

KESETIMBANGAN KIMIA

Purwanti Widhy H

Pendahuluan

Kesetimbangan adalah suatu keadaan di mana tidak ada perubahan yang terlihat seiring berjalannya waktu.

Kesetimbangan kimia tercapai jika:

- Laju reaksi maju dan laju reaksi balik sama besar
- Konsentrasi reaktan dan produk tetap konstan

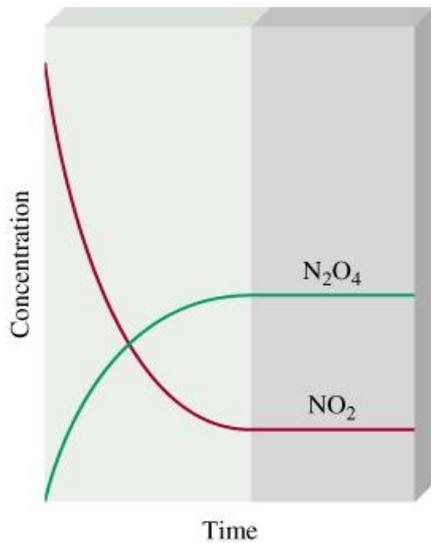
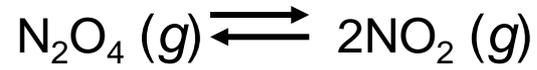


Kesetimbangan fisis

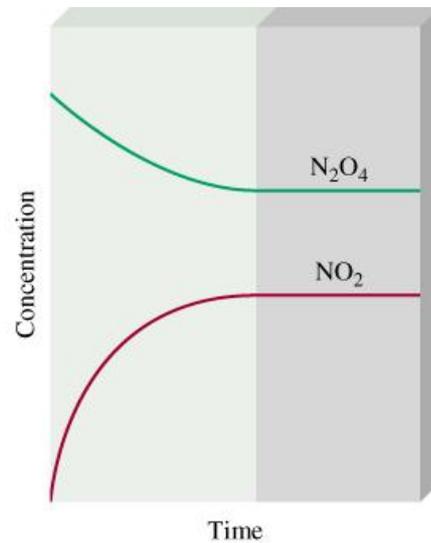


Kesetimbangan kimia

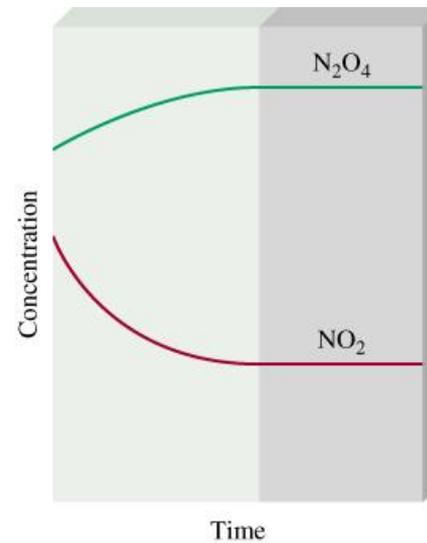




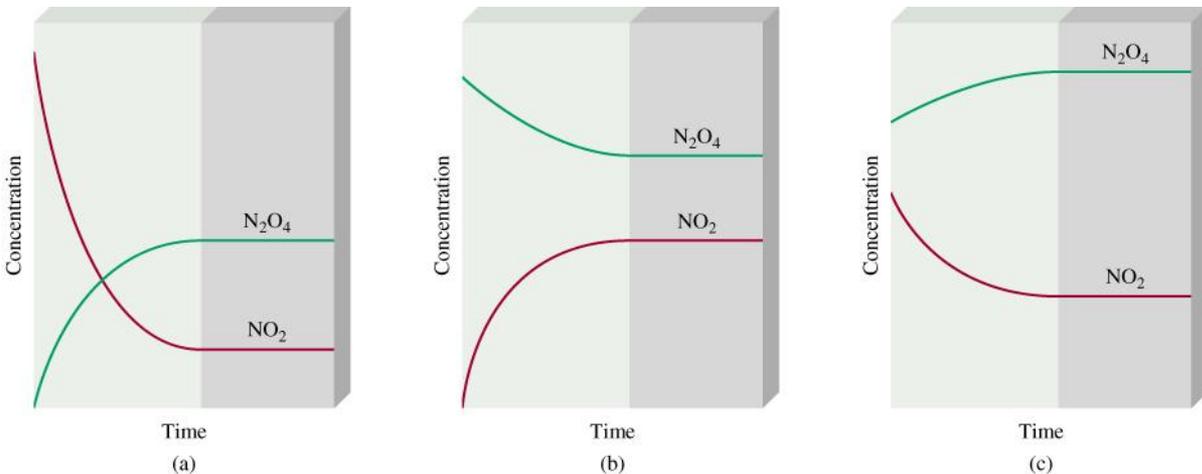
zat awal NO₂



zat awal N₂O₄



campuran awal
NO₂ & N₂O₄



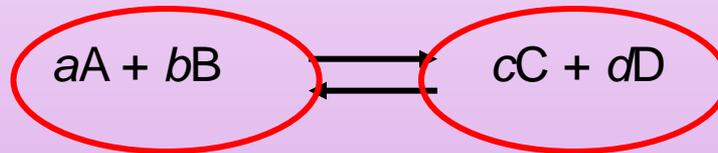
konstan

Table 14.1 The NO_2 - N_2O_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}



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



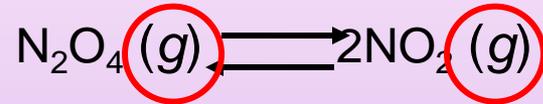
$$K = \frac{[\text{C}]^c[\text{D}]^d}{[\text{A}]^a[\text{B}]^b}$$

Persamaan Kesetimbangan

Kesetimbangan akan

$K \gg 1$	bergeser ke kanan	produk bertambah
$K \ll 1$	bergeser ke kiri	reaktan bertambah

Kesetimbangan homogen berlaku untuk reaksi yang semua spesi reaksinya memiliki **fasa yang sama**.



