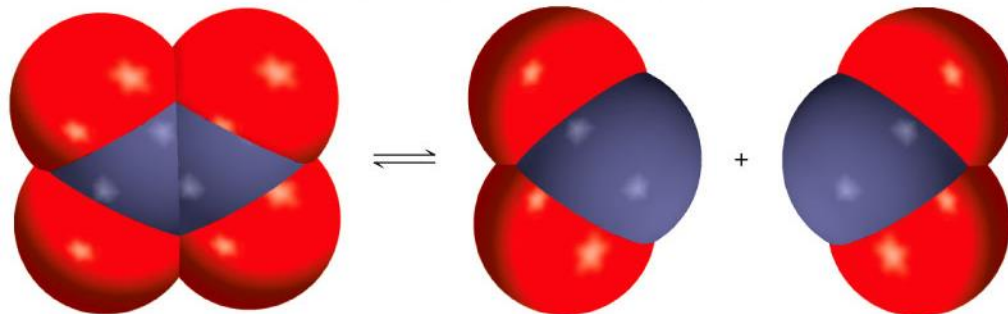


$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = 4,63 \times 10^{-3}$$

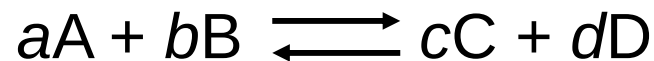


$$K = \frac{[\text{C}]^c[\text{D}]^d}{[\text{A}]^a[\text{B}]^b}$$

Hukum Aksi Massa



$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$



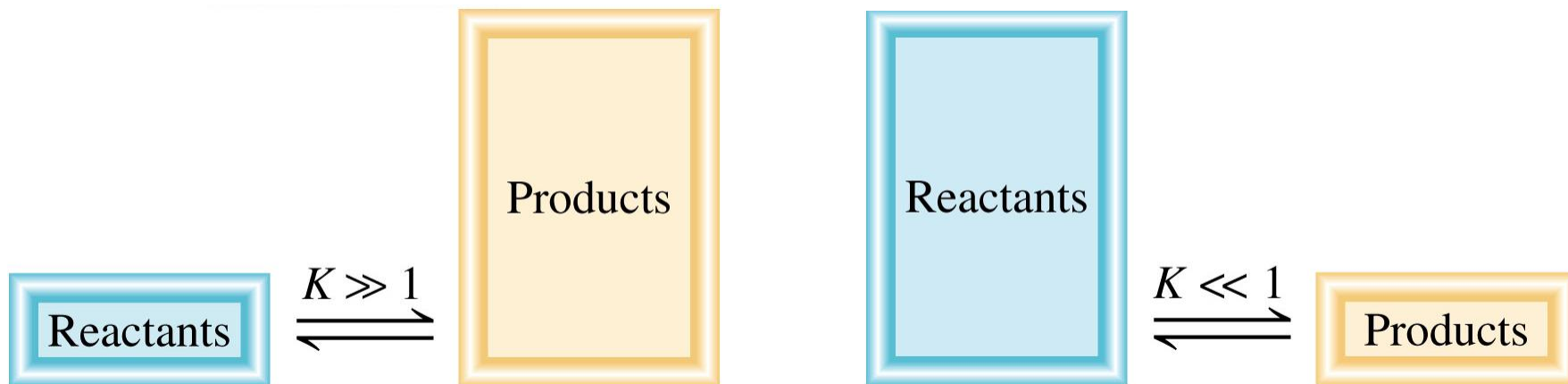
Kesetimbangan akan

$K \gg 1$ Mengarah ke kanan

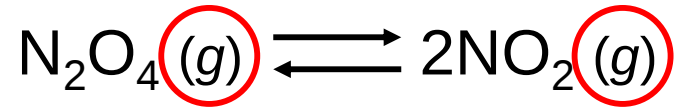
Menyukai Produk

$K \ll 1$ Mengarah ke kiri

Menyukai Reaktan



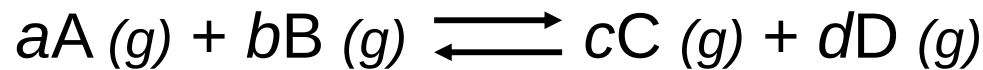
Kesetimbangan homogen berlaku pada reaksi yang seluruh spesi yang bereaksi **berada pada fase yang sama**.



$$K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} \qquad K_p = \frac{P_{\text{NO}_2}^2}{P_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$

Pada umumnya

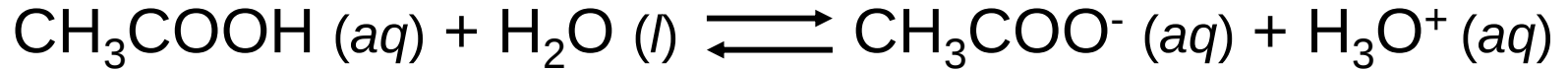
$$K_c \neq K_p$$



$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$$

$$\begin{aligned}\Delta n &= \text{mol produk gas} - \text{mol reaktan gas} \\ &= (c + d) - (a + b)\end{aligned}$$

Kesetimbangan Homogen



$$K'_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{H}_2\text{O}]} \quad [\text{H}_2\text{O}] = \text{konstan}$$

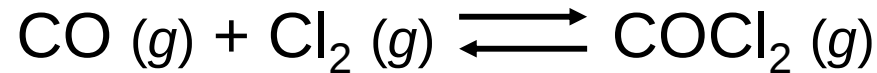
$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = K'_c [\text{H}_2\text{O}]$$



Pada umumnya konstanta kesetimbangan dinyatakan **tanpa** satuan.



