

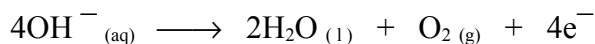
### 3. ELEKTROKIMIA

#### 1. Elektrolisis

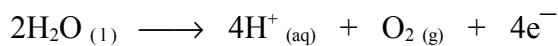
Elektrolisis adalah peristiwa penguraian elektrolit oleh arus listrik searah dengan menggunakan dua macam elektroda. Elektroda tersebut adalah katoda (elektroda yang dihubungkan dengan kutub negatif) dan anoda (elektroda yang dihubungkan dengan kutub positif).

Pada anoda terjadi reaksi oksidasi, yaitu anion (ion negatif) ditarik oleh anoda dan jumlah elektronnya berkurang sehingga bilangan oksidasinya bertambah.

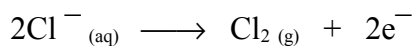
- a. Ion  $\text{OH}^-$  dioksidasi menjadi  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{O}_2$ . Reaksinya:



- b. Ion sisa asam yang mengandung oksigen (misalnya  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) tidak dioksidasi, yang dioksidasi air. Reaksinya:

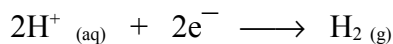


- c. Ion sisa asam yang lain dioksidasi menjadi molekul. Contoh:

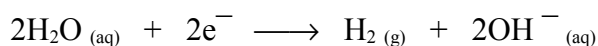


Pada katoda terjadi reaksi reduksi, yaitu kation (ion positif) ditarik oleh katoda dan menerima tambahan elektron, sehingga bilangan oksidasinya berkurang.

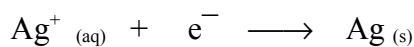
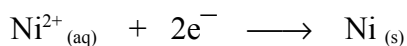
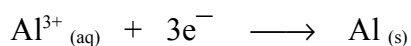
- a. Ion  $\text{H}^+$  direduksi menjadi  $\text{H}_2$ . Reaksinya:



- b. Ion logam alkali (IA) dan alkali tanah (IIA) tidak direduksi, yang direduksi air.

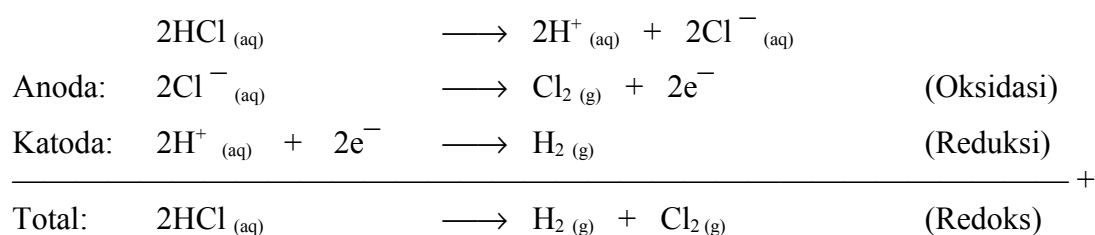


- c. Ion logam lain (misalnya  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$  dan lainnya) direduksi. Contoh:

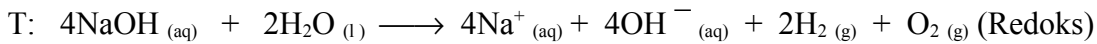
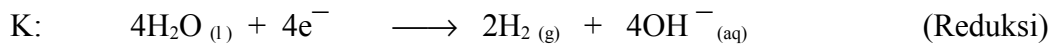
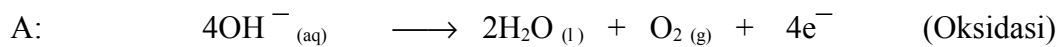
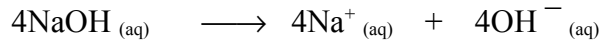


Contoh elektrolisis:

- a. Elektrolisis larutan HCl dengan elektroda Pt, reaksinya:



b. Elektrolisis larutan NaOH dengan elektroda Pt, reaksinya:



Proses elektrolisis dalam industri misalnya:

- Penyepuhan (melapisi logam dengan logam lebih mulia misal Ni, Cr, atau Au).
- Pemurnian logam (misal Ag, Cu, Au).
- Pembuatan senyawa (misal NaOH) atau gas (misal O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>).

## 2. Hukum Faraday

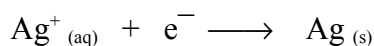
Akibat aliran arus listrik searah ke dalam larutan elektrolit akan terjadi perubahan kimia dalam larutan tersebut. Menurut *Michael Faraday* (1834) lewatnya arus 1 F mengakibatkan oksidasi 1 massa ekuivalen suatu zat pada suatu elektroda (anoda) dan reduksi 1 massa ekuivalen suatu zat pada elektroda yang lain (katoda).

Hukum *Faraday* I: Massa zat yang timbul pada elektroda karena elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah listrik yang mengalir melalui larutan.

$w \sim Q$	$w$ = massa zat yang diendapkan (g).
$w \sim I.t$	$Q$ = jumlah arus listrik = muatan listrik (C)
$w = e.I.t$	$e$ = tetapan = (gek : F)
$\frac{gek.I.t}{F}$	$I$ = kuat arus listrik (A).
$= \frac{Ar.I.t}{n.F}$	$t$ = waktu (dt).
	$gek$ = massa ekuivalen zat (gek).
	$Ar$ = massa atom relatif.
	$n$ = valensi ion.
	$F$ = bilangan faraday = 96 500 C.

Massa ekuivalen = massa zat yang sebanding dengan 1 mol elektron =  $6,02 \times 10^{23} \text{ e}^-$   
 $1 \text{ gek} \sim 1 \text{ mol e}^-$

Jika arus listrik 1 F dialirkan ke dalam larutan AgNO<sub>3</sub> maka akan diendapkan 1 gram ekuivalen Ag.

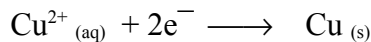


1 mol e<sup>-</sup> ~ 1 mol Ag ~ 1 gram ekuivalen Ag

Untuk mendapatkan 1 gram ekuivalen Ag diperlukan 1 mol e<sup>-</sup>

1 gram ekuivalen Ag = 1 mol e<sup>-</sup> = 1 mol Ag = 108 gram Ag

Jika listrik 1 F dialirkan ke dalam larutan  $\text{CuSO}_4$  maka akan diendapkan 1 gek Cu.



$$2 \text{ mol e}^{-} \sim 1 \text{ mol Cu}$$

$$1 \text{ mol e}^{-} \sim \frac{1}{2} \text{ mol Cu}$$

$$1 \text{ gek Cu} = 1 \text{ mol e}^{-} = \frac{1}{2} \text{ mol Cu} = (\frac{1}{2} \times 64) \text{ gram Cu} = 32 \text{ gram Cu}$$

$Q =$  banyaknya arus listrik yang dialirkan (Coulomb) =  $I \cdot t$  (Ampere.detik)

$$\text{Muatan } 1 \text{ e}^{-} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

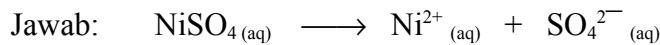
$$\text{Muatan } 1 \text{ mol e}^{-} = (6,02 \times 10^{23}) \times (1,6 \times 10^{-19}) \text{ C}$$

$$\approx 96\,500 \text{ C}$$

$$= 1 \text{ F}$$

Contoh soal:

1. Berapa gram Ni yang diendapkan pada elektrolisis larutan  $\text{NiSO}_4$  dengan arus listrik 24 125 C ?



$$59 \text{ g/mol} \times 24\,125 \text{ C}$$

$$w = \frac{\quad}{2 \times 96\,500 \text{ C/mol}} = 7,375 \text{ g}$$

2. Bila arus 20 A dialirkan melalui leburan kriolit yang mengandung  $\text{Al}_2\text{O}_3$  selama 50 menit, berapa gram Al yang terbentuk dan berapa liter gas  $\text{O}_2$  yang timbul jika diukur pada keadaan standar (STP) ?

Jawab:

$$\text{massa Al} = \frac{27 \text{ g/mol} \times 20 \text{ A} \times 50 \text{ menit} \times 60 \text{ dt/menit}}{3 \times 96\,500 \text{ C/mol}} = 5,60 \text{ g}$$

$$\text{massa O} = \frac{16 \text{ g/mol} \times 20 \text{ A} \times 50 \text{ menit} \times 60 \text{ dt/menit}}{2 \times 96\,500 \text{ C/mol}} = 4,97 \text{ g}$$

$$\text{Volume gas pada keadaan STP} = 22,4 \text{ L/mol}$$

$$\text{Volume O}_2 = \frac{4,97 \text{ g}}{32 \text{ g/mol}} \times 22,4 \text{ L/mol} = 3,48 \text{ L}$$

Hukum *Faraday* II: Massa dari bermacam-macam zat yang timbul pada elektrolisis dengan jumlah listrik sama, berbanding lurus dengan massa ekivalennya.