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

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

dalam kebanyakan kasus

$$K_c \neq K_p$$



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

Δn = mol produk gas – mol reaktan gas

$$= (c + d) - (a + b)$$

Sesuai dengan hukum gas ideal, $PV = nRT$

$$[SO_3] = \frac{n_{SO_3}}{V} = \frac{P_{SO_3}}{RT} \quad [SO_2] = \frac{n_{SO_2}}{V} = \frac{P_{SO_2}}{RT} \quad [O_2] = \frac{n_{O_2}}{V} = \frac{P_{O_2}}{RT}$$

Dengan mengganti suku-suku yang dilingkari dengan konsentrasi dalam K_c akan diperoleh rumus;

$$K_c = \frac{(P_{SO_3} / RT)^2}{(P_{SO_2} / RT)^2 (P_{O_2} / RT)} = \frac{(P_{SO_3})^2}{(P_{SO_2})^2 (P_{O_2})} \times RT$$

Terlihat ada hubungan antara K_c dan K_p yaitu:

$$K_c = K_p \times RT \quad \text{dan} \quad K_p = \frac{K_c}{RT} = K_c (RT)^{-1}$$

(Ionisasi asam asetat dalam air)



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

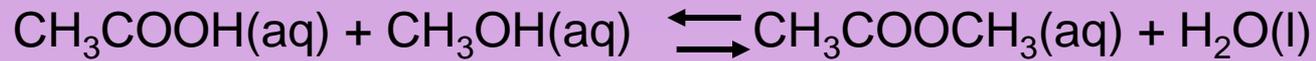
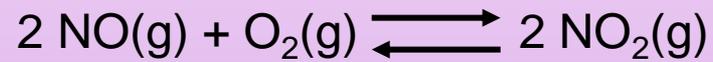
$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = K_c'[\text{H}_2\text{O}]$$



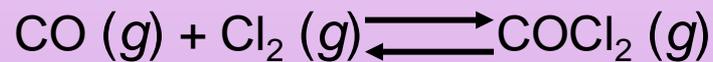
Pada umumnya satuan untuk konstanta kesetimbangan **tidak** dituliskan.

Soal Latihan

Tuliskan persamaan K_c and K_p untuk



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



$$K_c = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}][\text{Cl}_2]} = \frac{0,14}{0,012 \times 0,054} = 216,05$$



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



Konstanta kesetimbangan K_p untuk reaksi



adalah 158 pada 1000K. Berapakah tekanan kesetimbangan O_2 jika $P_{\text{NO}_2} = 0,400$ 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-reaktan dan produk-produknya **berbeda fase**.



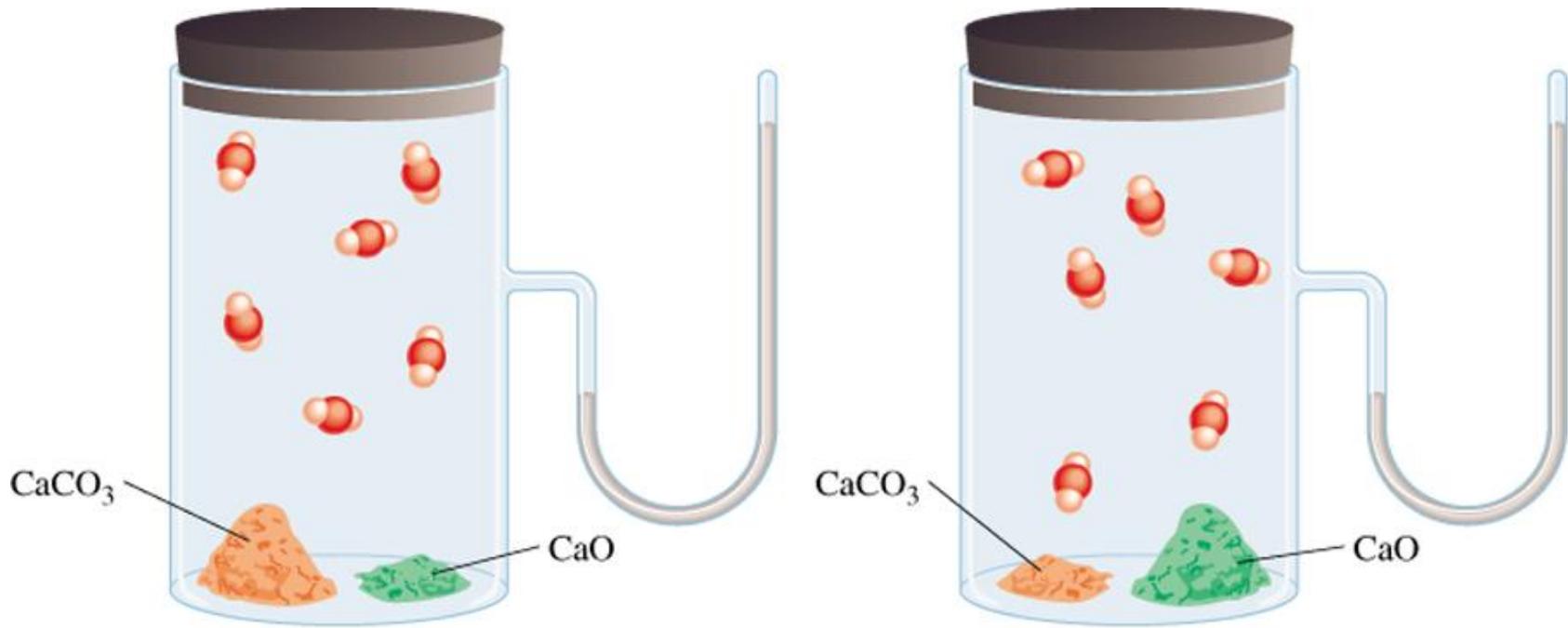
$$K_c' = \frac{[\text{CaO}][\text{CO}_2]}{[\text{CaCO}_3]}$$