Konsentrasi kesetimbangan untuk reaksi antara karbon monoksida dan molekul klorin membentuk $\text{COCl}_2(g)$ pada 74°C adalah $[\text{CO}] = 0,012 \text{ M}$, $[\text{Cl}_2] = 0,054 \text{ M}$, dan $[\text{COCl}_2] = 0,14 \text{ M}$. Hitung konstanta kesetimbangan K_c dan K_p -nya.

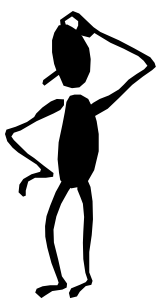


$$K_c = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}][\text{Cl}_2]} = \frac{0,14}{0,012 \times 0,054} = 220$$

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$$

$$\Delta n = 1 - 2 = -1 \quad R = 0,0821 \quad T = 273 + 74 = 347 \text{ K}$$

$$K_p = 220 \times (0,0821 \times 347)^{-1} = 7,7$$



Konstanta kesetimbangan K_p untuk reaksi:



adalah 158 pada 1000K. Berapakah tekanan kesetimbangan O_2 jika the $P_{\text{NO}_2} = 0,400$ atm dan $P_{\text{NO}} = 0,270$ atm?

$$K_p = \frac{P_{\text{NO}}^2 P_{\text{O}_2}}{P_{\text{NO}_2}^2}$$

$$P_{\text{O}_2} = K_p \frac{P_{\text{NO}_2}^2}{P_{\text{NO}}^2}$$

$$P_{\text{O}_2} = 158 \times (0,400)^2 / (0,270)^2 = 347 \text{ atm}$$

Kesetimbangan heterogen berlaku untuk reaksi yang reaktan dan produknya **berada pada fase yang berbeda**.



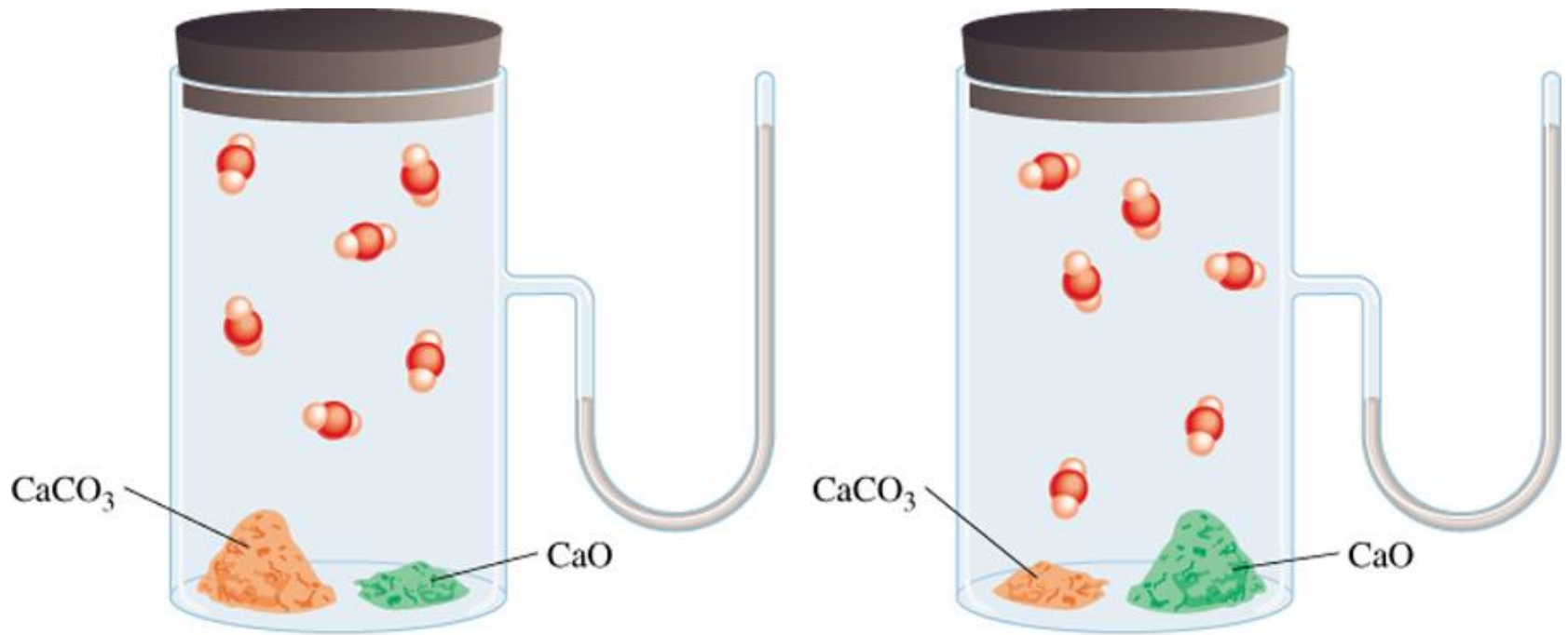
$$K'_c = \frac{[\text{CaO}][\text{CO}_2]}{[\text{CaCO}_3]}$$

$$\begin{aligned} [\text{CaCO}_3] &= \text{konstan} \\ [\text{CaO}] &= \text{konstan} \end{aligned}$$

$$K_c = [\text{CO}_2] = K'_c \times \frac{[\text{CaCO}_3]}{[\text{CaO}]}$$

$$K_p = P_{\text{CO}_2}$$

Konsentrasi **padatan** dan **cairan murni** tidak termasuk dalam persamaan konstanta kesetimbangan.



$$P_{\text{CO}_2} = K_p$$

P_{CO_2} tidak tergantung pada jumlah CaCO_3 atau CaO



Perhatikan kesetimbangan berikut pada 295 K:



Tekanan parsial masing-masing gas adalah 0,265 atm.
Hitung K_p dan K_c untuk reaksi ini.

