

# Kesetimbangan Kimia

## A. PENDAHULUAN

➤ **Reaksi satu arah** (*irreversible*) atau reaksi tidak dapat balik adalah reaksi yang terjadi pada satu arah, dan produknya tidak dapat kembali menjadi reaktan.

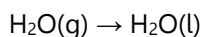
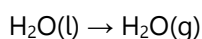
➤ **Reaksi bolak-balik** (*reversible*) atau reaksi dapat balik adalah reaksi yang terjadi pada dua arah yang berlawanan dalam waktu bersamaan.

➤ **Dalam reaksi bolak-balik**, produk dapat berubah menjadi reaktan, dan reaktan dapat berubah menjadi produk (menjadi reaksi yang berlawanan).

➤ **Pada kesetimbangan kimia**, hanya ada penyebutan zat di sebelah kiri dan di sebelah kanan.

➤ **Reaksi bolak-balik** dinyatakan dengan dua panah yang berlawanan arah, menyatakan reaksi maju (ke kanan) dan reaksi balik (ke kiri).

Contoh: Diketahui perubahan air menjadi uap air dapat balik, sehingga reaksi dapat ditulis



➤ **Reaksi bolak-balik sempurna** terjadi dalam sistem tertutup, karena tidak terjadi penambahan atau pengeluaran zat, keluarnya panas/kalor dari sistem, hilangnya gas yang terbentuk, dan sebagainya.

➤ **Reaksi dikatakan setimbang** atau **mencapai kesetimbangan** apabila:

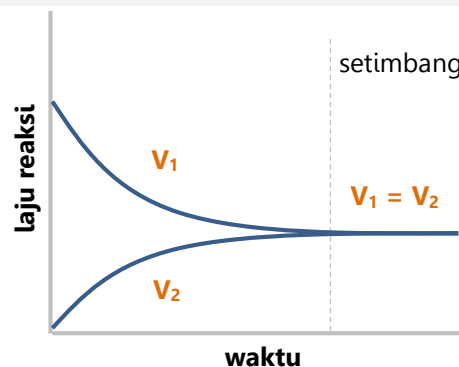
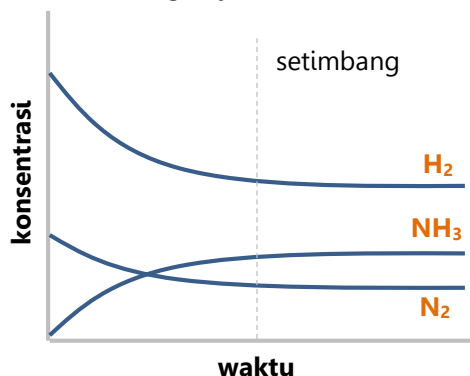
- 1) Reaksi bolak-balik yang mengandung zat berwujud gas terjadi dalam sistem tertutup.
- 2) Ketika konsentrasi seluruh zat nilainya tetap.
- 3) Ketika laju reaksi maju ( $v_1$ ) sama dengan laju reaksi balik ( $v_2$ ).

Contoh:

Pada reaksi kesetimbangan berikut,



keadaan setimbang terjadi ketika:



➤ **Pada kesetimbangan kimia**, ikatan akan terputus atau terbentuk seiring dengan maju-mundurnya atom di antara molekul reaktan dan produk.

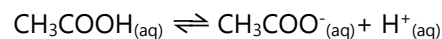
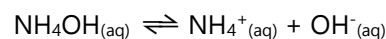
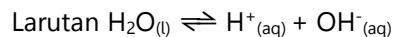
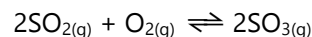
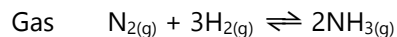
➤ **Kesetimbangan kimia** bersifat **dinamis** karena walaupun keadaan sudah setimbang, reaksi tetap berlangsung pada tingkat **mikroskopis** (molekul).

➤ **Reaksi mikroskopis** tidak tampak karena  $v_1$  sama dengan  $v_2$ , sehingga seakan-akan reaksi sudah berhenti.