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

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

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

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



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

P_{CO_2} tidak bergantung pada jumlah CaCO_3 or CaO

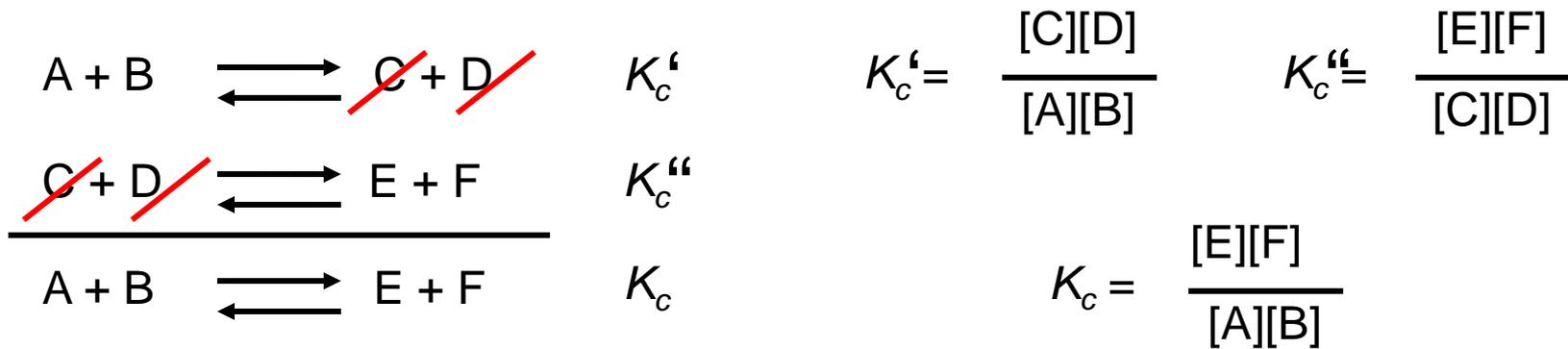


Misalkan kesetimbangan ini tercapai pada 295 K:



Tekanan parsial masing-masing gas adalah 0,265 atm.
Hitunglah K_p dan K_c untuk reaksi tersebut?

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



$$K_c = K_c' \times K_c''$$



Jika suatu reaksi dapat dinyatakan sebagai jumlah dari dua atau lebih reaksi, maka konstanta kesetimbangan untuk reaksi totalnya adalah hasil-kali dari konstanta-konstanta kesetimbangan dari tiap-tiap 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 suatu reaksi reversibel ditulis dengan arah yang berlawanan, maka konstanta kesetimbangannya menjadi kebalikan dari konstanta kesetimbangan awalnya.

Menulis Persamaan Konstanta Keseimbangan

- Konsentrasi dari spesi-spesi reaksi dalam fasa terkondensasi M .
Dalam fasa gas, konsentrasi dapat dinyatakan dalam M atau atm.
- Konsentrasi dari padatan murni, cairan murni, dan pelarut tidak dituliskan dalam persamaan konstanta keseimbangan.
- Konstanta keseimbangan tidak memiliki dimensi.
- Dalam menyatakan nilai konstanta keseimbangan, kita harus menuliskan persamaan setara beserta suhunya.