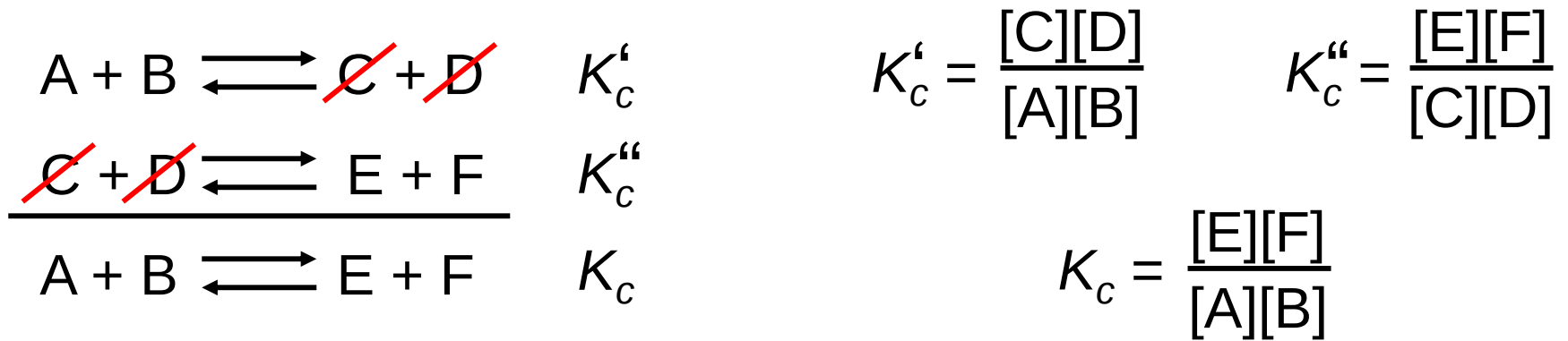
$$K_p = P_{\text{NH}_3} P_{\text{H}_2\text{S}} = 0,265 \times 0,265 = 0,0702$$

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$$

$$K_c = K_p(RT)^{-\Delta n}$$

$$\Delta n = 2 - 0 = 2 \quad T = 295 \text{ K}$$

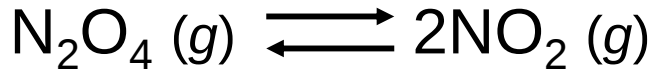
$$K_c = 0,0702 \times (0,0821 \times 295)^{-2} = 1,20 \times 10^{-4}$$



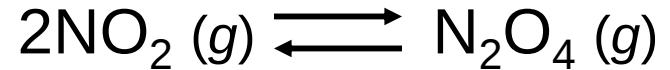
$$K_c = K'_c \times K''_c$$



Jika suatu reaksi dapat dinyatakan sebagai jumlah dari dua reaksi atau lebih, konstanta kesetimbangan reaksi keseluruhan diberikan oleh hasil kali konstanta kesetimbangan masing-masing reaksi.



$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = 4,63 \times 10^{-3}$$



$$K' = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2} = \frac{1}{K} = 216$$

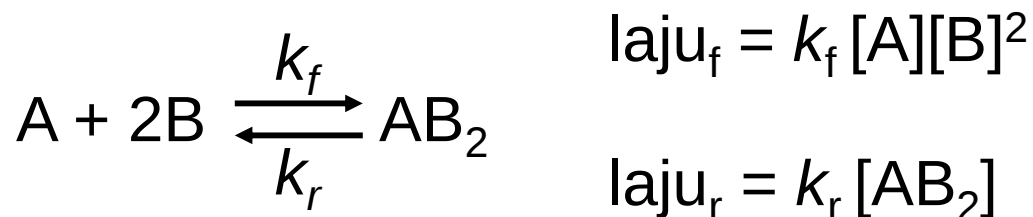


Jika persamaan reaksi reversibel ditulis dalam arah yang berlawanan, konstanta kesetimbangan menjadi kebalikan dari konstanta kesetimbangan awal.

Menuliskan Rumus Konstanta Keseimbangan

1. Konsentrasi spesi yang bereaksi dalam fase terkondensasi dinyatakan dalam M . Dalam fase gas, konsentrasi dapat dinyatakan dalam M atau atm.
2. Konsentrasi padatan murni, cairan murni dan pelarut tidak muncul dalam rumus konstanta keseimbangan.
3. Konstanta keseimbangan adalah besaran yang tidak berdimensi.
4. Dalam menghitung nilai konstanta keseimbangan, Anda harus memastikan persamaan reaksi yang setara dan suhunya.
5. Jika suatu reaksi dapat dinyatakan sebagai penjumlahan dari dua reaksi atau lebih, konstanta keseimbangan reaksi keseluruhan dinyatakan sebagai hasil kali konstanta keseimbangan masing-masing reaksi.

