

# KIMIA XI

# BAHAN AJAR

## Kesetimbangan Kimia



OLEH:  
ANI DWI RATNASARI  
K3322013



## GLOSARIUM

Kesetimbangan Kimia	Keadaan pada reaksi bolak-balik ketika laju reaksi maju sama dengan laju reaksi balik.
Reaksi reversibel	Reaksi yang dapat berlangsung ke arah reaktan dan produk secara bersamaan.
Kesetimbangan dinamis	Keadaan setimbang di mana reaksi tetap berlangsung, tetapi tidak menimbulkan perubahan konsentrasi secara makroskopis.
Sistem tertutup	Sistem reaksi yang tidak memungkinkan zat keluar atau masuk dari lingkungan.
Prinsip Le Chatelier	Prinsip yang menyatakan bahwa sistem setimbang akan bergeser untuk mengurangi pengaruh gangguan yang diberikan.
Tetapan kesetimbangan (K)	Bilangan yang menunjukkan perbandingan konsentrasi atau tekanan parsial zat pada keadaan setimbang.
Tetapan kesetimbangan konsentrasi (Kc)	Tetapan kesetimbangan yang dinyatakan dalam konsentrasi zat (mol/L).
Tetapan kesetimbangan tekanan (Kp)	Tetapan kesetimbangan yang dinyatakan dalam tekanan parsial gas.

## PETA KONSEP



## PENDAHULUAN

### A. Identitas Modul

Mata Pelajaran	: Kimia
Kelas/Fase	: XI / F
Alokasi Waktu	: 4 jam pelajaran
Judul Modul	: Ikatan Kimia

### B. Capaian Pembelajaran

Peserta didik mampu mengamati, menyelidiki dan menjelaskan fenomena sehari-hari sesuai kaidah kerja ilmiah dalam menjelaskan konsep kimia dalam keseharian; menerapkan operasi matematika dalam perhitungan kimia; mempelajari sifat, struktur dan interaksi partikel dalam membentuk berbagai senyawa termasuk pengolahan dan penerapannya dalam keseharian; memahami dan menjelaskan aspek energi, laju dan kesetimbangan reaksi kimia; menggunakan konsep asam-basa dalam keseharian; menggunakan transformasi energi kimia dalam keseharian termasuk termokimia dan elektrokimia; memahami kimia organik termasuk penerapannya dalam keseharian.

### C. Deskripsi Singkat Materi

Kesetimbangan kimia adalah keadaan pada reaksi bolak-balik ketika laju reaksi ke arah produk sama dengan laju reaksi ke arah reaktan, sehingga konsentrasi zat-zat yang terlibat tampak tetap. Kesetimbangan ini bersifat dinamis karena reaksi tetap berlangsung secara mikroskopis. Posisi kesetimbangan dapat dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi, suhu, dan tekanan, sesuai dengan Prinsip Le Chatelier, yang banyak diterapkan dalam proses industri dan fenomena kehidupan sehari-hari.

### D. Petunjuk Penggunaan Modul

Bacalah modul secara berurutan. Pahami materi dan contoh yang disajikan, lalu kerjakan LKPD dan latihan soal dengan sungguh-sungguh. Diskusikan hasil belajar dan mintalah bimbingan guru jika mengalami kesulitan.

### E. Materi Pembelajaran

Modul ini didalamnya terdapat uraian materi, contoh soal dan soal evaluasi kesetimbangan kimia

## KESETIMBANGAN KIMIA

### A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran ini diharapkan peserta didik dapat:

1. Menjelaskan konsep dasar kesetimbangan kimia
2. Menghitung nilai tetapan kesetimbangan ( $K_c$ ) berdasarkan daya konsentrasi pada keadaan setimbang.
3. Menganalisis pengaruh perubahan konsentrasi, tekanan/volume, dan suhu terhadap posisi kesetimbangan menggunakan Prinsip Le Chatelier.
4. Menerapkan konsep kesetimbangan kimia untuk menjelaskan fenomena *Socio Scientific Issues*.

### B. Kriteria Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (KKTP)

1. Peserta didik mampu menjelaskan konsep dasar kesetimbangan kimia dengan benar
2. Peserta didik mampu menghitung nilai tetapan kesetimbangan ( $K_c$ ) berdasarkan daya konsentrasi pada keadaan setimbang dengan tepat
3. Peserta didik mampu menganalisis pengaruh perubahan konsentrasi, tekanan/volume, dan suhu terhadap posisi kesetimbangan menggunakan Prinsip Le Chatelier dengan tepat
4. Peserta didik mampu menerapkan konsep kesetimbangan kimia untuk menjelaskan fenomena *Socio Scientific Issues*.