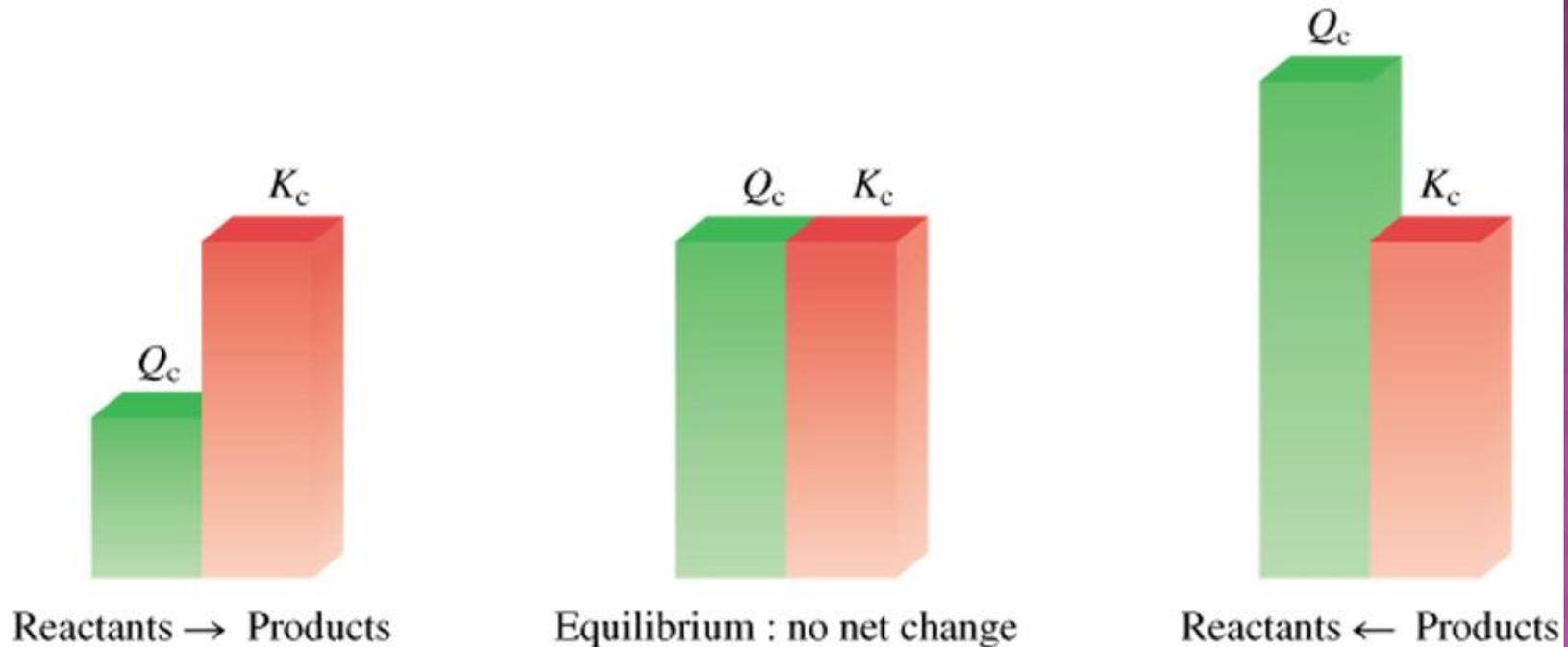
Kuosien reaksi (Q_c) dapat dihitung dengan memasukkan konsentrasi awal dari reaktan dan produk ke dalam persamaan konstanta kesetimbangan (K_c).

Jika

$Q_c > K_c$ sistem bergeser ke kiri untuk mencapai kesetimbangan

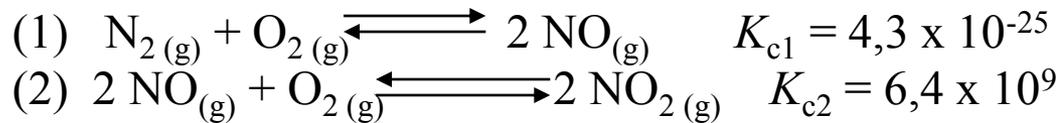
$Q_c = K_c$ sistem berada pada kesetimbangan

$Q_c < K_c$ sistem bergeser ke kanan untuk mencapai kesetimbangan



Menulis kuosien Reaksi untuk Reaksi Total

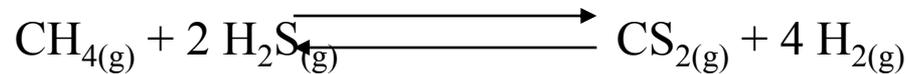
Soal: Gas oksigen bereaksi dengan gas nitrogen dalam mesin pembakaran internal sehingga menghasilkan nitrogen monoksida, yang kemudian akan bereaksi dengan oksigen di atmosfer sehingga membentuk nitrogen dioksida.



- (a) Perhatikanlah bahwa K_c total untuk kedua reaksi di atas sama dengan hasil kali dari K_{c1} dan K_{c2} .
- (b) Hitunglah K_c untuk reaksi total.

Memprediksi Arah Reaksi dan Menghitung Konsentrasi-konsentrasi Kesetimbangan

Soal: Dua komponen gas dapat bereaksi sesuai dengan persamaan kimia berikut ini:



Dalam satu percobaan, 1,00 mol CH_4 , 1,00 mol CS_2 , 2,00 mol H_2S , dan 2,00 mol H_2 dicampur dalam wadah 250 mL pada 960°C . pada suhu ini, $K_c = 0,036$. (a) Ke arah manakah reaksi bergeser? (b) Jika $[\text{CH}_4] = 5,56 \text{ M}$ pada kesetimbangan, berapakah konsentrasi zat-zat yang lain?

$$[\text{CH}_4] = \frac{1,00 \text{ mol}}{0,250 \text{ L}} = 4,00 \text{ M}$$

$$[\text{H}_2\text{S}] = 8,00 \text{ M}, [\text{CS}_2] = 4,00 \text{ M} \\ \text{dan } [\text{H}_2] = 8,00 \text{ M}$$

Menghitung K_c dari Data Konsentrasi

Soal: Hidrogen iodida terurai pada suhu sedang sesuai dengan reaksi di bawah ini:



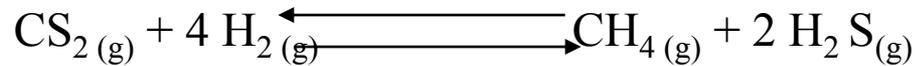
Jika 4,00 mol HI dimasukkan ke dalam wadah 5,00 L pada 458°C, campuran kesetimbangannya diketahui mengandung 0,442 mol I_2 . Berapakah nilai K_c ?

$$[\text{HI}] = 0,800 \text{ M (awal)}$$

$$[\text{I}_2] = 0,0884 \text{ M (pada kesetimbangan)}$$

Menentukan Konsentrasi Kesetimbangan dari K_c

Soal: Salah satu cara membuat metana adalah mereaksikan karbon disulfida dengan gas hidrogen, dan K_c pada 900°C adalah 27,8.