➤ **Kesetimbangan kimia** dibagi menjadi dua:

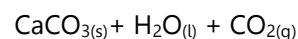
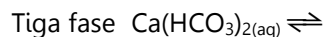
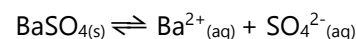
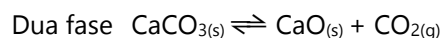
- 1) **Kesetimbangan homogen** (satu wujud/fase)

Contoh:



- 2) **Kesetimbangan heterogen** (lebih dari satu fase)

Contoh:



## B. REAKSI KESETIMBANGAN

➤ **Kesetimbangan disosiasi** adalah reaksi kesetimbangan yang menguraikan suatu zat menjadi zat lain, dan reaksi baliknya adalah kesetimbangan asosiasi/pembentukan.

➤ **Derajat disosiasi** adalah perbandingan jumlah mol terdisosiasi (bereaksi) dengan jumlah mol zat sebelum terdisosiasi (mula-mula).

$$\alpha = \frac{\text{jumlah zat terdisosiasi}}{\text{jumlah zat awal}}$$

**Derajat disosiasi** nilainya berkisar  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

- 1) **Jika nilai  $\alpha = 0$** , maka tidak ada penguraian.
- 2) **Jika nilai  $\alpha = 1$** , maka zat terurai seluruhnya.
- 3) **Jika nilai  $0 < \alpha < 1$** , maka zat terurai sebagian (setimbang).

Contoh:

Dalam reaksi kesetimbangan disosiasi  $\text{N}_2\text{O}_4$  menjadi  $\text{NO}_2$ , perbandingan mol  $\text{N}_2\text{O}_4$  dengan  $\text{NO}_2$  dalam keadaan setimbang berturut-turut 3 : 2. Berapakah derajat disosiasi  $\text{N}_2\text{O}_4$ ?

Jawab:

	$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$	
Mula-mula	a	-
Reaksi	a - St	St
Setimbang	St	St

Gunakan perbandingan koefisien reaksi,

	$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$	
Mula-mula	$3x + x = 4x$	-
Reaksi	x	2x
Setimbang	3x	2x

Jadi, derajat disosiasi dapat dihitung:

$$\alpha = \frac{\text{jumlah zat terurai}}{\text{jumlah zat awal}} = \frac{x}{4x} = \frac{1}{4}$$

### C. KONSTANTA KESETIMBANGAN

**Menurut Guldberg dan Wange** yang menjelaskan **hukum kesetimbangan**:

Hasil kali konsentrasi zat-zat di sebelah kanan yang dipangkatkan dengan koefisiennya, dan dibagi dengan hasil kali konsentrasi zat-zat di sebelah kiri yang dipangkatkan dengan koefisiennya memiliki harga tertentu pada suhu tetap.

**Persamaan konstanta kesetimbangan** yang dapat dibentuk menurut hukum diatas:

$$K_c = \frac{[\text{C}]^y [\text{D}]^z}{[\text{A}]^w [\text{B}]^x} \quad w\text{A} + x\text{B} \rightleftharpoons y\text{C} + z\text{D}$$

**Konstanta kesetimbangan** terdiri dari:

- 1) **Konstanta konsentrasi**, konstanta kesetimbangan yang dipengaruhi konsentrasi.
- 2) **Konstanta tekanan**, konstanta kesetimbangan yang dipengaruhi tekanan.

**Konstanta kesetimbangan** akan berubah bila suhu diubah, dan tetap bila suhu tidak berubah.

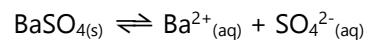
- 1) **Pada reaksi endoterm**, nilai konstantanya berbanding lurus dengan suhu.
- 2) **Pada reaksi eksoterm**, nilai konstantanya berbanding terbalik dengan suhu.

**Konstanta konsentrasi ( $K_c$ )** dipengaruhi oleh konsentrasi zat yang berwujud larutan dan gas.

**Jika reaksi** mengandung zat berwujud padat dan cair, maka pangkat konsentrasi zatnya nol, karena zat padat dan cair tidak memiliki konsentrasi.