### C. Uraian Materi

#### 🔍 Permasalahan Awal



Unit Amonia Kujang 1A dan Kujang 1B menghasilkan Amonia dengan kapasitas terpasang masing-masing sebesar 1000 MT/hari. Selain itu dihasilkan juga produk samping berupa gas Karbonyoksida yang digunakan untuk bahan baku pembuatan Urea.

Gambar 1. Industri Pupuk

(Sumber:<https://pupuk-kujang.co.id>)

Industri pupuk memproduksi amonia ( $\text{NH}_3$ ) sebagai bahan baku utama pertanian. Untuk meningkatkan hasil produksi, pabrik sering mengubah suhu, tekanan, dan jumlah reaktan dalam reaktor. Namun, perubahan kondisi tersebut tidak selalu membuat hasil reaksi semakin banyak, bahkan bisa menurunkannya. Mengapa hal ini dapat terjadi, dan bagaimana prinsip kimia menjelaskan kondisi terbaik agar reaksi berlangsung efektif?

“Untuk menjawab permasalahan tersebut, mari kita mempelajari konsep kesetimbangan kimia serta faktor-faktor yang mempengaruhi pergeseran kesetimbangan berdasarkan Prinsip Le Chatelier.”

#### 1. Pengertian Kesetimbangan Kimia

Kesetimbangan adalah suatu keadaan di mana tidak ada perubahan (bersifat dinamis) yang terlihat seiring berjalananya waktu. Reaksi kesetimbangan merupakan reaksi reversible (reaksi yang dapat balik atau dua arah) di mana zat-zat hasil reaksi dapat bereaksi kembali membentuk zat-zat asalnya. Untuk menyatakan kesetimbangan digunakan dua anak panah yang berlawanan arah ( $\rightleftharpoons$  atau  $\rightleftharpoons$ ) pada persamaan reaksinya.

Ciri-ciri Kesetimbangan Kimia

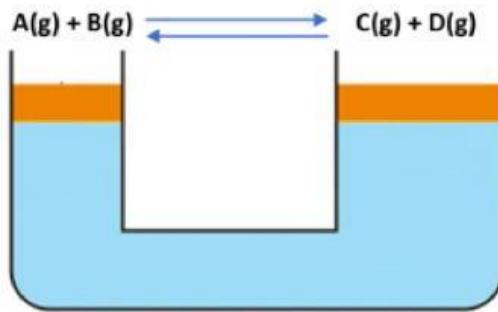
**2. Reaksi kesetimbangan memiliki beberapa ciri khas, antara lain:**

- a. Reaksi bersifat reversibel, artinya dapat berlangsung ke dua arah (reaksi maju dan reaksi balik).
- b. Laju reaksi maju sama dengan laju reaksi balik, sehingga tidak terjadi perubahan bersih terhadap konsentrasi zat.
- c. Konsentrasi reaktan dan produk tetap konstan, tetapi tidak harus sama besar.
- d. Kesetimbangan hanya dapat tercapai dalam sistem tertutup, yaitu tidak ada zat yang keluar atau masuk dari sistem.
- e. Kesetimbangan bersifat dinamis, karena kedua reaksi tetap berlangsung secara bersamaan.

**3. Faktor-faktor yang mempengaruhi kesetimbangan**

Henry Le Chatelier berpendapat bahwa jika pada kesetimbangan kimia dilakukan gangguan, maka akan terjadi pergeseran kesetimbangan dengan tujuan mempertahankan kesetimbangan tersebut sehingga pengaruhnya menjadi sekecil mungkin. Pendapat tersebut dikenal sebagai hipotesis atau prinsip Le Chatelier. "Jika dalam sistem kesetimbangan dinamis dilakukan gangguan, maka akan terjadi pergeseran kesetimbangan dan membentuk kesetimbangan baru sehingga perubahan menjadi sekecil mungkin". Beberapa aksi yang dapat menimbulkan perubahan pada kesetimbangan antara lain:

- a. Perubahan Konsentrasi
  - 1) Jika salah satu konsentrasi zat diperbesar, reaksi akan bergeser dari arah zat tersebut.
  - 2) Jika salah satu konsentrasi zat diperkecil, reaksi akan bergeser ke arah zat tersebut.