Pada kesetimbangan campuran reaksi dalam wadah 4,70 L mengandung 0,250 mol CS_2 , 1,10 mol H_2 , dan 0,45 mol H_2S , Berapakah metana yang terbentuk?

$$[\text{CS}_2] = 0,0532 \text{ M}$$

$$[\text{H}_2] = 0,234 \text{ M}$$

$$[\text{H}_2\text{S}] = 0,0957 \text{ M}$$

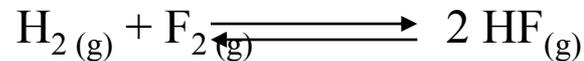
Menghitung Konsentrasi Kesetimbangan

1. Nyatakan konsentrasi kesetimbangan dari semua spesi dalam konsentrasi awalnya dan satu variabel x , yang menyatakan perubahan konsentrasi.
2. Tulislah persamaan konsentrasi kesetimbangan dalam konsentrasi kesetimbangannya. cari nilai konstanta kesetimbangan, kemudian hitunglah nilai x .
3. Setelah mencari x , hitunglah konsentrasi dari semua spesi.



Menentukan konsentrasi kesetimbangan dari konsentrasi Awal dan K_c

Soal: Reaksi pembentukan HF dari hidrogen dan fluorin memiliki nilai K_c sebesar 115 pada suhu tertentu. Jika 3,000 mol dari masing-masing spesi dimasukkan ke dalam wadah 1,500 L, hitunglah konsentrasi kesetimbangan dari masing-masing spesi.



$$K_c = \frac{[\text{HF}]^2}{[\text{H}_2][\text{F}_2]} = 115$$

$$[\text{H}_2] = \frac{3,000 \text{ mol}}{1,500 \text{ L}} = 2,000 \text{ M}$$

$$[\text{F}_2] = \frac{3,000 \text{ mol}}{1,500 \text{ L}} = 2,000 \text{ M}$$

$$[\text{HF}] = \frac{3,000 \text{ mol}}{1,500 \text{ L}} = 2,000 \text{ M}$$

Asas Le Châtelier's

Jika suatu tekanan eksternal diberikan kepada suatu sistem yang setimbang, sistem tersebut akan menyesuaikan sedemikian rupa untuk mengimbangi tekanan ini ketika sistem mencapai posisi kesetimbangan yang baru.

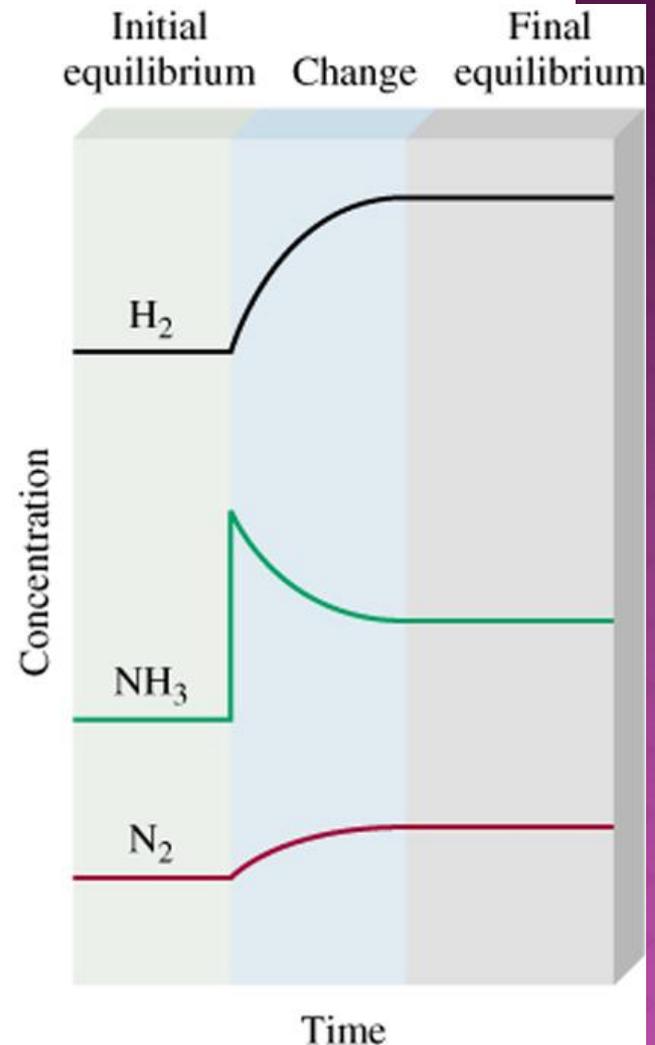
- Perubahan konsentrasi



Kesetimbangan bergeser ke kiri untuk mengimbangi tekanan

↑
ditambahkan
NH₃

←

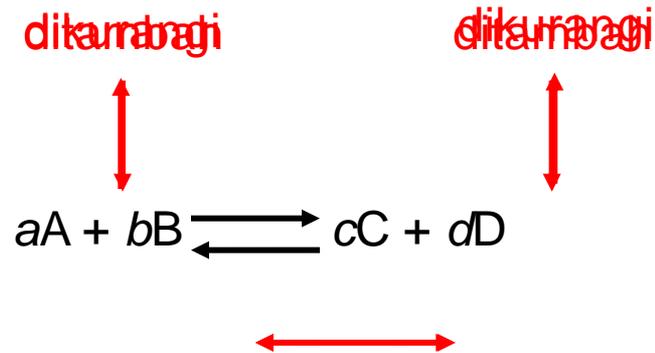


C. PERGESERAN KESETIMBANGAN

1. Perubahan Konsentrasi
2. Perubahan suhu
3. Perubahan tekanan
4. Peranan Katalisator

Asas *Le Châtelier's*

- Perubahan konsentrasi



Perubahan

Pergeseran Kesetimbangan

Menambah konsentrasi produk

ke kiri

Mengurangi konsentrasi produk

ke kanan

Menambah konsentrasi reaktan

ke kanan

Mengurangi konsentrasi reaktan

ke kiri

1. PERUBAHAN KONSENTRASI

- Reaksi :