Contoh:

Jika arus 1 F dialirkan ke dalam tiga larutan, yaitu  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{AuCl}_3$  dan  $\text{AgNO}_3$ , maka perbandingan massa Cu : Au : Ag sesuai dengan perbandingan massa ekivalennya, yaitu:

$$W_{\text{Cu}} : W_{\text{Au}} : W_{\text{Ag}} = \frac{\text{Ar}_{\text{Cu}}}{n_{\text{Cu}}} : \frac{\text{Ar}_{\text{Au}}}{n_{\text{Au}}} : \frac{\text{Ar}_{\text{Ag}}}{n_{\text{Ag}}}$$

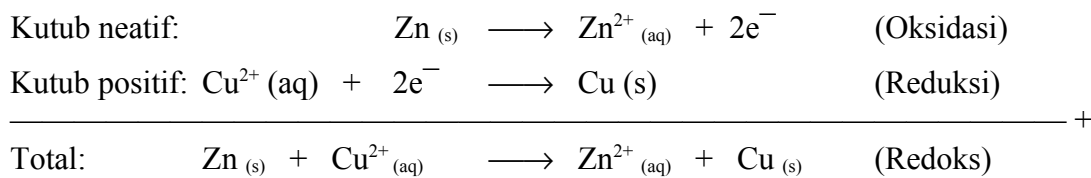
$$= \frac{64}{2} : \frac{197}{3} : \frac{108}{1} = 96 : 197 : 324$$

### 3. Sel Galvani

Pada elektrolisis, energi listrik diubah menjadi energi kimia. Pada sel galvani terjadi sebaliknya, yaitu energi kimia diubah menjadi energi listrik. Sel *Galvani* disebut juga sel kimia. Sel *Galvani* dipakai sebagai sumber listrik untuk penerangan, pemanasan, menjalankan motor, dan sebagainya. Sel *Galvani* atau sel kimia dapat dibedakan menjadi sel kimia dengan *transference* dan sel kimia tanpa *transference*.

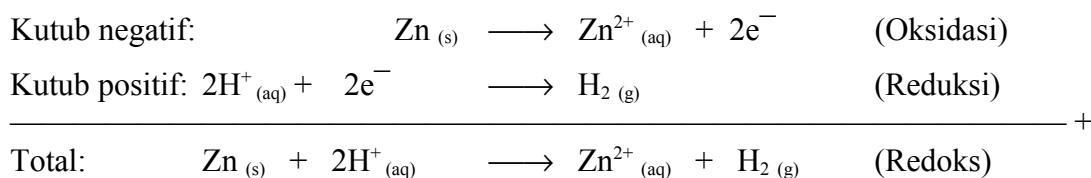
#### a. Sel kimia dengan *transference*

Sel kimia dengan *transference* contohnya sel *Daniell*. Sel *Daniell* terdiri atas batang Zn dalam larutan ZnSO<sub>4</sub>, dan batang Cu dalam larutan CuSO<sub>4</sub> pekat. Di antara kedua larutan yang terpisah tersebut terdapat penghubung atau *transference* yang berupa *liquid junction* atau jembatan garam (*salt bridge*). Jika elektroda Zn dan Cu dihubungkan, maka terjadi arus listrik akibat reaksi oksidasi Zn dan reduksi ion Cu<sup>2+</sup> dalam larutan. Potensial listrik atau voltage (E) yang dihasilkan ± 1,1 volt. Reaksinya:

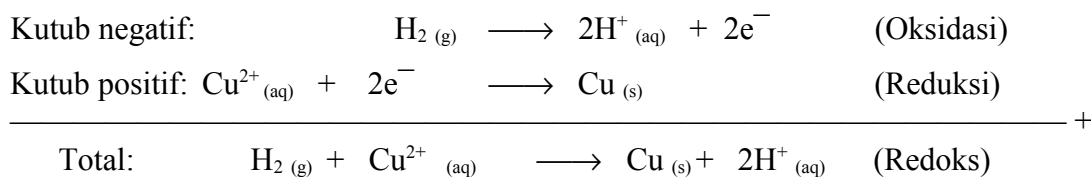


Jika logam Zn dimasukkan langsung ke dalam larutan CuSO<sub>4</sub> maka terjadi reaksi transfer elektron langsung, dalam hal ini tidak menghasilkan energi listrik.

Suatu elektroda dalam sel *Galvani* dapat merupakan kutub positif atau negatif, tergantung elektroda lainnya. Misalnya elektroda hidrogen dalam larutan dengan aktivitas H<sup>+</sup> = 1 merupakan kutub positif bila dihubungkan dengan elektroda Zn dalam larutan Zn<sup>2+</sup> dengan aktivitas Zn<sup>2+</sup> = 1, Reaksinya adalah:



Elektroda hidrogen dalam larutan dengan aktivitas H<sup>+</sup> = 1 merupakan kutub negatif bila dihubungkan dengan elektroda Cu dalam larutan Cu<sup>2+</sup> dengan aktivitas Cu<sup>2+</sup> = 1.



Harga potensial oksidasi-reduksi biasanya dinyatakan sebagai potensial reduksi standar, yaitu potensial reduksi bila pereaksi dan hasil reaksi mempunyai aktivitas satu (a = 1) dan

reaksinya reduksi. Jika potensial reduksi positif berarti mudah tereduksi, tetapi jika negatif berarti sukar tereduksi (artinya mudah teroksidasi). Beberapa harga potensial reduksi standar dengan aktivitas satu pada suhu 25 °C di antaranya seperti pada tabel 1.

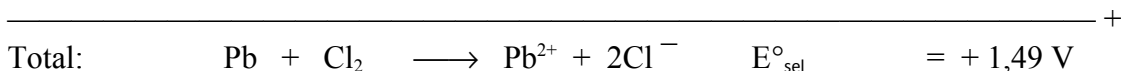
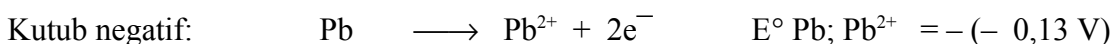
Kopel (setengah sel)	Reaksi reduksi	$E^{\circ}_{red}$ (volt)
$K^+/K$	$K^+ + e^- \longrightarrow K$	- 2,92
$Zn^{2+}/Zn$	$Zn^{2+} + e^- \longrightarrow Zn$	- 0,76
$Fe^{2+}/Fe$	$Fe^{2+} + e^- \longrightarrow Fe$	- 0,44
$Pb^{2+}/Pb$	$Pb^{2+} + e^- \longrightarrow Pb$	- 0,13
$H^+/H_2$	$H^+ + e^- \longrightarrow \frac{1}{2} H_2$	0,00
$Cu^{2+}/Cu$	$Cu^{2+} + e^- \longrightarrow Cu$	+ 0,34
$Fe^{3+}/Fe^{2+}$	$Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+}$	+ 0,77
$Ag^+/Ag$	$Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag$	+ 0,80
$Cl_2/Cl^-$	$Cl_2 + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-$	+ 1,36
$Au^{3+}/Au$	$Au^{3+} + 3e^- \longrightarrow Au$	+ 1,50

Tabel 1. Beberapa harga potensial reduksi standar dengan aktivitas satu pada suhu 25°C

Misalnya sel kimia yang terdiri dari elektroda Pb dan  $Cl_2$ . Besarnya  $E^{\circ} Pb/Pb^{2+} = + 0,13$  volt dan  $E^{\circ} Cl_2/Cl^- = + 1,36$  volt. Potensial sel adalah positif, sehingga elektrode Pb sebagai kutub negatif. Sel kimia ini dapat dituliskan:



Aktivitas (a) dalam hal ini dinyatakan dalam molalitas (m), garis // menyatakan bahwa kedua elektrolit dihubungkan dengan *liquid junction* atau jembatan garam (*salt bridge*). Dengan aktivitas = 1 (konsentrasi 1 m), adanya jembatan garam tidak menimbulkan beda potensial khusus (*liquid junction potential* = 0). Reaksi sel dan beda potensial sel dapat dicari seperti berikut:



$$\begin{aligned} \text{Jadi besarnya } E^{\circ}_{sel} &= E^{\circ}_{oksidasi} \text{ kutub negatif} + E^{\circ}_{reduksi} \text{ kutub positif} \\ &= -E^{\circ}_{reduksi} \text{ kutub negatif} + E^{\circ}_{reduksi} \text{ kutub positif} \\ &= E^{\circ}_{reduksi} \text{ kutub positif} - E^{\circ}_{reduksi} \text{ kutub negatif} \end{aligned}$$

Contoh soal:

Hitunglah  $E^\circ_{\text{sel}}$  untuk reaksi:  $\text{Zn} / \text{Zn}^{2+} (a = 1) // \text{Pb}^{2+} (a = 1) / \text{Pb}$

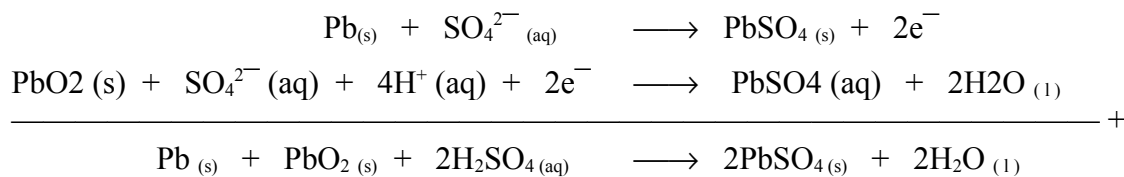
$$\begin{aligned} \text{Jawab: } E^\circ_{\text{sel}} &= E^\circ_{\text{Zn/Zn}^{2+}} + E^\circ_{\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}} \\ &= -(-0,76 \text{ V}) + (-0,13 \text{ V}) = +0,63 \text{ V} \end{aligned}$$

### b. Sel kimia tanpa *transference*

Sel kimia tanpa *transference* contohnya sel *accu*, sel *Leclanche*, dan sel bahan bakar.