Gambar 2. Ilustrasi kesetimbangan kimia gas

(Sumber: <https://TKA-Kimia-Kesetimbangan-Kimia>)

Keterangan:

- Jika Konsentrasi A dan atau B ditambah, reaksi akan bergeser ke kanan karena penambahan pereaksi membuat konsentrasi A dan B berlebih sehingga sistem berusaha mengurangi kelebihan tersebut dengan membentuk lebih banyak produk C dan D.
  - Jika Konsentrasi C dan atau D ditambah, reaksi akan bergeser ke kiri karena penambahan produk membuat konsentrasi C dan D berlebih sehingga sistem berusaha mengurangi kelebihan tersebut dengan membentuk lebih banyak pereaksi A dan B.
  - Jika Konsentrasi A dan atau B dikurangi, reaksi akan bergeser ke kiri karena pengurangan pereaksi membuat konsentrasi C dan D berlebih sehingga sistem berusaha mengurangi kelebihan tersebut dengan membentuk lebih banyak pereaksi A dan B.
  - Jika Konsentrasi C dan atau D dikurangi, reaksi akan bergeser ke kanan karena pengurangan produk membuat konsentrasi A dan B berlebih sehingga sistem berusaha mengurangi kelebihan tersebut dengan membentuk lebih banyak produk C dan D.
- 3) Perubahan Suhu
- Jika suhu dinaikkan, reaksi akan bergeser ke arah reaksi endoterm ( $\Delta H = +$ ).

- Jika suhu diturunkan, reaksi akan bergeser ke arah reaksi eksoterm ( $\Delta H = -$ ).

Contoh:

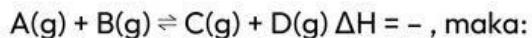
Reaksi endoterm



Reaksi                  Reaksi

Eksoterm      Endoterm

Reaksi endoterm



Reaksi                  Reaksi

Endoterm      Eksoterm

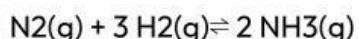
#### 4) Perubahan Tekanan atau Volume

- Jika tekanan diperbesar (volume diperkecil), reaksi akan bergeser ke arah jumlah koefisien reaksi yang lebih kecil.
- Jika tekanan diperkecil (volume diperbesar), reaksi akan bergeser ke arah jumlah koefisien reaksi yang lebih besar.
- Bila jumlah koefisien reaksi sebelum dan sesudah reaksi sama, perubahan volume/ tekanan tidak menggeser letak kesetimbangan.

Catatan: Untuk perubahan volume dan tekanan, wujud diperhitungkan. Artinya harus dalam wujud yang sama (homogen). Jika heterogen berlaku prioritas  $(g) > (aq) > (l) > (s)$ .

Contoh:

Kesetimbangan homogen

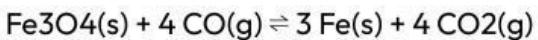


$$\Sigma \text{Koefisien kiri} = 1+3 \text{ dan koefisien kanan} = 2$$



$$\Sigma \text{Koefisien kiri} = 1+1 \text{ dan koefisien kanan} = 1$$

Kesetimbangan heterogen

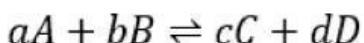


$$\Sigma \text{Koefisien kiri} = 4 \text{ dan koefisien kanan} = 4$$

#### 4. Tetapan Kesetimbangan

Tetapan kesetimbangan ( $K$ ) adalah nilai yang menunjukkan perbandingan hasil kali konsentrasi atau tekanan parsial produk dipangkatkan koefisien reaksinya dengan hasil kali konsentrasi atau tekanan parsial reaktan dipangkatkan koefisien reaksinya ketika sistem mencapai keadaan setimbang. Tetapan kesetimbangan tidak memiliki satuan untuk banyak reaksi, dan nilainya hanya bergantung pada suhu.

Untuk reaksi umum:



maka tetapan kesetimbangan berbasis konsentrasi ( $K_c$ ) dirumuskan sebagai:

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

Jika zat dalam wujud padat atau cair murni terdapat di dalam reaksi, maka zat tersebut tidak masuk dalam persamaan  $K$  karena konsentrasinya dianggap konstan.

Jenis-jenis Tetapan Kesetimbangan

a. Tetapan Kesetimbangan Konsentrasi ( $K_c$ )

$K_c$  digunakan untuk reaksi-reaksi yang melibatkan zat terlarut atau gas, berdasarkan konsentrasi molar (mol/L). Nilai  $K_c$  menentukan sejauh mana reaksi berlangsung.