- Bila A ditambah artinya konsentrasinya diperbesar, sehingga "jika diberi, dia akan memberi" maka terjadi pergeseran ke kanan sehingga C banyak.
- Bila B diambil (dipisah) artinya memperkecil konsentrasi B sehingga "jika diambil, dia akan mengambil" maka reaksi bergeser ke kiri sehingga C berkurang.

LANJUTAN 1.

- ⦿ Jika salah satu zat konsentrasinya diperbesar (ditambah), maka reaksi bergeser dari arah zat tersebut.
- ⦿ Jika salah satu zat konsentrasinya diperkecil (dikurangi), maka reaksi akan bergeser ke arah zat tersebut.

2. PERUBAHAN SUHU

- Jika suhu dinaikkan (menambah atau memberikan kalor) maka reaksi akan bergeser ke arah kiri yaitu arah reaksi yang endoterm (membutuhkan).
- Jika suhu diturunkan (kalor dikurangi), maka reaksi akan bergeser ke arah kanan yaitu arah reaksi yang eksoterm (mengeluarkan).
- Misal : $2 \text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \quad \Delta H = +92 \text{ KJ}$

Jika suhu dinaikkan reaksi bergeser ke kanan (NH₃ banyak terurai), jika suhu diturunkan akan bergeser ke kiri.

3. PERUBAHAN TEKANAN

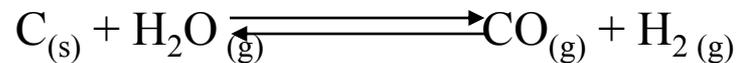
- Perubahan tekanan hanya berpengaruh untuk gas.
- Fase padat dan cair pengaruh tekanan diabaikan.
- Sesuai hukum Boyle maka :
 - ✓ Jika tekanan diperbesar (volume diperkecil) maka reaksi bergeser ke arah jumlah mol gas yang terkecil.
 - ✓ Jika tekanan diperkecil (volume diperbesar) maka reaksi bergeser ke arah jumlah mol gas yang terbesar.
- Karena koefisien reaksi menyatakan perbandingan mol ,maka cukup memperhatikan jumlah koefisien gas pada masing-masing ruas.

4. PERANAN KATALISATOR

- ◉ Katalisator adalah zat yang dapat mempercepat reaksi tapi tidak ikut bereaksi.
- ◉ Sesuai dengan fungsinya mempercepat reaksi maka akan mempercepat tercapainya proses kesetimbangan, dengan cara mempercepat reaksi maju dan reaksi balik sama besar.
- ◉ Fungsi katalisator pada awal reaksi (sebelum kesetimbangan tercapai).
- ◉ Jika kecepatan reaksi maju = kecepatan reaksi balik maka katalis berhenti berfungsi

Memprediksi Pengaruh Perubahan Konsentrasi terhadap Posisi Kesetimbangan

Soal: Karbon akan bereaksi dengan air dan menghasilkan karbon monoksida dan hidrogen, dalam reaksi yang disebut reaksi gas air yang digunakan untuk menghasilkan bahan bakar untuk industri.



Apa yang terjadi terhadap:

- (a) [CO] jika C ditambah?
- (b) [CO] jika H₂O ditambah?
- (c) [H₂O] jika H₂ ditambah?
- (d) [H₂O] jika CO dikurangi?

Perubahan-perubahan di atas tidak mempengaruhi K_c .

Pengaruh Perubahan Tekanan (atau Volume)

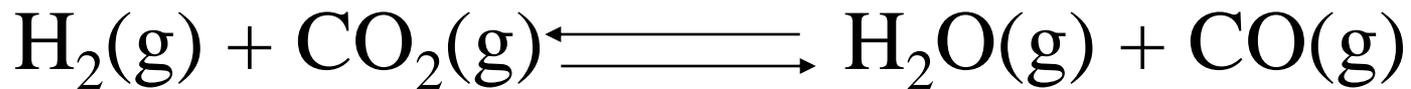
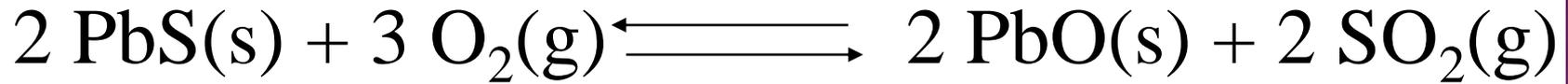
Perubahan tekanan kebanyakan melibatkan spesi dalam fasa gas karena padatan dan cairan pada dasarnya inkompresibel. Untuk gas, perubahan tekanan dapat terjadi dalam tiga cara:

- Mengubah konsentrasi komponen gas
- Menambahkan gas inert (gas yang tidak ikut bereaksi)
- Mengubah volume wadah reaksi

Meningkatkan tekanan dengan cara memperkecil volume akan menghasilkan reaksi bersih yang menurunkan jumlah total mol gas.

K_c tidak berubah.