Kinetika Kimia dan Keseimbangan Kimia



Keseimbangan

$$\text{laju}_f = \text{laju}_r$$

$$k_f [A][B]^2 = k_r [AB_2]$$

$$\frac{k_f}{k_r} = K_c = \frac{[AB_2]}{[A][B]^2}$$

Keterangan:

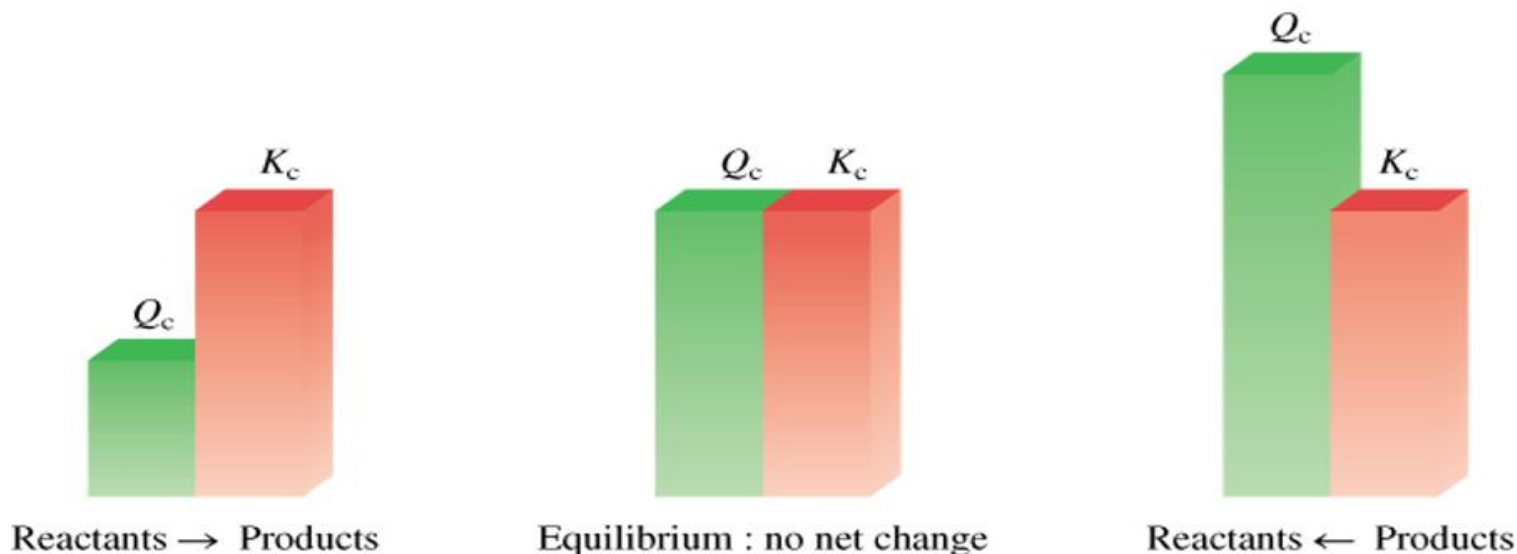
f: forward/maju

r: reverse/kebalikan

Hasil bagi reaksi (Q_c) dihitung dengan mensubstitusi konsentrasi awal reaktan dan produk ke dalam rumus konstanta kesetimbangan (K_c).

JIKA

- $Q_c > K_c$ sistem bergerak dari kanan ke kiri untuk mencapai kesetimbangan
- $Q_c = K_c$ sistem berada pada kesetimbangan
- $Q_c < K_c$ sistem bergerak dari kiri ke kanan untuk mencapai kesetimbangan



Menghitung Konsentrasi Keseimbangan

1. Nyatakan konsentrasi keseimbangan semua spesi dalam konsentrasi awal dan x yang tidak diketahui, yang mewakili perubahan konsentrasi.
2. Tuliskan persamaan konstanta keseimbangan dalam konsentrasi keseimbangan. Setelah mengetahui nilai konstanta keseimbangan, maka hitunglah x .
3. Setelah menyelesaikan x , hitung konsentrasi keseimbangan semua spesi.



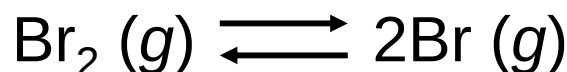


Pada 1280°C konstanta kesetimbangan (K_c) untuk reaksi:



adalah $1,1 \times 10^{-3}$. Jika konsentrasi awal $[\text{Br}_2] = 0,063 \text{ M}$ dan $[\text{Br}] = 0,012 \text{ M}$, hitunglah konsentrasi spesi-spesi tersebut pada keadaan setimbang.

Misalkan x adalah perubahan konsentrasi Br_2



ICE

Initial (M)	0,063	0,012
Change (M)	-x	+2x
Equilibrium (M)	0,063 - x	0,012 + 2x

$$K_c = \frac{[\text{Br}]^2}{[\text{Br}_2]} \quad K_c = \frac{(0,012 + 2x)^2}{0,063 - x} = 1,1 \times 10^{-3} \quad \text{Selesaikan } x$$

$$K_c = \frac{(0,012 + 2x)^2}{0,063 - x} = 1,1 \times 10^{-3}$$

$$4x^2 + 0,048x + 0,000144 = 0,0000693 - 0,0011x$$

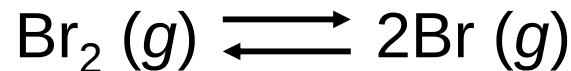
$$4x^2 + 0,0491x + 0,0000747 = 0$$

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x = -0,0105$$

$$x = -0,00178$$



Awal (M)	0,063	0,012
----------	-------	-------

Perubahan (M)	-x	+2x
---------------	----	-----

Setimbang (M)	0,063 - x	0,012 + 2x
---------------	-----------	------------

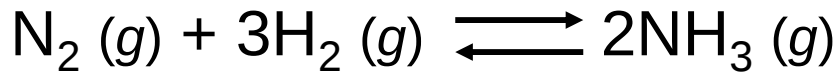
Pada kesetimbangan, $[\text{Br}] = 0,012 + 2x = -0,009 \text{ M}$ atau $0,00844 \text{ M}$