Contoh:

Pada reaksi berikut, konstanta konsentrasinya:



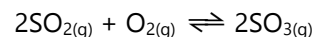
$$K_c = \frac{[\text{Ba}^{2+}] [\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{BaSO}_4]^0} = [\text{Ba}^{2+}] [\text{SO}_4^{2-}]$$

**Konstanta tekanan ( $K_p$ )** dipengaruhi oleh tekanan zat-zat yang berwujud gas.

**Jika reaksi** mengandung zat berwujud selain gas, maka pangkat tekanan zatnya nol, karena zat selain gas tidak memiliki tekanan.

Contoh:

Pada reaksi berikut, konstanta tekanannya:



$$K_p = \frac{(P_{\text{SO}_3})^2}{(P_{\text{SO}_2})^2 (P_{\text{O}_2})}$$

**Tekanan parsial gas** dapat dihitung:

$$P_x = \frac{\text{mol gas X}}{\text{mol gas total}} \times P_{\text{tot}}$$

**Satuan konstanta** dapat disesuaikan dengan pangkat konsentrasi maupun pangkat tekanan.

**Konstanta konsentrasi** dengan **konstanta tekanan** dapat dihubungkan melalui persamaan gas ideal pada suhu sama, dapat dirumuskan:

$$K_p = K_c (R.T)^{\Delta n}$$

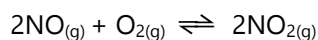
R = tetapan gas ideal (0,082 atm/mol K)

T = suhu (K)

$\Delta n$  = selisih jumlah koefisien zat di kanan dengan jumlah koefisien zat di kiri

Contoh:

Pada reaksi kesetimbangan berikut:



Mempunyai harga konstanta konsentrasi sebesar 0,25 pada suhu 17°C. Berapa harga konstanta tekanan reaksi tersebut pada suhu yang sama?


Jawab:

$$\Delta n = 2 - 3 = -1$$

$$K_p = 0,25 \cdot [0,082 \cdot (17 + 273)]^{-1}$$

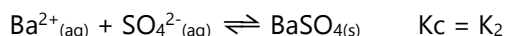
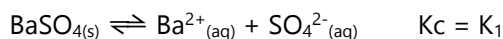
$$K_p = 0,25 : 23,78 = 0,010513 = 1,05 \times 10^{-2}$$

## D. KONSTANTA REAKSI KESETIMBANGAN ANTAR-REAKSI TERKAIT

 **Reaksi kesetimbangan** yang berkaitan nilai konstanta kesetimbangannya dapat berubah menurut ketentuan-ketentuan berikut:

- 1) Jika reaksi kesetimbangan dibalik, maka harga  $K_c$  juga dibalik.

Contoh:

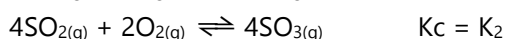
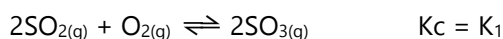


$$K_1 = \frac{[\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{BaSO}_4]^0}, K_2 = \frac{[\text{BaSO}_4]^0}{[\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]}$$

$$K_2 = \frac{1}{K_1}$$

- 2) Jika koefisien reaksi kesetimbangan dikali faktor  $n$ , maka harga  $K_c$  dipangkat  $n$ .

Contoh:



$$K_1 = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]}, K_2 = \frac{[\text{SO}_3]^4}{[\text{SO}_2]^4 [\text{O}_2]^2}$$

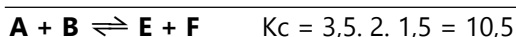
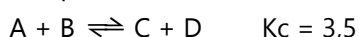
$$K_2 = \left( \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]} \right)^2$$

$$K_2 = (K_1)^n$$


- 3) Jika reaksi-reaksi yang berkaitan dijumlah, maka harga  $K_c$  total adalah hasil kali  $K_c$  dari reaksi-reaksi yang dijumlah.