Jika diketahui sistem kesetimbangan berikut ini.



Prediksilah arah reaksi bersih yang terjadi apabila kita memperbesar tekanan dengan cara memperkecil volume.

Pengaruh Perubahan suhu

Hanya perubahan suhu yang akan mengubah nilai konstanta kesetimbangan, dan karena itu suhu harus disertakan dalam penulisan nilai K_c .

Ketika kita menaikkan suhu, kita menambahkan kalor. Untuk memanfaatkan sebagian dari kalor ini, reaksi akan bergeser ke arah reaksi endotermik.

Jika reaksinya eksotermik, menaikkan suhu akan menggeser reaksi ke arah sebaliknya. (Bagaimana nilai K_c -nya?)



Menaikkan suhu akan menggeser kesetimbangan ke arah endotermik dan menurunkan suhu akan menggeser kesetimbangan ke arah eksotermik.

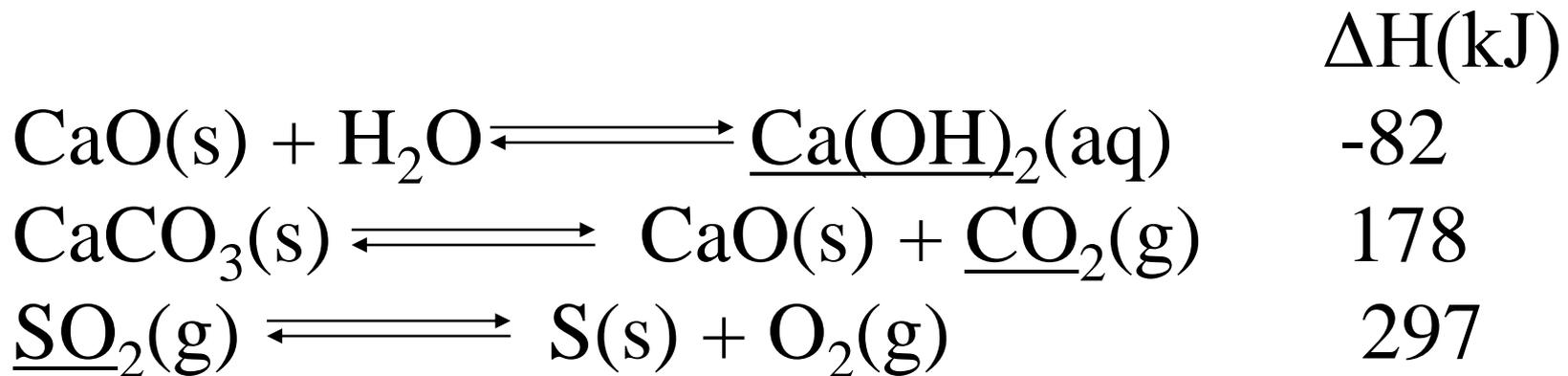
MENGAPA??

Kenaikan suhu akan memperbesar K_c untuk sistem dengan $+\Delta H^0_{rxn}$

Kenaikan suhu akan memperkecil K_c untuk sistem dengan $-\Delta H^0_{rxn}$

Contoh Soal

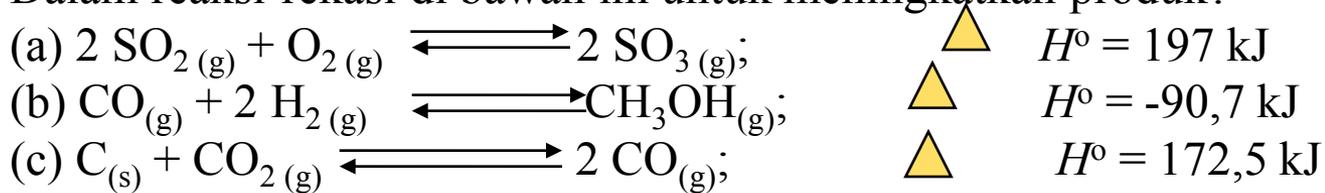
Bagaimanakah pengaruh peningkatan suhu terhadap konsentrasi kesetimbangan zat-zat yang diberi garis bawah dan K_c -nya?



Memprediksi Pengaruh Suhu dan Tekanan

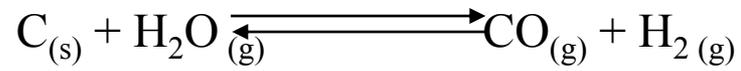
Bagaimanakah anda mengubah volume (tekanan) dan suhu

Dalam reaksi-reaksi di bawah ini untuk meningkatkan produk?



Memprediksi Pengaruh Perubahan Konsentrasi terhadap Posisi Kesetimbangan

Soal: Karbon akan bereaksi dengan air dan menghasilkan karbon monoksida dan hidrogen, dalam reaksi yang disebut reaksi gas air yang digunakan untuk menghasilkan bahan bakar untuk industri.



Apa yang terjadi terhadap:

- (a) [CO] jika C ditambah?
- (b) [CO] jika H₂O ditambah?
- (c) [H₂O] jika H₂ ditambah?
- (d) [H₂O] jika CO dikurangi?

Perubahan-perubahan di atas tidak mempengaruhi K_c .