Pada kesetimbangan, $[\text{Br}_2] = 0,063 - x = 0,0648 \text{ M}$

Prinsip Le Châtelier

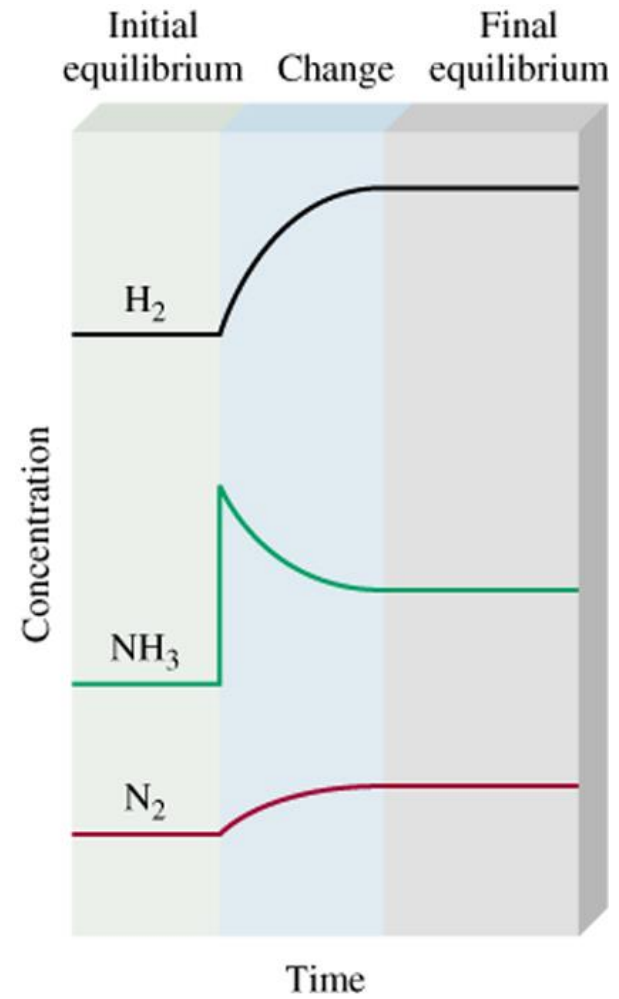
Jika suatu tekanan eksternal diterapkan pada suatu sistem yang berada dalam kesetimbangan, sistem tersebut akan menyesuaikan sedemikian rupa sehingga tekanan tersebut sebagian diimbangi ketika sistem mencapai posisi kesetimbangan baru.

- Perubahan Konsentrasi



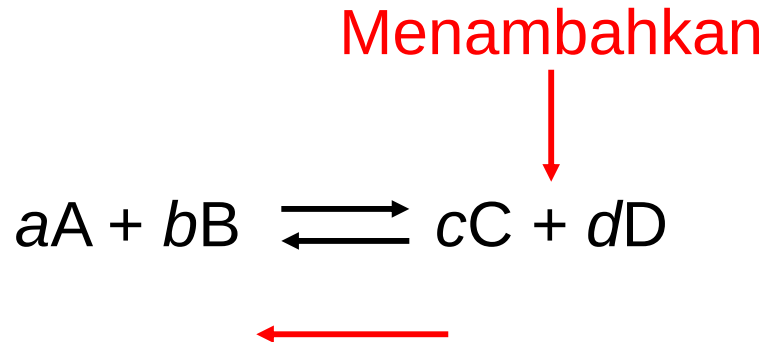
Kesetimbangan bergeser ke kiri untuk mengimbangi tegangan

Menambahkan NH_3



Prinsip Le Châtelier

- Perubahan Konsentrasi (lanjutan)



Perubahan

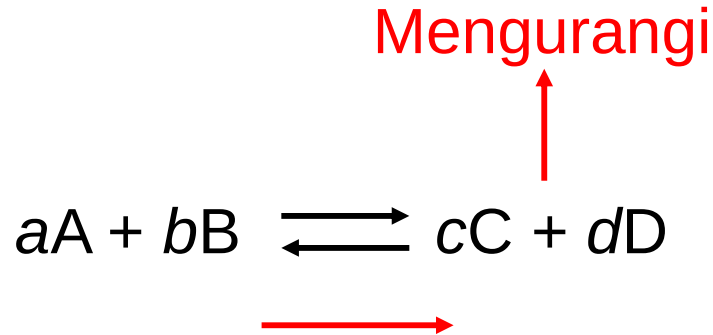
Meningkatkan konsentrasi produk

Pergeseran Kesetimbangan

kiri

Prinsip Le Châtelier

- Perubahan Konsentrasi (lanjutan)



Perubahan

Menurunkan konsentrasi produk

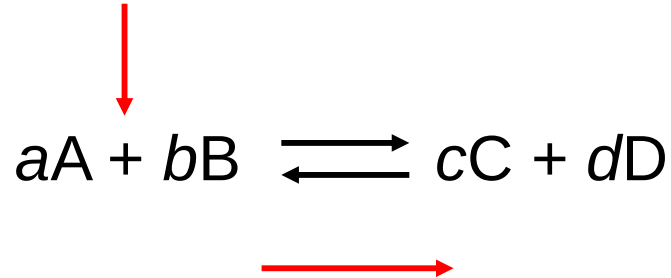
Pergeseran Kesetimbangan

kanan

Prinsip Le Châtelier

- Perubahan Konsentrasi (lanjutan)