Interpretasi nilai  $K_c$ :

$K_c >> 1 \rightarrow$  produk lebih dominan, reaksi cenderung ke kanan.

$K_c << 1 \rightarrow$  reaktan lebih dominan, reaksi cenderung ke kiri.

$K_c \approx 1 \rightarrow$  reaktan dan produk relatif sebanding pada kesetimbangan.

b. Tetapan Kesetimbangan Tekanan ( $K_p$ )

K<sub>p</sub> digunakan untuk reaksi gas dan dihitung berdasarkan tekanan parsial tiap gas:

$$K_p = \frac{(P_C)^c (P_D)^d}{(P_A)^a (P_B)^b}$$

Penggunaan K<sub>p</sub> relevan untuk reaksi gas karena tekanan parsial berkaitan langsung dengan jumlah mol dalam sistem gas ideal.

c. Hubungan K<sub>c</sub> dan K<sub>p</sub>

K<sub>c</sub> dan K<sub>p</sub> memiliki hubungan yang dinyatakan dalam persamaan:

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

dengan:

R = konstanta gas umum (0,0821 L·atm/mol·K)

T = suhu (K)

$\Delta n$  = (jumlah koefisien produk gas) – (jumlah koefisien reaktan gas)

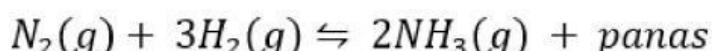
Hubungan ini hanya berlaku untuk reaksi gas, dan menunjukkan bahwa perubahan jumlah mol gas akan mempengaruhi perbedaan nilai K<sub>p</sub> dan K<sub>c</sub>.

## 5. Socio Scientific Issues yang berkaitan dengan Kesetimbangan Kimia

Kesetimbangan kimia adalah konsep yang mendasar dalam ilmu kimia dimana materi ini menjelaskan bagaimana suatu reaksi belangsung bolak-balik dan dua arah (reversibel). Kesetimbangan kimi memiliki relevansi dengan Socio Scientific Issues (SSI) yang muncul dalam industri atau bahkan kehidupan di masyarakat. Berikut adalah beberapa isu sosial sains yang berhubungan dengan konsep kesetimbangan kimia.

a. Industri Amonia (Haber-Bosch)

Pada industri amonia, prinsip kesetimbangan kimia digunakan untuk mensintesis amonia yang awalnya berasal dari gas nitrogen dengan reaksi berikut:



Reaksi ini bersifat eksoterm sehingga peningkatan suhu akan menggeser kesetimbangan ke arah kiri (mengurangi hasil amonia), sedangkan peningkatan tekanan menggeser kesetimbangan ke arah kanan (menambah hasil amonia). Untuk memperoleh hasil maksimum, industri menggunakan tekanan tinggi ( $\pm 200$  atm), suhu sedang ( $\pm 450^\circ\text{C}$ ), dan katalis besi (Fe) untuk mempercepat tercapainya kesetimbangan. Pemahaman terhadap prinsip Le Chatelier menjadi kunci agar bisa menghasilkan amonia secara efisien.

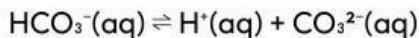
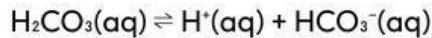
Socio Scientific Issues yang terkait adalah amonia merupakan bahan utama untuk membuat pupuk nitrogen. Produksi pupuk yang masif menjadi salah satu pendukung ketahanan pangan dunia, namun ketika penggunaan pupuk tersebut berlebihan dapat menimbulkan masalah yang serius yakni pencemaran air tanah oleh nitrat (eutrofikasi). Selain itu penggunaan pupuk berlebih juga dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca ( $\text{N}_2\text{O}$ ) yang terbentuk dari proses nitrifikasi dan denitrifikasi di tanah, Urea yang diaplikasikan ke lahan juga mengalami hidrolisis menghasilkan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang akan menumpuk di atmosfer dan meningkatkan suhu permukaan bumi. Di Indonesia, penggunaan pupuk nitrogen dalam pertanian cukup tinggi, termasuk di Jawa Tengah, hal tersebut memunculkan isu terkait kesuburan tanah dan kualitas air persawahan.

b. Pencemaran Sungai Bengawan Solo Akibat Industri tekstil dan batik

Sungai Bengawan Solo merupakan sungai terpanjang di Pulau Jawa yang dimanfaatkan masyarakat untuk berbagai keperluan, seperti mandi, mencuci, irigasi pertanian, dan kegiatan industri. Namun, meningkatnya aktivitas industri tekstil dan batik di sepanjang aliran sungai menyebabkan masuknya limbah cair ke perairan sungai. Limbah industri tekstil dan batik umumnya bersifat basa karena mengandung deterjen dan bahan kimia pewarna. Masuknya limbah tersebut meningkatkan konsentrasi ion  $\text{OH}^-$  di dalam air sungai sehingga pH air mengalami kenaikan. Perubahan pH ini mengganggu

sistem kesetimbangan kimia alami yang berfungsi menjaga kestabilan kondisi perairan.