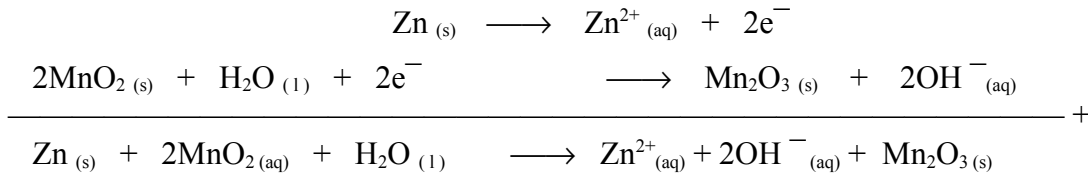
#### 1). Sel *Accu*

Pada sel *accu*, sebagai kutub negatif adalah logam Pb, kutub positif adalah logam Pb dilapis  $\text{PbO}_2$  dan elektrolitnya adalah larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Setiap pasang sel menghasilkan *voltage* (E) sebesar  $\pm 2$  volt.

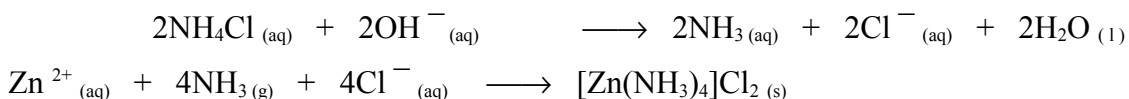


#### 2). Sel *Leclanche* (sel kering)

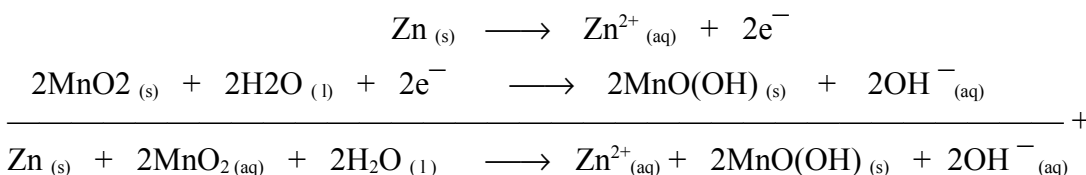
Sel *Leclanche* contohnya batu baterai. Pada batu baterai biasa, sebagai kutub negatif adalah logam Zn, kutub positif adalah batang grafit (C) dibungkus  $\text{MnO}_2$  dan elektrolitnya adalah pasta  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan  $\text{ZnCl}_2$ . Potensial listrik (*Voltage*) yang dihasilkan  $\pm 1,5$  volt. Reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi adalah:



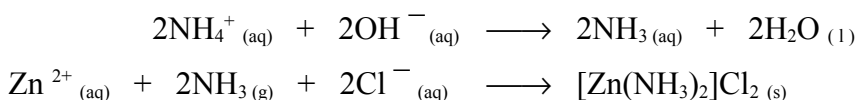
Terjadi juga reaksi lain, yaitu  $\text{OH}^-$  yang terbentuk bereaksi dengan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  menghasilkan  $\text{NH}_3$ , selanjutnya  $\text{NH}_3$  yang terjadi diikat  $\text{Zn}^{2+}$



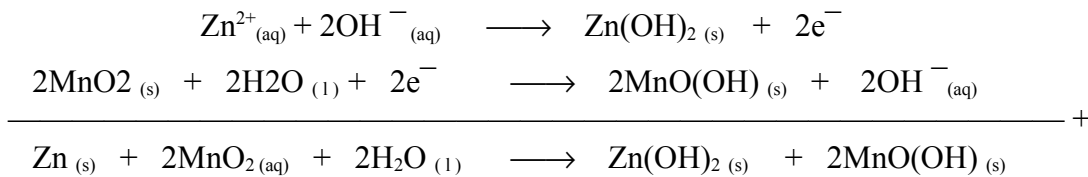
Pada batu baterai biasa yang menggunakan anoda logam Zn, katoda batang C, dan elektrolitnya pasta berair dari campuran  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{MnO}_2$ , dan serbuk C, reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi adalah:



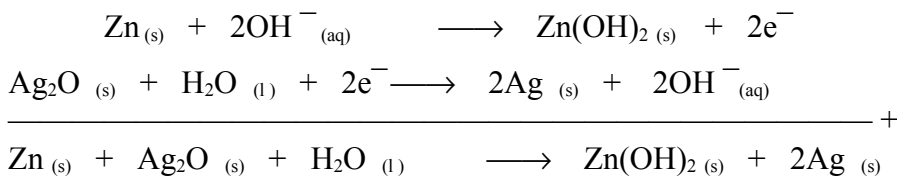
Reaksi lainnya yaitu  $\text{OH}^-$  yang terbentuk bereaksi dengan  $\text{NH}_4^+$  menghasilkan  $\text{NH}_3$ , selanjutnya  $\text{NH}_3$  yang terjadi diikat  $\text{Zn}^{2+}$



Pada batu baterai alkaline, sebagai anoda digunakan Zn, sebagai katoda  $\text{MnO}_2$ , dan sebagai elektrolitnya KOH. Potensial listrik yang dihasilkan  $\pm 1,5$  volt. Reaksi oksidasi reduksi yang terjadi adalah:



Pada baterai perak oksida - zink seperti yang biasa digunakan pada arloji, sebagai anoda digunakan Zn, sebagai katoda digunakan  $\text{Ag}_2\text{O}$ , dan sebagai elektrolitnya KOH. Potensial listrik yang dihasilkan  $\pm 1,5$  volt. Reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi adalah:

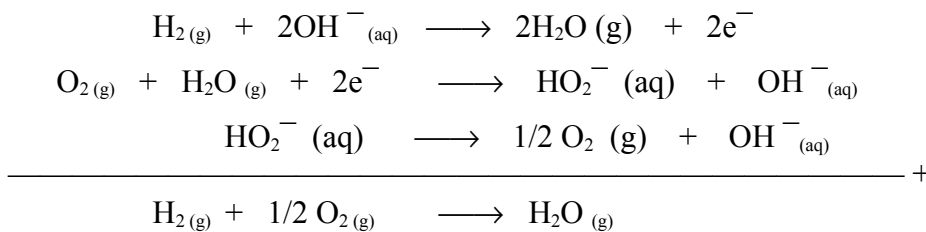


Pada baterai nikel - kadmium yang dapat dicas ulang, potensial listrik yang dihasilkan  $\pm 1,35$  volt. Reaksinya dapat berlangsung bolak-balik, yaitu:



### 3). Sel bahan bakar (*fuel cell*)

Sel bahan bakar biasanya menggunakan oksigen pada katoda dan suatu gas yang dapat dioksidasi pada anoda, biasanya gas hidrogen. Reaksinya adalah:



Sel bahan bakar sudah banyak dikembangkan sebagai sumber penghasil listrik yang sangat bersih, ramah lingkungan, aman dan mempunyai resiko yang sangat kecil. Penggunaannya antara lain untuk keperluan di rumah sakit, rumah perawatan, hotel, perkantoran, sekolah, bandar udara, dan penyedia tenaga listrik, misalnya pembangkit tenaga listrik dalam pesawat ruang angkasa. Di Amerika, Eropa, dan Jepang sudah dikembangkan mobil ramah lingkungan yang menggunakan sel bahan bakar. Sebagai bahan bakar utamanya adalah gas hidrogen yang disimpan dalam tangki bahan bakar dan diberi tekanan yang tinggi sehingga mencair. Gas hidrogen dialirkan ke anoda dan pada katoda dialirkan gas oksigen yang diperoleh dari udara.

**SOAL LATIHAN**

- Larutan  $\text{ZnSO}_4$  dielektrolisis menggunakan arus listrik 0,1 A selama 1 jam.
  - Tuliskan reaksi yang terjadi !
  - Berapa gram Zn yang diendapkan pada katoda? ( $A_r \text{ Zn} = 65$ )
- Berapa gram Ni yang diendapkan pada elektrolisis larutan  $\text{NiSO}_4$  jika digunakan arus listrik 20 000 C ?
- Berapa waktu yang diperlukan untuk elektrolisis larutan  $\text{AgNO}_3$  menggunakan arus listrik 0,1 A agar diperoleh 0,1 gram endapan Ag ?
- Berapa waktu yang diperlukan untuk elektrolisis 10 mL larutan  $\text{AgNO}_3$  0,01 M menggunakan arus listrik 0,1 A sampai elektrolisis terhenti karena semua perak telah mengendap ?
- Jika campuran larutan  $\text{CuSO}_4$  dan  $\text{NiSO}_4$  dielektrolisis sehingga dihasilkan 1 gram endapan, maka berapa gram Cu dan berapa gram Ni yang telah diendapkan dari larutan tersebut ?
- Larutan  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{AuCl}_3$ , dan  $\text{AgNO}_3$  yang terpisah masing-masing dielektrolisis dengan arus listrik 0,1 A dalam waktu yang sama. Jika Cu yang diendapkan sebanyak 0,1 gram, maka masing-masing berapa gram Au dan Ag yang diendapkan ?
- Masing-masing pasangan reaksi berikut aktivitasnya satu ( $a = 1$ ). Masing-masing tentukan reaksi (i) atau (ii) yang dapat berlangsung, kemudian hitunglah potensial sel yang dihasilkan !
  - (i).  $\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}/\text{Ag}^+/\text{Ag}$  atau (ii).  $\text{Ag}/\text{Ag}^+/\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$
  - (i).  $\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}/\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}$  atau (ii).  $\text{Pb}/\text{Pb}^{2+}/\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$
  - (i).  $\text{Pb}/\text{Pb}^{2+}/\text{Ag}^+/\text{Ag}$  atau (ii).  $\text{Ag}/\text{Ag}^+/\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}$
  - (i).  $\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}/\text{Ag}^+/\text{Ag}$  atau (ii).  $\text{Ag}/\text{Ag}^+/\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$
- Sel elektrokimia dengan jembatan garam  $\text{K}_2\text{SO}_4$  menggunakan elektroda Fe dalam larutan  $\text{FeSO}_4$  dan elektroda Zn dalam larutan  $\text{ZnSO}_4$ .
  - Tentukan manakah elektroda positif dan negatifnya?
  - Tuliskan reaksi yang terjadi!
  - Berapakah potensial sel yang dihasilkan?