Menambahkan



Perubahan

Pergeseran Kesetimbangan

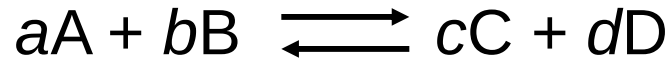
Meningkatkan konsentrasi reaktan

kanan

Prinsip Le Châtelier

- Perubahan Konsentrasi (lanjutan)

Mengurangi



Perubahan

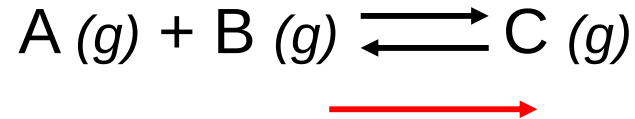
Pergeseran Kesetimbangan

Menurunkan konsentrasi reaktan

kiri

Prinsip Le Châtelier

- Perubahan Volume dan Tekanan



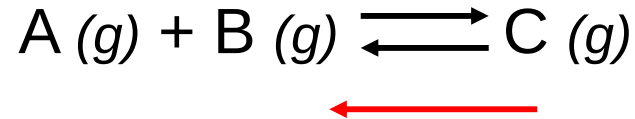
Perubahan

Pergeseran Kesetimbangan

Tekanan meningkat Ke sisi yang mol gasnya paling sedikit

Prinsip Le Châtelier

- Perubahan Volume dan Tekanan



Perubahan

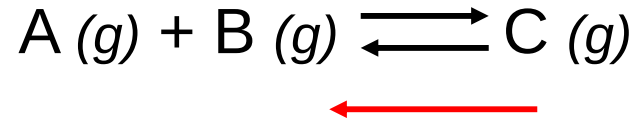
Tekanan menurun

Pergeseran Kesetimbangan

Ke sisi yang mol gasnya paling banyak

Prinsip Le Châtelier

- Perubahan Volume dan Tekanan



Perubahan

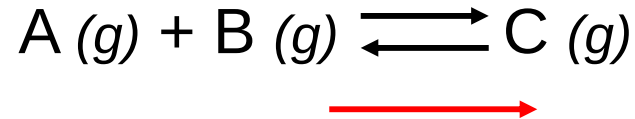
Volume meningkat

Pergeseran Kesetimbangan

Ke sisi yang mol gasnya paling banyak

Prinsip Le Châtelier

- Perubahan Volume dan Tekanan



Perubahan

Volume menurun

Pergeseran Kesetimbangan

Ke sisi yang mol gasnya paling sedikit

Prinsip Le Châtelier

- Perubahan Suhu

Perubahan

Suhu meningkat

Suhu menurun

Reaksi eksoterm

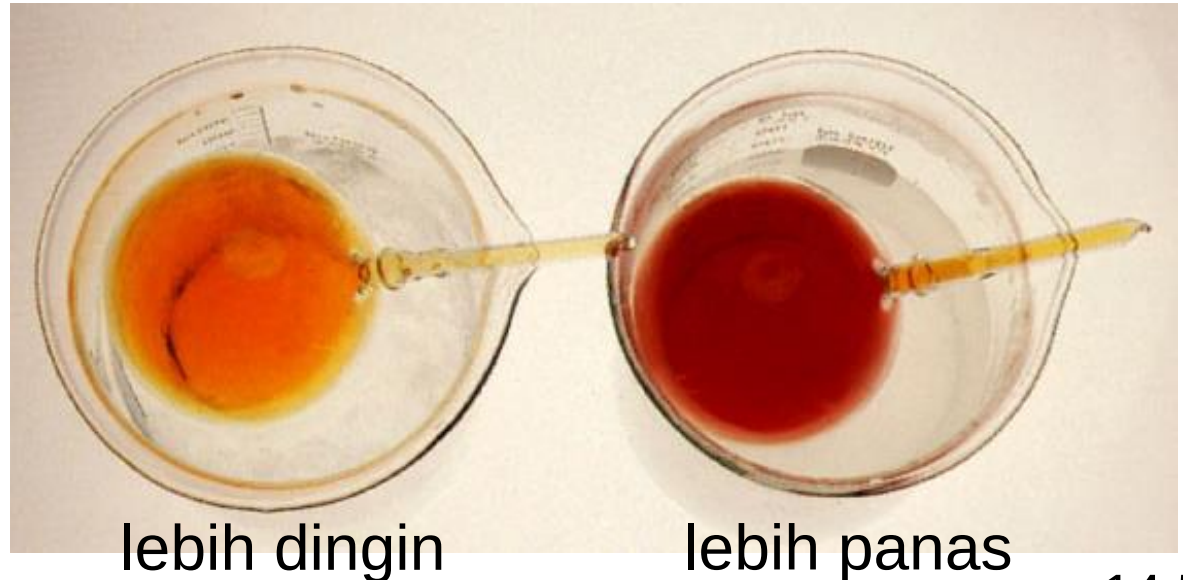
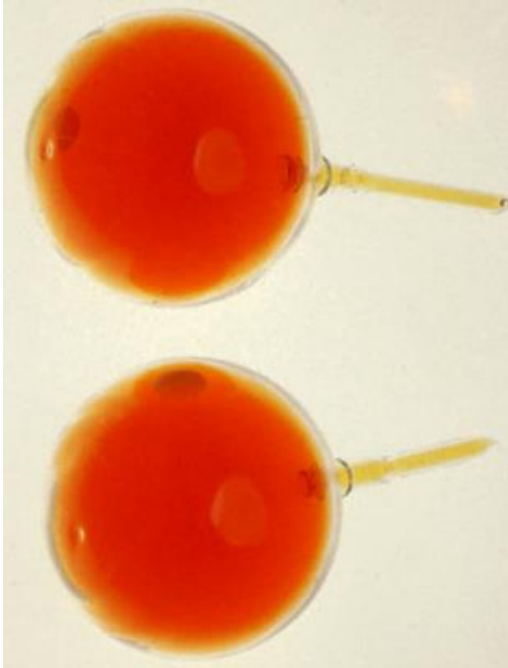
K menurun