Salah satu sistem kesetimbangan yang berperan penting dalam menjaga kestabilan pH air sungai adalah sistem karbonat-bikarbonat, yang ditunjukkan oleh reaksi berikut:



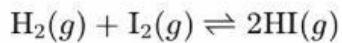
Ketika konsentrasi ion  $\text{OH}^-$  meningkat, ion  $\text{H}^+$  di dalam air akan bereaksi membentuk air. Akibatnya, kesetimbangan karbonat-bikarbonat bergeser untuk menghasilkan kembali ion  $\text{H}^+$ . Pergeseran kesetimbangan ini menyebabkan kemampuan sistem penyanga alami air sungai melemah, sehingga pH air menjadi kurang stabil.

Ketidakstabilan pH air sungai berdampak pada organisme air yang sensitif terhadap perubahan lingkungan, seperti ikan dan biota perairan lainnya. Selain itu, perubahan kondisi air sungai juga menurunkan kualitas ekosistem perairan serta mengurangi kenyamanan masyarakat yang memanfaatkan air Sungai Bengawan Solo dalam kehidupan sehari-hari.

SSI yang terkait adalah kesehatan masyarakat yang menggunakan air sungai, rusaknya ekosistem seperti ikan mati, dan timbulnya kondisi ketidaknyamanan seperti yang ditemui di beberapa wilayah sepanjang Bengawan Solo seperti Sukoharjo, Karanganyar, dan Surakarta, masyarakat kerap mencium bau menyengat.

### Contoh Soal 1 (Perhitungan $K_c$ )

Diketahui reaksi kesetimbangan:



Pada keadaan setimbang diperoleh data:

- $[\text{H}_2] = 0,2 \text{ M}$
- $[\text{I}_2] = 0,2 \text{ M}$
- $[\text{HI}] = 0,8 \text{ M}$

Tentukan nilai  $K_c$ !

Jawaban:

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{(0,8)^2}{(0,2)(0,2)} = \frac{0,64}{0,04} = 16$$

---

### Contoh Soal 2 (Perhitungan $K_c$ )

Reaksi berikut berada dalam keadaan setimbang:



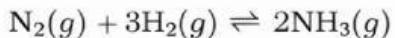
Jika konsentrasi  $\text{NO}_2 = 0,4 \text{ M}$  dan  $\text{N}_2\text{O}_4 = 0,2 \text{ M}$ , tentukan nilai  $K_c$ !

Jawaban:

$$K_c = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2} = \frac{0,2}{(0,4)^2} = \frac{0,2}{0,16} = 1,25$$

### Contoh Soal 3 (Perhitungan $K_p$ )

Diketahui reaksi kesetimbangan:



Pada keadaan setimbang diperoleh tekanan parsial:

- $[P_{\text{N}_2}] = 2 \text{ atm}$
- $[P_{\text{H}_2}] = 4 \text{ atm}$
- $[P_{\text{NH}_3}] = 6 \text{ atm}$

Tentukan nilai  $K_p$ !

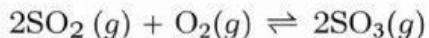
Jawaban:

$$K_p = \frac{(P_{\text{NH}_3})^2}{(P_{\text{N}_2})(P_{\text{H}_2})^2} = \frac{6^2}{(2)(4^3)} = \frac{36}{128} = 0,28$$

---

### Contoh Soal 4 (Hubungan $K_c$ dan $K_p$ )

Diketahui reaksi:



Jika nilai  $K_c = 4$  pada suhu tertentu, tentukan nilai  $K_p$ !

(Diketahui R = 0,082 dan T = 500 K)

Jawaban:  $\Delta n = \text{mol gas produk} - \text{mol gas reaktan} = 2 - (2 + 1) = -1$

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n} = 4(0,082 \times 500)^{-1} = 4(41)^{-1} \approx 0,098$$