---

## 2. LARUTAN

### 1. Sifat Dasar Larutan

Larutan adalah campuran yang bersifat homogen antara molekul, atom ataupun ion dari dua zat atau lebih. Disebut campuran karena susunannya atau komposisinya dapat berubah. Disebut homogen karena susunannya begitu seragam sehingga tidak dapat diamati adanya bagian-bagian yang berlainan, bahkan dengan mikroskop optis sekalipun.

Fase larutan dapat berwujud gas, padat ataupun cair. Larutan gas misalnya udara. Larutan padat misalnya perunggu, amalgam dan paduan logam yang lain. Larutan cair misalnya air laut, larutan gula dalam air, dan lain-lain. Komponen larutan terdiri dari pelarut (*solvent*) dan zat terlarut (*solute*). Pada bagian ini dibahas larutan cair. Pelarut cair umumnya adalah air. Pelarut cair yang lain misalnya bensena, kloroform, eter, dan alkohol.

### 2. Kelarutan

Sebutir kristal gula pasir merupakan gabungan dari beberapa molekul gula. Jika kristal gula itu dimasukkan ke dalam air, maka molekul-molekul gula akan memisah dari permukaan kristal gula menuju ke dalam air (disebut melarut). Molekul gula itu bergerak secara acak seperti gerakan molekul air, sehingga pada suatu saat dapat menumbuk permukaan kristal gula atau molekul gula yang lain. Sebagian molekul gula akan terikat kembali dengan kristalnya atau saling bergabung dengan molekul gula yang lain sehingga kembali membentuk kristal (mengkristal ulang). Jika laju pelarutan gula sama dengan laju pengkristalan ulang, maka proses itu berada dalam kesetimbangan dan larutannya disebut jenuh.



Larutan jenuh adalah larutan yang mengandung zat terlarut dalam jumlah yang diperlukan untuk adanya kesetimbangan antara *solute* yang terlarut dan yang tak terlarut. Banyaknya *solute* yang melarut dalam pelarut yang banyaknya tertentu untuk menghasilkan suatu larutan jenuh disebut kelarutan (*solubility*) zat itu. Kelarutan umumnya dinyatakan dalam gram zat terlarut per 100 mL pelarut, atau per 100 gram pelarut pada temperatur yang tertentu. Jika kelarutan zat kurang dari 0,01 gram per 100 gram pelarut, maka zat itu dikatakan tak larut (*insoluble*). Jika jumlah *solute* yang terlarut kurang dari kelarutannya, maka larutannya disebut tak jenuh (*unsaturated*). Larutan tak jenuh lebih encer (kurang pekat) dibandingkan dengan larutan jenuh. Jika jumlah *solute* yang terlarut lebih banyak dari kelarutannya, maka larutannya disebut lewat jenuh (*supersaturated*). Larutan lewat jenuh lebih pekat daripada larutan jenuh.

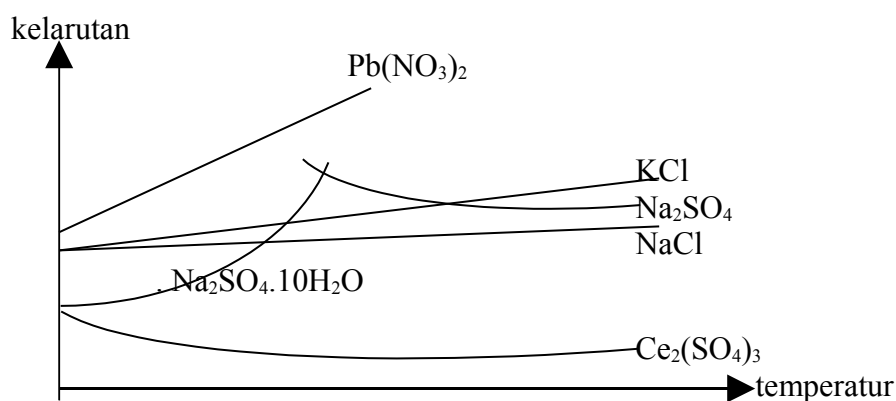
Faktor-faktor yang mempengaruhi kelarutan antara lain jenis zat terlarut, jenis pelarut, temperatur, dan tekanan.

#### a. Pengaruh Jenis Zat pada Kelarutan

Zat-zat dengan struktur kimia yang mirip umumnya dapat saling bercampur dengan baik, sedangkan zat-zat yang struktur kimianya berbeda umumnya kurang dapat saling bercampur (*like dissolves like*). Senyawa yang bersifat polar akan mudah larut dalam pelarut polar, sedangkan senyawa nonpolar akan mudah larut dalam pelarut nonpolar. Contohnya alkohol dan air bercampur sempurna (*completely miscible*), air dan eter bercampur sebagian (*partially miscible*), sedangkan minyak dan air tidak bercampur (*completely immiscible*).

### b. Pengaruh Temperatur pada Kelarutan

Kelarutan gas umumnya berkurang pada temperatur yang lebih tinggi. Misalnya jika air dipanaskan, maka timbul gelembung-gelembung gas yang keluar dari dalam air, sehingga gas yang terlarut dalam air tersebut menjadi berkurang. Kebanyakan zat padat kelarutannya lebih besar pada temperatur yang lebih tinggi. Ada beberapa zat padat yang kelarutannya berkurang pada temperatur yang lebih tinggi, misalnya natrium sulfat dan serium sulfat. Pada larutan jenuh terdapat kesetimbangan antara proses pelarutan dan proses pengkristalan kembali. Jika salah satu proses bersifat endoterm, maka proses sebaliknya bersifat eksoterm. Jika temperatur dinaikkan, maka sesuai dengan azas *Le Chatelier* (*Henri Louis Le Chatelier: 1850-1936*) kesetimbangan itu bergeser ke arah proses endoterm. Jadi jika proses pelarutan bersifat endoterm, maka kelarutannya bertambah pada temperatur yang lebih tinggi. Sebaliknya jika proses pelarutan bersifat eksoterm, maka kelarutannya berkurang pada suhu yang lebih tinggi.



Gambar 1. Kurva hubungan antara kelarutan beberapa garam dengan temperatur.

### c. Pengaruh tekanan pada kelarutan

Perubahan tekanan pengaruhnya kecil terhadap kelarutan zat cair atau padat. Perubahan tekanan sebesar 500 atm hanya merubah kelarutan NaCl sekitar 2,3 % dan NH<sub>4</sub>Cl sekitar 5,1 %. Kelarutan gas sebanding dengan tekanan *partial* gas itu. Menurut hukum *Henry* (*William Henry: 1774-1836*) massa gas yang melarut dalam sejumlah tertentu cairan (pelarutnya) berbanding lurus dengan tekanan yang dilakukan oleh gas itu (tekanan *partial*), yang berada dalam kesetimbangan dengan larutan itu. Contohnya kelarutan oksigen dalam air bertambah menjadi 5 kali jika tekanan *partial*-nya dinaikkan 5 kali. Hukum ini tidak berlaku untuk gas yang bereaksi dengan pelarut, misalnya HCl atau NH<sub>3</sub> dalam air.

## 3. Konsentrasi Larutan

Konsentrasi larutan menyatakan banyaknya zat terlarut dalam sejumlah tertentu larutan. Secara fisika konsentrasi dapat dinyatakan dalam % (persen) atau ppm (*part per million*) = bpj (bagian per juta). Dalam kimia, konsentrasi larutan dinyatakan dalam molar (M), molal (m) atau normal (N).