K meningkat

Reaksi endoterm

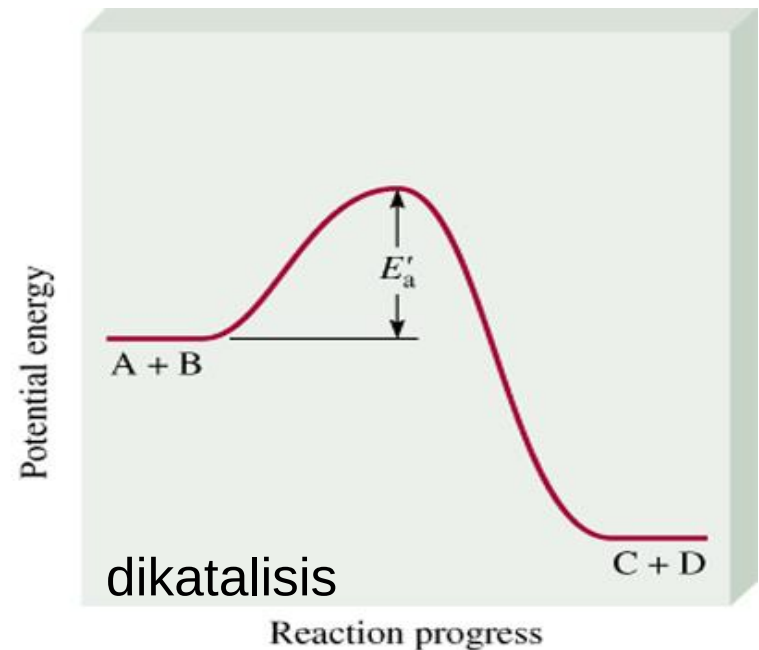
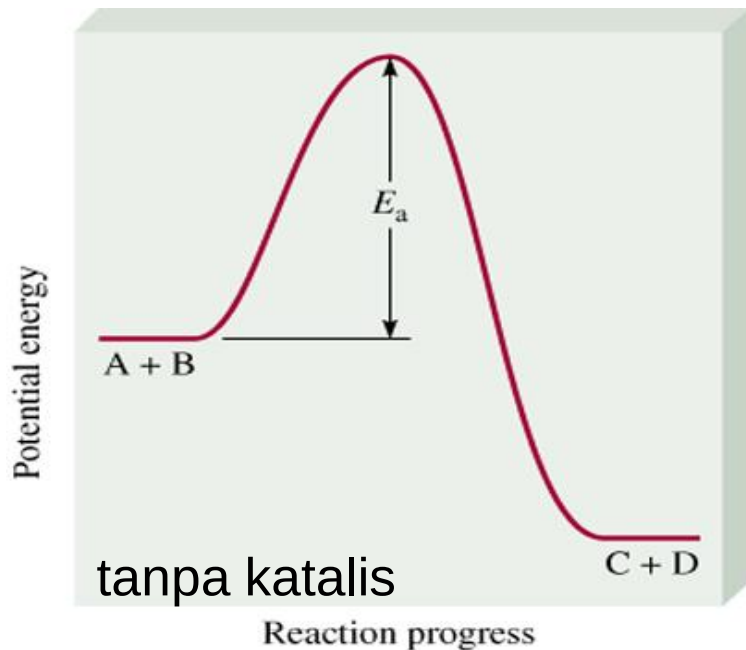
K meningkat

K menurun



Prinsip Le Châtelier

- Menambahkan Katalis
 - tidak mengubah K
 - tidak menggeser kedudukan sistem kesetimbangan
 - sistem akan mencapai kesetimbangan lebih cepat

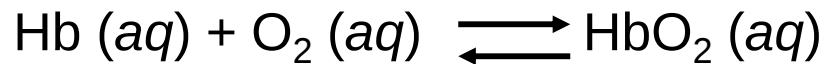


Katalis menurunkan E_a untuk **kedua** reaksi maju maupun mundur.

Katalis tidak mengubah konstanta kesetimbangan atau menggeser kesetimbangan.

Kimia “in Action”