Contoh:


Nilai  $K_c$  reaksi  $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{E} + \text{F}$  yang melalui tahap berikut adalah,



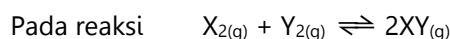
## E. MAKNA KONSTANTA KESETIMBANGAN

 **Tetapan kesetimbangan** dapat menunjukkan seberapa jauh suatu reaksi tuntas.

 **Nilai  $K_c$  dan  $K_p$**  ditentukan dengan konsentrasi/tekanan zat-zat disebelah kanan sebagai pembilang, dan konsentrasi/tekanan zat-zat disebelah kiri sebagai penyebut.


 **Nilai  $K_c$  dan  $K_p$  yang besar** menunjukkan reaksi ke kanan berlangsung hampir berlangsung tuntas/semipurna (jumlah zat di kanan besar dan di kiri kecil).

Contoh:

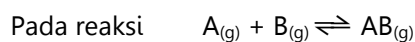


$$K_c = 1,0 \times 10^{23}$$

dapat dikatakan reaksi menghasilkan banyak XY ( $\text{X}_2$  dan  $\text{Y}_2$  jumlahnya sedikit), sehingga berlangsung tuntas, karena nilai  $K_c$  nya besar.


 **Nilai  $K_c$  dan  $K_p$  yang kecil** menunjukkan reaksi ke kanan berlangsung tidak berlangsung tuntas (jumlah zat di kiri besar dan di kanan kecil).


Contoh:




$$K_c = 8,0 \times 10^{-17}$$

dapat dikatakan reaksi hanya menghasilkan sedikit AB (A dan B jumlahnya banyak) sehingga reaksi tidak tuntas, karena nilai  $K_c$  nya kecil.

 **Tetapan kesetimbangan** juga dapat meramalkan arah reaksi.

 **Bila seluruh zat di kiri dan kanan dicampurkan**, maka reaksi harus berlangsung ke kanan atau ke kiri untuk mencapai keadaan setimbang, dan dapat dilakukan dengan mengecek **kuosien reaksi ( $Q_c$ )**.

 **Kuosien reaksi ( $Q_c$ )** adalah nilai yang bentuk persamaannya sama dengan konstanta kesetimbangan ( $K_c$ ).

$$Q_c = \frac{[\text{C}]^y [\text{D}]^z}{[\text{A}]^w [\text{B}]^x} \quad w\text{A} + x\text{B} \rightleftharpoons y\text{C} + z\text{D}$$

 **Makna nilai kuosien reaksi:**

- 1) Jika  $Q_c = K_c$ , berarti reaksi setimbang.
- 2) Jika  $Q_c < K_c$ , berarti reaksi spontan berlangsung ke kanan sampai setimbang.
- 3) Jika  $Q_c > K_c$ , berarti reaksi spontan berlangsung ke kiri sampai setimbang.

Contoh:

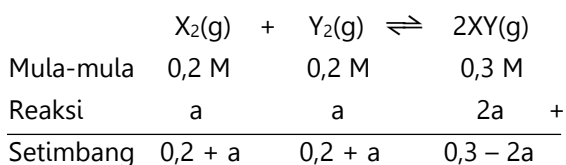
Diketahui reaksi  $\text{X}_{2(g)} + \text{Y}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{XY}_{(g)}$  memiliki  $K_c$  sebesar  $1 \times 10^{-2}$ . Pada suatu percobaan, dicampurkan 2 mol  $\text{X}_2$ , 2 mol  $\text{Y}_2$ , dan 3 mol XY dalam ruang bervolume 10 L. Apakah campuran itu setimbang? Bila tidak, ke arah mana reaksi berlangsung spontan? Berapakah konsentrasi  $\text{X}_2$  dan XY setelah mencapai kesetimbangan?

Jawab:

$$Q_c = \frac{\left(\frac{3}{10}\right)^2}{\left(\frac{2}{10}\right)\left(\frac{2}{10}\right)} = \frac{9}{4}$$

Ternyata  $Q_c > K_c$  (tidak setimbang), maka agar setimbang, zat di kiri harus bertambah atau zat di kanan harus berkurang, sehingga reaksi spontan berlangsung ke kiri sampai setimbang.