**a. Molaritas (M)**

Molaritas menyatakan jumlah mol zat terlarut dalam setiap liter larutan.

$$M = \frac{\text{mol zat terlarut}}{\text{volumelarutan}} = \frac{\text{mol}}{\text{L}} = \frac{\text{mol}}{\text{mL}} \times 1000 \text{ mL/L}$$

**b. Molalitas (m)**

Molalitas menyatakan jumlah mol zat terlarut dalam setiap kilo gram (1 000 gram) pelarut.

$$m = \frac{\text{mol zat terlarut}}{\text{kg pelarut}} = \frac{\text{mol zat terlarut}}{\text{g pelarut}} \times 1000 \text{ g/kg}$$

**c. Normalitas (N)**

Normalitas menyatakan jumlah ekuivalen zat terlarut dalam setiap liter larutan.

$$N = \frac{\text{ekuivalen solute}}{\text{L larutan}} = \frac{\frac{\text{massa solute}}{\text{massa ekuivalen}}}{\text{L}} = \frac{\frac{\text{gram}}{\text{Mr}}}{\text{L}} = \frac{n \times \frac{\text{gram}}{\text{Mr}}}{\text{L}} = \frac{n \times \text{mol}}{\text{L}} = n \times M$$

Massa ekuivalen adalah massa zat yang diperlukan untuk menangkap atau melepaskan 1 mol elektron dalam reaksi (reaksi *redoks*).

Contoh soal:

Sebanyak 1,11 g CuCl<sub>2</sub> dilarutkan ke dalam 100 g air. Jika massa jenis air 1 g/mL, massa atom relatif Cu = 40 dan massa atom relatif Cl = 35,5, maka hitunglah konsentrasi larutan tersebut dalam:

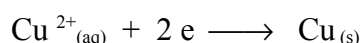
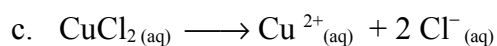
- Molar
- Molal
- Normal

Jawab:

$$\begin{aligned} \text{Massa molar CuCl}_2 &= 40 + (2 \times 35,5) = 111 \text{ g/mol} \\ \text{Volume air} &= \text{massa} : \text{massa jenis} = 100 \text{ g} : 1 \text{ g/mL} = 100 \text{ mL} \\ \text{Mol CuCl}_2 &= \text{massa} : \text{massa molar} = 1,11 \text{ g} : 111 \text{ g/mol} = 0,01 \text{ mol} \end{aligned}$$

Jika volume larutan = volume air, maka

$$\begin{aligned} \text{a. } M \text{ CuCl}_2 &= (\text{mol} : \text{mL}) \times 1000 \text{ mL/L} = (0,01 \text{ mol} : 100 \text{ mL}) \times 1000 \text{ mL/L} = 0,1 \text{ M} \\ \text{b. } m \text{ CuCl}_2 &= (\text{mol} : \text{g}) \times 1000 \text{ g/kg} = (0,01 \text{ mol} : 100 \text{ g}) \times 1000 \text{ g/kg} = 0,1 \text{ m} \end{aligned}$$



2 mol elektron ekuivalen dengan 1 mol CuCl<sub>2</sub>. Jadi n = 2 ek/mol.

$$N \text{ CuCl}_2 = n \times \text{mol} : \text{L} = 2 \text{ ek/mol} \times 0,001 \text{ mol} : 0,1 \text{ L} = 0,2 \text{ N}$$

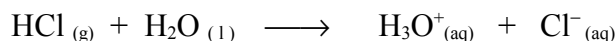
#### 4. Daya Hantar Listrik Larutan

Berdasarkan daya hantar listriknya, larutan dapat bersifat elektrolit atau nonelektrolit. Larutan yang dapat menghantarkan arus listrik disebut larutan yang bersifat elektrolit. Larutan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik disebut larutan yang bersifat nonelektrolit. Pada larutan elektrolit, yang menghantarkan arus listrik adalah ion-ion yang terdapat di dalam larutan tersebut. Pada elektroda negatif (katoda) ion positif menangkap elektron (terjadi reaksi reduksi), sedangkan pada elektroda positif (anoda) ion negatif melepaskan elektron (terjadi reaksi oksidasi). Jika di dalam larutan tidak terdapat ion, maka larutan tersebut tidak dapat menghantarkan arus listrik.

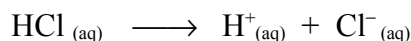
Senyawa elektrolit adalah senyawa yang jika dilarutkan ke dalam air akan terion (atau terionisasi). Senyawa elektrolit dapat dibedakan menjadi senyawa elektrolit kuat dan senyawa elektrolit lemah. Senyawa elektrolit kuat adalah senyawa yang di dalam air terion sempurna atau mendekati sempurna, sehingga senyawa tersebut semuanya atau hampir semua berubah menjadi ion. Senyawa yang termasuk senyawa elektrolit kuat adalah:

- Asam kuat, contohnya: HCl, HBr, HI, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, HClO<sub>4</sub>
- Basa kuat, contohnya: NaOH, KOH, Ba(OH)<sub>2</sub>, Sr(OH)<sub>2</sub>
- Garam, contohnya: NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub>, KNO<sub>3</sub>, MgSO<sub>4</sub>

Partikel-partikel yang ada di dalam larutan elektrolit kuat adalah ion-ion yang bergabung dengan molekul air, sehingga larutan tersebut daya hantar listriknya kuat. Hal ini disebabkan karena tidak ada molekul atau partikel lain yang menghalangi gerakan ion-ion untuk menghantarkan arus listrik, sementara molekul-molekul air adalah sebagai media untuk pergerakan ion. Misalnya HCl dilarutkan ke dalam air, maka semua HCl akan bereaksi dengan air dan berubah menjadi ion-ion dengan persamaan reaksi berikut:



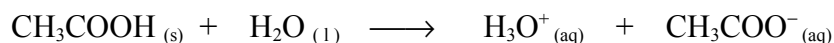
Reaksi ini biasa dituliskan:



Senyawa elektrolit lemah adalah senyawa yang di dalam air terion sebagian atau senyawa tersebut hanya sebagian saja yang berubah menjadi ion dan sebagian yang lainnya masih sebagai molekul senyawa yang terlarut. Larutan yang terbentuk daya hantar listriknya lemah atau kurang kuat karena molekul-molekul senyawa (yang tidak terion) dalam larutan tidak dapat menghantarkan listrik, sehingga menghalangi ion-ion yang akan menghantarkan listrik. Senyawa yang termasuk senyawa elektrolit lemah adalah:

- Asam lemah, contohnya: HF, H<sub>2</sub>S, HCN, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCOOH, CH<sub>3</sub>COOH
- Basa lemah, contohnya: Fe(OH)<sub>3</sub>, Cu(OH)<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>, (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NH

Misalnya CH<sub>3</sub>COOH dilarutkan ke dalam air, maka sebagian CH<sub>3</sub>COOH akan terion dengan persamaan reaksi seperti berikut:



CH<sub>3</sub>COOH yang terion reaksinya biasa dituliskan:



Ion-ion yang telah terbentuk sebagian bereaksi kembali membentuk CH<sub>3</sub>COOH, sehingga dikatakan CH<sub>3</sub>COOH yang terion hanya sebagian. Reaksinya dapat dituliskan:



Partikel-partikel yang ada di dalam larutan adalah molekul-molekul senyawa CH<sub>3</sub>COOH yang terlarut dan ion-ion H<sup>+</sup> dan CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>. Molekul senyawa CH<sub>3</sub>COOH tidak

dapat menghantarkan arus listrik, sehingga akan menjadi penghambat bagi ion-ion  $H^+$  dan  $CH_3COO^-$  untuk menghantarkan arus listrik. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa larutan elektrolit lemah daya hantar listriknya kurang kuat.

Senyawa nonelektrolit adalah senyawa yang di dalam air tidak terion, sehingga partikel-partikel yang ada di dalam larutan adalah molekul-molekul senyawa yang terlarut. Dalam larutan tidak terdapat ion, sehingga larutan tersebut tidak dapat menghantarkan arus listrik. Kecuali asam atau basa, senyawa kovalen adalah senyawa nonelektrolit, contohnya:  $C_6H_{12}O_6$ ,  $CO(NH_2)_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_{13}H_{10}O$ .

## 5. Sifat Koligatif Larutan Non-elektrolit

Sifat larutan berbeda dengan sifat pelarut murninya. Terdapat empat sifat fisika yang penting yang besarnya bergantung pada banyaknya partikel zat terlarut tetapi tidak bergantung pada jenis zat terlarutnya. Keempat sifat ini dikenal dengan sifat koligatif larutan. Sifat ini besarnya berbanding lurus dengan jumlah partikel zat terlarut. Sifat koligatif tersebut adalah tekanan uap, titik didih, titik beku, dan tekanan osmosis. Menurut hukum sifat koligatif, selisih tekanan uap, titik beku, dan titik didih suatu larutan dengan tekanan uap, titik beku, dan titik didih pelarut murninya, berbanding langsung dengan konsentrasi molal zat terlarut. Larutan yang bisa memenuhi hukum sifat koligatif ini disebut larutan ideal. Kebanyakan larutan mendekati ideal hanya jika sangat encer.

### a. Tekanan Uap Larutan

Tekanan uap larutan lebih rendah dari tekanan uap pelarut murninya. Pada larutan ideal, menurut hukum *Raoult*, tiap komponen dalam suatu larutan melakukan tekanan yang sama dengan fraksi mol kali tekanan uap dari pelarut murni.

$$P_A = X_A \cdot P_A^0$$

$P_A$  = tekanan uap yang dilakukan oleh komponen A dalam larutan.

$X_A$  = fraksi mol komponen A.

$P_A^0$  = tekanan uap zat murni A.