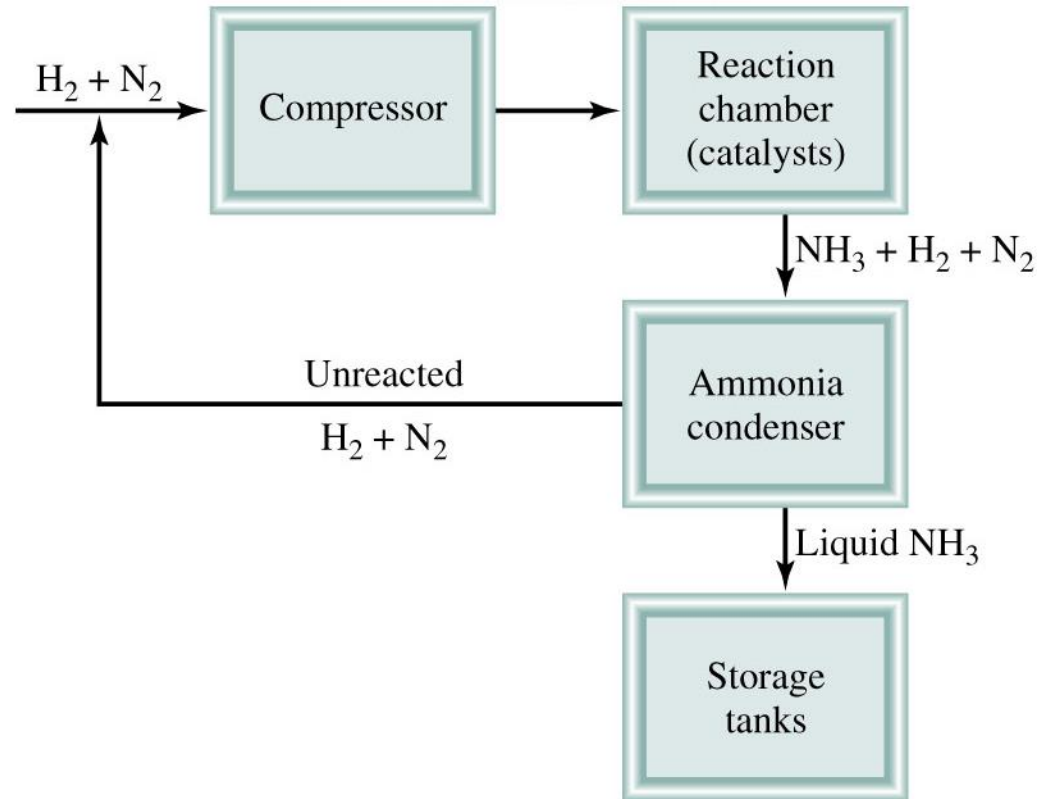
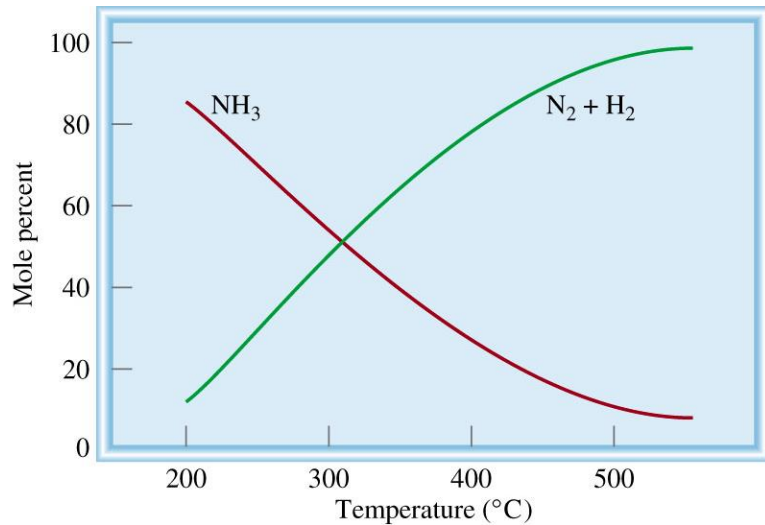
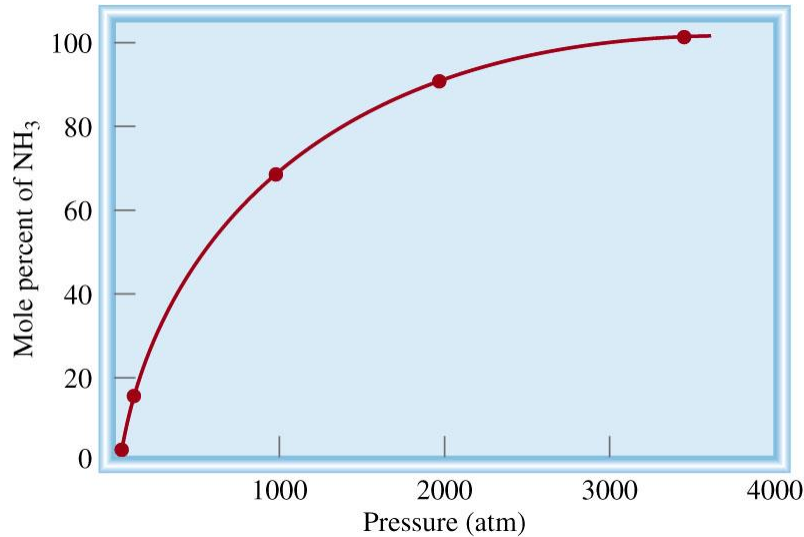
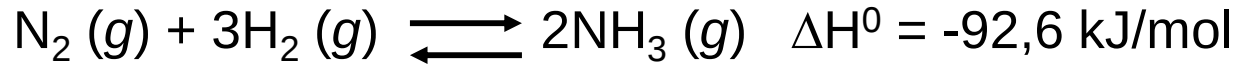
Kehidupan di Dataran Tinggi dan Produksi Hemoglobin



$$K_c = \frac{[\text{HbO}_2]}{[\text{Hb}][\text{O}_2]}$$



Kimia “in Action”: Proses Haber



Prinsip Le Châtelier

<u>Perubahan</u>	<u>Pergeseran Kesetimbangan</u>	<u>Perubahan Konstanta Kesetimbangan</u>
Konsentrasi	Ya	Tidak
Tekanan	Ya	Tidak
Volume	Ya	Tidak
Suhu	Ya	Ya
Katalis	Tidak	Tidak