Keadaan reaksi:



Agar reaksi setimbang, berarti kita harus membuat kuosien reaksi nilainya menjadi sama dengan  $K_c$ , yaitu  $1 \times 10^{-2}$ .

$$\begin{aligned} K_c &= 1 \times 10^{-2} \\ \frac{(0,3-2a)^2}{(0,2+a)(0,2+a)} &= 1 \times 10^{-2} \\ \frac{0,3-2a}{0,2+a} &= 1 \times 10^{-1} \\ 0,02 + 0,1a &= 0,3 - 2a \\ 2,1a &= 0,28 \\ a &= 0,133 \text{ M} \end{aligned}$$


Jadi, konsentrasi  $X_2$  dan  $XY$  adalah:

$$[X_2] = 0,2 + a = 0,2 + 0,133 = \underline{0,333 \text{ M}}$$

$$[XY] = 0,3 - 2a = 0,3 - 2(0,133) = \underline{0,034 \text{ M}}$$

 **Faktor-faktor yang mempengaruhi** pergeseran kesetimbangan:

Faktor	Faktor Diperbesar	Faktor Diperkecil
Konsentrasi salah satu pereaksi	ke arah lawan (kanan)	ke diri sendiri (kiri)
Konsentrasi larutan dan konsentrasi/tekanan gas total	ke arah ruas dengan jumlah koefisien terkecil	ke arah ruas dengan jumlah koefisien terbesar
Volume gas dan larutan	ke arah ruas dengan jumlah koefisien terbesar	ke arah ruas dengan jumlah koefisien terkecil
Suhu	ke arah reaksi endoterm	ke arah reaksi eksoterm

 **Konsentrasi larutan** dan volume larutan saling berbanding terbalik, konsentrasi dapat diperkecil dengan menambah volume pelarut, dan konsentrasi dapat diperbesar dengan mengurangi volume pelarut.


 **Konsentrasi pereaksi** dapat diubah dengan:

- 1) Mengubah jumlah zat salah satu pereaksi (parsial) atau seluruhnya.
- 2) Menambahkan zat yang dapat mengikat pereaksi, sehingga pereaksi berkurang.
- 3) Menambahkan air sebagai pelarut/penambah volume.


 **Berdasarkan ketampakan zat** pada reaksi, kesetimbangan:

- 1) Bergeser ke kiri apabila warna zat di sebelah kiri lebih dominan (jumlahnya banyak).
- 2) Bergeser ke kanan apabila warna zat di sebelah kanan lebih dominan (jumlahnya banyak).

## F. PERGESERAN KESETIMBANGAN

 **Azas Le Chatelier** menjelaskan bagaimana terjadinya pergeseran kesetimbangan.

Bila suatu kesetimbangan diberikan suatu aksi/tindakan, maka sistem tersebut akan mengadakan reaksi yang cenderung mengurangi aksi tersebut.


 **Pergeseran kesetimbangan** tidak mengubah nilai  $K_c$  dan  $K_p$ , kecuali suhu pada sistem kesetimbangan berubah.

 **Konsep pergeseran kesetimbangan:**

- 1) Kesetimbangan dikatakan **bergeser ke kiri** apabila zat di kiri bertambah atau zat di kanan berkurang.
- 2) Kesetimbangan dikatakan **bergeser ke kanan** apabila zat di kanan bertambah atau zat di kiri berkurang.

- **Jika konsentrasi salah satu pereaksi/larutan ditambah**, reaksi sistem adalah mengurangi komponen tersebut dan kesetimbangan bergeser ke arah lawan.
- **Jika konsentrasi salah satu pereaksi/larutan dikurang**, reaksi sistem adalah menambah komponen tersebut kesetimbangan bergeser ke diri sendiri.
- **Jika konsentrasi larutan total ditambah (volume diperkecil)**, kesetimbangan bergeser ke ruas yang jumlah koefisiennya lebih kecil.
- **Jika konsentrasi larutan total dikurang (volume diperbesar)**, kesetimbangan bergeser ke ruas yang jumlah koefisiennya lebih besar.