Dalam larutan yang mengandung zat terlarut yang tidak mudah menguap (tak-atsiri atau *nonvolatile*), tekanan uap hanya disebabkan oleh pelarut, sehingga  $P_A$  dapat dianggap sebagai tekanan uap pelarut maupun tekanan uap larutan.

Contoh soal:

Pada suhu  $30^\circ C$  tekanan uap air murni adalah 31,82 mmHg. Hitunglah tekanan uap larutan sukrosa 2 m pada suhu  $30^\circ C$ .

Jawab:

Jika dimisalkan pelarutnya 1 000 g, maka:

Mol sukrosa = 2 mol

Mol air =  $1\ 000\ g : 18\ g/mol = 55,6\ mol$

Tekanan uap larutan = tekanan uap pelarut =  $P_A = X_A \cdot P_A^0$   
 $= [55,6\ mol : (55,6 + 2)\ mol] \times 31,82\ mmHg$   
 $= 30,7\ mmHg$

## b. Titik Didih Larutan

Titik didih larutan bergantung pada kemudahan zat terlarutnya menguap. Jika zat terlarutnya lebih mudah menguap daripada pelarutnya (titik didih zat terlarut lebih rendah), maka titik didih larutan menjadi lebih rendah dari titik didih pelarutnya, atau dikatakan titik didih larutan turun. Contohnya larutan etil alkohol dalam air titik didihnya lebih rendah dari 100 °C tetapi lebih tinggi dari 78,3 °C (titik didih etil alkohol 78,3 °C dan titik didih air 100 °C). Jika zat terlarutnya tidak mudah menguap (tak-atsiri atau *nonvolatile*) daripada pelarutnya (titik didih zat terlarut lebih tinggi), maka titik didih larutan menjadi lebih tinggi dari titik didih pelarutnya, atau dikatakan titik didih larutan naik. Pada contoh larutan etil alkohol dalam air tersebut, jika dianggap pelarutnya adalah etil alkohol, maka titik didih larutan juga naik. Kenaikan titik didih larutan disebabkan oleh turunnya tekanan uap larutan. Berdasar hukum sifat koligatif larutan, kenaikan titik didih larutan dari titik didih pelarut murninya berbanding lurus dengan molalitas larutan.

$$\Delta t_b = k_b \cdot m$$

$\Delta t_b$  = kenaikan titik didih larutan.

$k_b$  = kenaikan titik didih molal pelarut.

$m$  = konsentrasi larutan dalam molal.

Contoh soal:

Hitunglah titik didih larutan glukosa 0,1 m jika kenaikan titik didih molal air 0,512 °C /m !

Jawab:

$$\Delta t_b = k_b \cdot m = 0,512 \text{ °C /m} \times 0,1 \text{ m} = 0,0512 \text{ °C}$$

$$\text{Jadi } t_b \text{ larutan} = t_b \text{ air} + \Delta t_b = 100 \text{ °C} + 0,0512 \text{ °C} = 100,0512 \text{ °C}$$

## c. Titik Beku Larutan

Penurunan tekanan uap larutan menyebabkan titik beku larutan menjadi lebih rendah dari titik beku pelarut murninya. Hukum sifat koligatif untuk penurunan titik beku larutan berlaku pada larutan dengan zat terlarut atsiri (*volatile*) maupun tak-atsiri (*nonvolatile*). Berdasar hukum tersebut, penurunan titik beku larutan dari titik beku pelarut murninya berbanding lurus dengan molalitas larutan.

$$\Delta t_f = k_f \cdot m$$

$\Delta t_f$  = penurunan titik beku larutan.

$k_f$  = penurunan titik beku molal pelarut.

$m$  = konsentrasi larutan dalam molal.

Contoh soal:

Hitunglah titik beku larutan glukosa 0,1 m jika penurunan titik beku molal air 1,86 °C /m !

Jawab:

$$\Delta t_f = k_f \cdot m = 1,86 \text{ °C /m} \times 0,1 \text{ m} = 0,186 \text{ °C}$$

$$\text{Jadi } t_f \text{ larutan} = t_f \text{ air} - \Delta t_f = 0 \text{ °C} - 0,186 \text{ °C} = -0,186 \text{ °C}$$

Besarnya tetapan titik didih molal ( $k_b$ ) dan titik beku molal ( $k_f$ ) beberapa pelarut adalah seperti pada tabel berikut:

Pelarut	Titik beku (°C)	$k_f$ (°C /m)	Titik didih (°C)	$k_b$ (°C /m)
Air	0,0	1,86	100,0	0,512
Asam asetat	16,6	3,9	117,9	3,07
Benzena	5,50	4,9	80,1	2,53
Kamfor	179,8	39,7	207,42	5,61
Nitrobenzena	5,7	7,0	210,8	5,24
Fenol	40,90	7,4	181,75	3,56

Tabel 2. Tetapan titik beku molal dan titik didih molal beberapa pelarut.

#### d. Tekanan Osmose Larutan

Peristiwa lewatnya molekul pelarut menembus membran semipermeabel dan masuk ke dalam larutan disebut osmose. Tekanan osmose larutan adalah tekanan yang harus diberikan pada larutan untuk mencegah terjadinya osmose (pada tekanan 1 atm) ke dalam larutan tersebut. Hampir mirip dengan tekanan pada gas ideal, pada larutan ideal, besarnya tekanan osmose berbanding lurus dengan konsentrasi zat terlarut.

$$\pi = \frac{nRT}{V} = M.R.T$$

$\pi$  = tekanan osmose (atm).

$n$  = jumlah mol zat terlarut (mol).

$R$  = tetapan gas ideal = 0,08206 L.atm/mol.K

$T$  = suhu larutan (K).

$V$  = volume larutan (L).

$M$  = molaritas ( $M = \text{mol/L}$ ).

Jika tekanan yang diberikan pada larutan lebih besar dari tekanan osmose, maka pelarut murni akan keluar dari larutan melewati membran semipermeabel. Peristiwa ini disebut osmose balik (*reverse osmosis*), misalnya pada proses pengolahan untuk memperoleh air tawar dari air laut.

Contoh soal:

Hitunglah berapa tekanan osmose yang harus diberikan pada 1 liter larutan gula 0,1 M pada suhu 27 °C supaya air tidak dapat menembus membran semipermeabel masuk ke dalam larutan tersebut !

Jawab:

$$\begin{aligned} \pi &= (n.R.T) : V &&= M.R.T \\ & &&= 0,1 \text{ M} \times 0,08206 \text{ L.atm/mol.K} \times (27 + 273) \text{ K} \\ & &&= 2,46 \text{ atm} \end{aligned}$$

#### 6. Sifat Koligatif Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit memperlihatkan sifat koligatif yang lebih besar dari hasil perhitungan dengan persamaan untuk sifat koligatif larutan nonelektrolit di atas. Perbandingan antara sifat koligatif larutan elektrolit yang terlihat dan hasil perhitungan dengan persamaan untuk sifat koligatif larutan nonelektrolit, menurut *Van't Hoff* besarnya

selalu tetap dan diberi simbol  $i$  ( $i$  = tetapan atau faktor *Van't Hoff*). Dengan demikian dapat dituliskan:

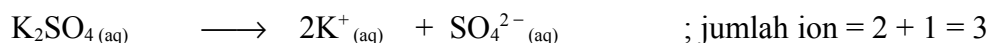
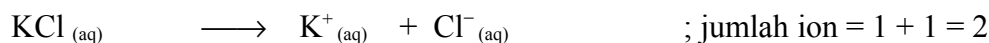
$$i = \frac{\text{sifat koligatif larutan elektrolit dengan konsentrasi } m}{\text{sifat koligatif larutan nonelektrolit dengan konsentrasi } m}$$

Semakin kecil konsentrasi larutan elektrolit, harga  $i$  semakin besar, yaitu semakin mendekati jumlah ion yang dihasilkan oleh satu molekul senyawa elektrolitnya. Untuk larutan encer, yaitu larutan yang konsentrasinya kurang dari 0,001 m, harga  $i$  dianggap sama dengan jumlah ion. Contohnya dalam tabel berikut:

Larutan	0,1 m	0,05 m	0,01 m	0,005 m	Jumlah ion
NaCl	1,87	1,89	1,93	1,94	2
KCl	1,86	1,88	1,94	1,96	2
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,46	2,57	2,77	2,86	3
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,22	2,32	2,59	2,72	3
HCl	1,91	1,92	1,97	1,99	2

Tabel 3. Harga  $i$  untuk beberapa larutan elektrolit

Ionisasi senyawa KCl dan K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> adalah seperti berikut:



Empat macam sifat koligatif larutan elektrolit adalah:

- Penurunan tekanan uap,  $\Delta P = i.P^0.X_A$
- Kenaikan titik didih,  $\Delta t_b = i.k_b.m$
- Penurunan titik beku,  $\Delta t_f = i.k_f.m$
- Tekanan osmose, 
$$\pi = \frac{i.n.R.T}{V} = i.M.R.T$$

Contoh soal:

Terdapat tiga macam larutan, yaitu:

- 0,360 gram C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> dilarutkan ke dalam 2 liter air.
- 0,320 gram CuSO<sub>4</sub> dilarutkan ke dalam 2 liter air.
- 0,267 gram AlCl<sub>3</sub> dilarutkan ke dalam 2 liter air.