Pengaruh Perubahan Tekanan (atau Volume)

Perubahan tekanan kebanyakan melibatkan spesi dalam fasa gas karena padatan dan cairan pada dasarnya inkompresibel. Untuk gas, perubahan tekanan dapat terjadi dalam tiga cara:

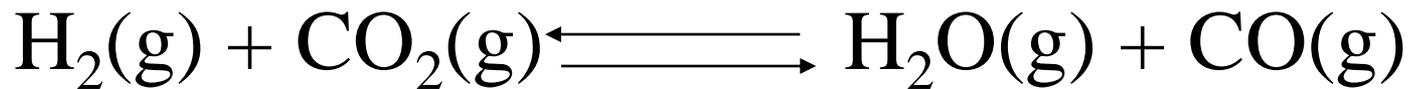
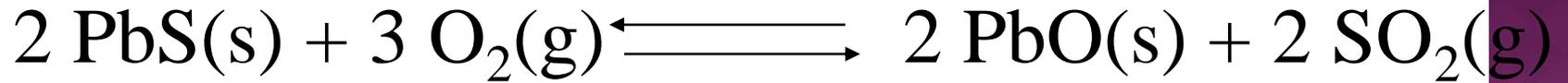
- Mengubah konsentrasi komponen gas
- Menambahkan gas inert (gas yang tidak ikut bereaksi)
- Mengubah volume wadah reaksi

Meningkatkan tekanan dengan cara memperkecil volume akan menghasilkan reaksi bersih yang menurunkan jumlah total mol gas.

MENGAPA??

K_c tidak berubah.

Jika diketahui sistem kesetimbangan berikut ini.



Prediksilah arah reaksi bersih yang terjadi apabila kita memperbesar tekanan dengan cara memperkecil volume.

Pengaruh Perubahan suhu

Hanya perubahan suhu yang akan mengubah nilai konstanta kesetimbangan, dan karena itu suhu harus disertakan dalam penulisan nilai K_c .

Ketika kita menaikkan suhu, kita menambahkan kalor. Untuk memanfaatkan sebagian dari kalor ini, reaksi akan bergeser ke arah reaksi endotermik.

Jika reaksinya eksotermik, menaikkan suhu akan menggeser reaksi ke arah sebaliknya. (Bagaimana nilai K_c -nya?)



Menaikkan suhu akan menggeser kesetimbangan ke arah endotermik dan menurunkan suhu akan menggeser kesetimbangan ke arah eksotermik.

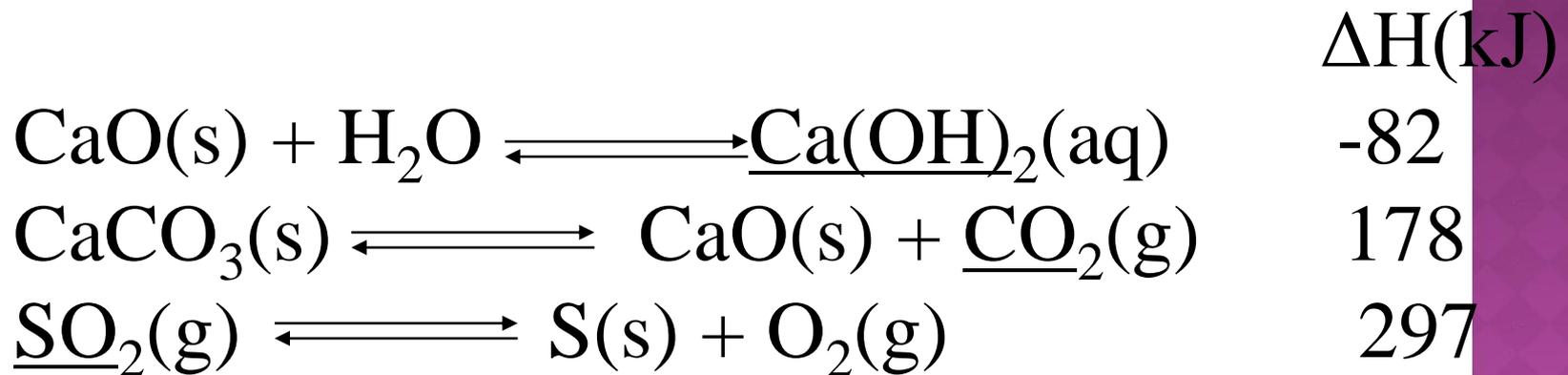
MENGAPA??

Kenaikan suhu akan memperbesar K_c untuk sistem dengan $+\Delta H^0_{rxn}$

Kenaikan suhu akan memperkecil K_c untuk sistem dengan $-\Delta H^0_{rxn}$

Contoh Soal

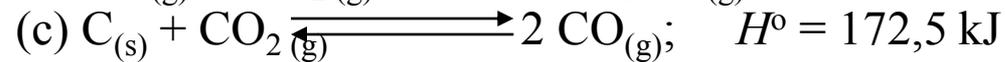
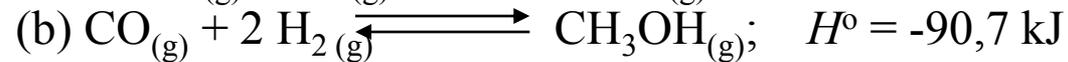
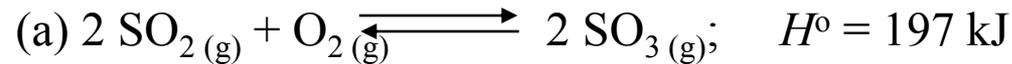
Bagaimanakah pengaruh peningkatan suhu terhadap konsentrasi kesetimbangan zat-zat yang diberi garis bawah dan K_c -nya?



Memprediksi Pengaruh Suhu dan Tekanan

Soal: Bagaimanakah anda mengubah volume (tekanan) dan suhu

Dalam reaksi-reaksi di bawah ini untuk meningkatkan produk?





Thank you....