Catatan: Koefisien yang dijumlah adalah koefisien zat larutan saja (untuk sistem larutan).

 **Tekanan dan volume gas** saling berbanding terbalik, tekanan dapat diperkecil dengan menambah volume gas, dan tekanan dapat diperbesar dengan mengurangi volume gas.

- Jika tekanan gas diperbesar (volume gas diperkecil), kesetimbangan bergeser ke ruas yang jumlah koefisiennya lebih kecil.
- Jika tekanan gas diperkecil (volume gas diperbesar), kesetimbangan bergeser ke ruas yang jumlah koefisiennya lebih besar.

Catatan: Koefisien yang dijumlah adalah koefisien zat gas saja (untuk sistem gas).

🔪 **Suhu** menggeser kesetimbangan dengan:

- Jika suhu dinaikkan, sistem akan menurunkan suhu dan kesetimbangan bergeser ke arah reaksi endoterm.
- Jika suhu diturunkan, sistem akan menaikkan suhu dan kesetimbangan bergeser ke arah reaksi eksoterm.

🔪 **Katalis** mempercepat laju reaksi karena menurunkan energi aktivasi reaksi. Oleh karena itu, katalis mempercepat laju reaksi maju dan laju reaksi balik, sehingga **mempercepat keadaan setimbang**, namun **tidak menggeser/** mengubah komposisi kesetimbangan.

## G. PENERAPAN KESETIMBANGAN KIMIA

🔪 **Dalam industri**, reaksi kesetimbangan dibuat sedemikian rupa sehingga menggeser kesetimbangan ke arah produk, dengan cara sesederhana mungkin dan seefisien mungkin.

🔪 **Pembuatan amonia** menurut **proses Haber-Bosch** yang optimum dilakukan dengan menurut reaksi:



1) Katalis yang digunakan adalah **serbuk Fe**.

2) **Suhu dibuat tinggi**.

Sebenarnya, kesetimbangan akan bergeser ke kanan bila suhu dibuat rendah. Akan tetapi, katalis hanya bekerja pada suhu tinggi, sehingga tidak dibuat rendah.

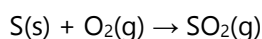
3) **Tekanan dibuat tinggi**.

Agar kesetimbangan bergeser ke kanan ( $\text{NH}_3$  bertambah), tekanan dibuat tinggi.

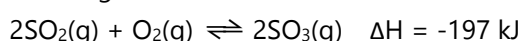
Selain itu, untuk mengurangi reaksi balik, amonia yang terbentuk segera dipisahkan.

🔪 **Pembuatan asam sulfat** menurut proses kontak dilakukan dengan tahapan:

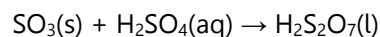
1) **Pembakaran belerang**



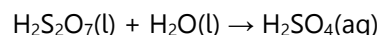
2) **Oksidasi belerang dioksida** menjadi belerang trioksida



3) **Pelarutan belerang trioksida** dalam asam sulfat pekat menjadi asam piroosulfat



4) **Asam piroosulfat direaksikan dengan air** menjadi asam sulfat pekat



🔪 **Tahapan yang utama** adalah tahapan kedua yang mengandung reaksi kesetimbangan.

🔪 **Reaksi kesetimbangan** pada pembuatan asam sulfat menurut proses kontak yang optimum setelah diteliti adalah dilakukan dalam suhu sekitar **500°C**, tekanan normal (**1 atm**), dan dengan katalis **V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**.

🔪 **Alasan** dari perlakuan diatas antara lain:

1) Seharusnya suhu dibuat rendah agar menggeser ketimbangan ke kanan, namun menurut proses ini dibuat tinggi.

Hal ini dilakukan karena reaksi berlangsung dengan baik pada suhu tinggi dibanding pada suhu rendah.

2) Selain itu, suhu tinggi dapat mengaktifkan kerja katalis V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sehingga mempercepat keadaan setimbang.

3) Seharusnya tekanan diperbesar, namun perbesaran tekanan tidak seimbang dengan hasil yang memadai, sehingga tekanan normal (1 atm) yang digunakan.