Jika massa jenis air = 1 g/mL,  $k_b$  air = 0,512 °C/m,  $k_f$  air = 1,86 °C/m, massa atom relatif H = 1, C = 12, O = 16, Al = 27, S = 32, Cl = 35,5, dan Cu = 64, maka hitunglah:

- Titik didih masing-masing larutan tersebut.
- Titik beku masing-masing larutan tersebut.
- Tekanan uap masing-masing larutan tersebut, jika tekanan uap air 1 atm.
- Tekanan osmose untuk mencegah osmose pada masing-masing larutan tersebut pada suhu 27 °C.



Jawab:

Massa jenis air	= 1 g/mL	= 1 kg/L
Massa 2 L air	= 2 L x 1 kg/L	= 2 kg
Mol 2 L air	= 2 000 g : 18 g/mol	= 111,111 mol
Massa molar C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	= (6 x 12) + (12 X 1) + (6 X 16)	= 180 g/mol
Mol C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	= 0,360 g : 180 g/mol	= 0,002 mol
Molalitas C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	= 0,002 mol : 2 kg	= 0,001 m
Massa molar CuSO <sub>4</sub>	= (1 X 64) + (1 x 32) + (4 x 16)	= 160 g/mol
Mol CuSO <sub>4</sub>	= 0,320 g : 160 g/mol	= 0,002 mol
Molalitas CuSO <sub>4</sub>	= 0,002 mol : 2 kg	= 0,001 m
Massa molar AlCl <sub>3</sub>	= (1 x 27) + (3 x 35,5)	= 133,5 g/mol
Mol AlCl <sub>3</sub>	= 0,267 g : 133,5 g/mol	= 0,002 mol
Molalitas AlCl <sub>3</sub>	= 0,002 mol : 2 kg	= 0,001 m

a.  $t_b \text{ larutan} = t_b \text{ air} + \Delta t_b$

(i)  $t_b \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 100 \text{ }^\circ\text{C} + k_b \cdot m$   
 $= 100 \text{ }^\circ\text{C} + (0,512 \text{ }^\circ\text{C/m} \times 0,001 \text{ m}) = 100,000512 \text{ }^\circ\text{C}$

(ii)  $t_b \text{ CuSO}_4 = 100 \text{ }^\circ\text{C} + i \cdot k_b \cdot m$   
 $= 100 \text{ }^\circ\text{C} + (2 \times 0,512 \text{ }^\circ\text{C/m} \times 0,001 \text{ m}) = 100,001024 \text{ }^\circ\text{C}$

(iii)  $t_b \text{ AlCl}_3 = 100 \text{ }^\circ\text{C} + i \cdot k_b \cdot m$   
 $= 100 \text{ }^\circ\text{C} + (4 \times 0,512 \text{ }^\circ\text{C/m} \times 0,001 \text{ m}) = 100,002048 \text{ }^\circ\text{C}$

b.  $t_f \text{ larutan} = t_f \text{ air} - \Delta t_f$

(i)  $t_f \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 0 \text{ }^\circ\text{C} - k_f \cdot m$   
 $= 0 \text{ }^\circ\text{C} - (1,86 \text{ }^\circ\text{C/m} \times 0,001 \text{ m}) = -0,00186 \text{ }^\circ\text{C}$

(ii)  $t_f \text{ CuSO}_4 = 0 \text{ }^\circ\text{C} - i \cdot k_f \cdot m$   
 $= 0 \text{ }^\circ\text{C} - (2 \times 1,86 \text{ }^\circ\text{C/m} \times 0,001 \text{ m}) = -0,00372 \text{ }^\circ\text{C}$

(iii)  $t_f \text{ AlCl}_3 = 0 \text{ }^\circ\text{C} - i \cdot k_f \cdot m$   
 $= 0 \text{ }^\circ\text{C} - (4 \times 1,86 \text{ }^\circ\text{C/m} \times 0,001 \text{ m}) = -0,00744 \text{ }^\circ\text{C}$

c.  $P \text{ larutan} = P \text{ air} - \Delta P$

(i)  $P \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 1 \text{ atm} - P^0 \cdot X \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$   
 $= 1 \text{ atm} - \{1 \text{ atm} \times [0,002 \text{ mol} : (0,002 \text{ mol} + 111,111 \text{ mol})]\}$   
 $= 0,999982 \text{ atm}$

(ii)  $P \text{ CuSO}_4 = 1 \text{ atm} - i \cdot P^0 \cdot X \text{ CuSO}_4$   
 $= 1 \text{ atm} - \{2 \times 1 \text{ atm} \times [0,002 \text{ mol} : (0,002 \text{ mol} + 111,111 \text{ mol})]\}$   
 $= 0,999964 \text{ atm}$

(iii)  $P \text{ AlCl}_3 = 1 \text{ atm} - i \cdot P^0 \cdot X \text{ AlCl}_3$   
 $= 1 \text{ atm} - \{4 \times 1 \text{ atm} \times [0,002 \text{ mol} : (0,002 \text{ mol} + 111,111 \text{ mol})]\}$   
 $= 0,999928 \text{ atm}$

d.  $\pi \text{ larutan} = n \cdot R \cdot T : V$

(i)  $\pi \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = [0,002 \text{ mol} \times 0,08206 \text{ L.atm/mol.K} \times (27 + 273) \text{ K}] : 2 \text{ L}$   
 $= 0,049236 \text{ atm}$

(iii)  $\pi \text{ CuSO}_4 = [2 \times 0,002 \text{ mol} \times 0,08206 \text{ L.atm/mol.K} \times (27 + 273) \text{ K}] : 2 \text{ L}$   
 $= 0,098472 \text{ atm}$

(iii)  $\pi \text{ AlCl}_3 = [4 \times 0,002 \text{ mol} \times 0,08206 \text{ L.atm/mol.K} \times (27 + 273) \text{ K}] : 2 \text{ L}$   
 $= 0,196944 \text{ atm}$

---

**SOAL LATIHAN**

1. Sebanyak 0,585 gram garam dapur, NaCl dilarutkan ke dalam 10 liter air. Jika massa jenis air 1 g/mL, dan larutan tersebut dianggap ideal, maka hitunglah:
  - a. Tekanan uap larutan pada suhu 100 °C (pada suhu 100 °C tekanan uap air 1 atm).
  - b. Titik didih larutan.
  - c. Titik beku larutan.
  - d. Tekanan osmose yang harus diberikan pada larutan untuk mencegah terjadinya osmose ke dalam larutan tersebut pada suhu 27 °C.
2. Berapa gram NaCl yang harus dilarutkan ke dalam 100 gram air, sehingga jika larutannya dianggap ideal, maka titik didihnya 100,000512 °C ?
3. Titik didih larutan glukosa adalah 100,000512 °C. Jika larutan tersebut dianggap ideal, maka hitunglah:
  - a. Berapa °C titik beku larutan tersebut ?
  - b. Berapa gram glukosa yang terdapat dalam 100 mL larutan tersebut ?
  - c. Berapa mL air yang harus ditambahkan ke dalam 100 mL larutan tersebut agar titik didihnya menjadi 100,000256 °C.
4. Titik beku larutan CaCl<sub>2</sub> adalah - 0,00558 °C. Jika larutan tersebut dianggap ideal, maka hitunglah berapa mL larutan tersebut yang harus ditambah dengan air agar 100 mL larutan tersebut titik didihnya 100,000256 °C.
5. Untuk mencegah terjadinya osmose, maka pada 100 mL larutan AlCl<sub>3</sub> harus diberikan tekanan osmose sebesar 0,1 atm pada suhu 27 °C. Jika larutan tersebut dianggap ideal, maka hitunglah
  - a. Berapa atm tekanan uap larutan tersebut ? Diketahui pada suhu 27 °C tekanan uap air adalah 26,74 mmHg.
  - b. Berapa °C titik beku larutan tersebut ?
6. Tekanan uap larutan nonelektrolit pada suatu keadaan adalah 556 mmHg. Jika pada keadaan tersebut tekanan uap air adalah 560 mmHg dan larutan tersebut dianggap ideal, maka hitunglah berapa °C titik beku larutan tersebut !

---

## 4. KOLOID

Keadaan koloid adalah suatu keadaan antara larutan dan suspensi. Suatu kumpulan dari beberapa ratus atau beberapa ribu partikel yang membentuk partikel lebih besar dengan ukuran sekitar  $10 \text{ \AA}$  sampai  $2\,000 \text{ \AA}$  dikatakan berada dalam keadaan koloid. Dalam suatu sistem koloid, partikel-partikel koloid terdispersi (tersebar) dalam medium pendispersinya. Zat terdispersi maupun medium pendispersi koloid dapat berupa zat padat, cair, atau gas. Terdapat 8 tipe sistem koloid, yaitu busa (gas dalam cair), busa padat (gas dalam padat), aerosol padat (cair dalam gas), emulsi (cair dalam cair), emulsi padat (cair dalam padat), aerosol padat (padat dalam gas), sol (padat dalam cair), dan sol padat (padat dalam padat).

### Sifat Sistem Koloid

#### a. Efek Tyndall

*Efek Tyndall* adalah gejala penghamburan cahaya oleh partikel-partikel koloid. Partikel koloid menghamburkan cahaya ke segala arah, sehingga partikel koloid yang sebenarnya tidak terlihat akan tampak sebagai titik-titik terang. Efek Tyndall ini dapat digunakan untuk membedakan antara koloid dengan larutan maupun suspensi. Efek Tyndall yang ditunjukkan oleh larutan tidak begitu nyata. Dalam suspensi cahaya tidak dapat dilewatkan.

#### b. Gerak Brown

*Gerak Brown* yaitu gerakan terus-menerus secara acak/berliku-liku dari partikel koloid dalam mediumnya. Gerakan ini terjadi karena adanya tumbukan oleh molekul-molekul pada sisi-sisi partikel yang tidak sama. Dengan adanya gerak Brown ini maka partikel koloid terhindar dari pengendapan karena terus-menerus bergerak, sehingga koloid menjadi setabil.

#### c. Adsorpsi

*Adsorpsi* yaitu penyerapan pada permukaan partikel koloid oleh adanya gaya adhesi zat-zat asing. Daya adsorpsi koloid sangat besar karena permukaan partikel koloid yang sangat luas bila dibandingkan permukaan zat padat dengan jumlah yang sama. Koloid yang berbeda akan mengadsorpsi zat-zat yang berbeda pula. Sifat adsorpsi koloid ini umumnya digunakan untuk mengadsorpsi/membuang kotoran/warna dan bau, memisahkan campuran, memekatkan bijih tambang, dan proses pemurnian lainnya.

Topeng gas/masker biasanya mengandung arang teraktifkan atau bahan koloid lainnya untuk mengadsorpsi asap/gas beracun yang berukuran koloid. Filter pada rokok juga berfungsi untuk mengadsorpsi/mengurangi asap/partikel-partikel senyawa yang berukuran koloid.

Pada alat pengendap *Cottrel* terjadi adsorpsi untuk membersihkan asap pekat/partikel-partikel pencemar yang berukuran koloid dari gas buang mesin industri atau untuk memulihkan zat padat yang terbubuk halus berukuran koloid dan masih berharga agar tidak terbuang bersama asap/gas buang.

Pada kromatografi, komponen-komponen campuran terpisahkan karena perbedaan dalam adsorpsi oleh koloid pengadsorpsinya (adsorben).

Pada peristiwa dialisis, partikel koloid dapat dipisahkan dari air/medium dan ion-ion berukuran kecil yang tidak diinginkan, karena partikel koloid teradsorpsi pada permukaan pori-pori membran semi permeabel. Bahan membran semi permeabel ini misalnya selaput hewani alamiah, kertas perkamen, selofan, dan plastik sintetik. Pada alat cuci darah untuk pasien gagal ginjal terjadi dialisis untuk membuang sisa metabolisme seperti urea dan kreatina dari dalam darah.

## **Kestabilan Sistem Koloid**

Koloid gas dan kebanyakan koloid cairan tidak mengendap dalam waktu yang sangat lama (berarti koloid ini stabil). Kestabilan koloid ini disebabkan karena adanya gerak Brown. Meskipun telah sampai ke dasar tempatnya, partikel koloid dapat naik kembali dan terus bergerak dalam mediumnya. Penyebab lainnya karena umumnya partikel koloid mengadsorpsi ion. Partikel koloid yang sama akan mengadsorpsi ion-ion yang sejenis, sehingga partikel-partikel koloid itu saling tolak-menolak karena pengaruh ion sejenis yang telah diadsorpsi. Partikel koloid sebenarnya tidak bermuatan listrik (netral). Peristiwa elektroforesis dapat digunakan untuk mengetahui jenis muatan ion yang diadsorpsi koloid. Jika koloid mengumpul pada elektroda negatif, berarti koloid telah mengadsorpsi ion positif, dan sebaliknya.

Kestabilan koloid dapat juga disebabkan adanya adsorpsi molekul atau koloid yang lain (koloid protektif/pelindung). Misalnya gelatin sebagai penstabil es krim. Emulsi dapat terbentuk karena adanya koloid lain (emulgator/pengemulsi) sebagai pengadsorpsi. Misalnya sabun sebagai pengemulsi minyak/lemak dan air. Pengemulsi yang lain misalnya kasein dalam susu, dan kuning telur dalam pembuatan mayones.

Jika partikel-partikel koloid saling bergabung dan terkumpul menjadi partikel yang semakin besar, maka koloid akan terkoagulasi (menggumpal) dan akhirnya akan mengendap. Secara kimia koagulasi partikel koloid dapat terjadi karena ion-ion yang telah diadsorpsi partikel koloid dilucuti atau dinetralkan. Misalnya dengan cara elektrolisis atau dicampurkan elektrolit/ion yang muatannya berlawanan. Cara lain yaitu dicampur dengan koloid lain yang telah mengadsorpsi ion yang muatannya berlawanan. Ion-ion itu akan saling tarik menarik dengan membawa serta partikel koloid yang mengadsorpsinya.

Secara fisika koagulasi koloid dapat terjadi karena pemanasan atau pendinginan. Misalnya telur atau santan kelapa dapat menggumpal jika dipanaskan. Es lilin bisa menjadi keras karena didinginkan.

## 6. KIMIA LINGKUNGAN

### 1. Pencemaran Lingkungan

Perkembangan teknologi dan industri dapat berdampak positif atau negatif bagi kehidupan manusia. Dampak positif (menguntungkan), yaitu dampak yang diharapkan dalam rangka meningkatkan kualitas dan kenyamanan hidup. Dampak negatif (merugikan), yaitu dampak yang dapat menurunkan kualitas/kenyamanan hidup. Dampak ini tidak diharapkan karena menimbulkan masalah yang harus diatasi, yaitu masalah kerusakan atau pencemaran lingkungan.

#### a. Pengertian Pencemaran Lingkungan

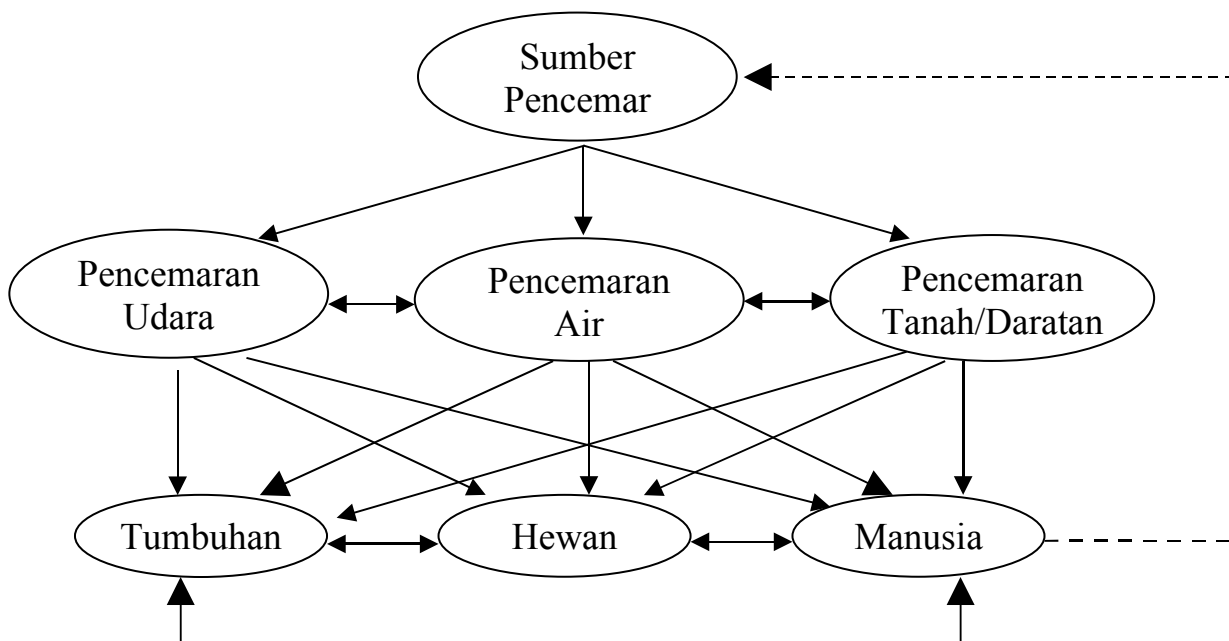
Pencemaran adalah peristiwa penyebaran bahan kimia dengan kadar tertentu yang dapat merubah keadaan keseimbangan pada daur materi dalam lingkungan (keseimbangan lingkungan) baik keadaan struktur maupun fungsinya sehingga dapat mengganggu kesejahteraan/kelangsungan hidup manusia. Pencemaran lingkungan meliputi pencemaran udara, pencemaran air, dan pencemaran tanah (daratan).

Lingkungan dapat tercemar karena:

- 1) Kecepatan hilangnya senyawa tertentu dari lingkungan lebih besar daripada kecepatan masuknya senyawa pengganti.
- 2) Rusaknya atau putusnya alur siklus biokimia.
- 3) Kecepatan masuknya senyawa ke dalam lingkungan lebih besar daripada kecepatan pengambilannya.
- 4) Masuknya senyawa yang tidak terdegradasi ke dalam lingkungan.

#### b. Daur Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan dapat disebabkan karena ulah manusia dan pada akhirnya dampaknya juga akan dirasakan oleh manusia, baik secara langsung maupun tak langsung.



Gambar diagram daur pencemaran lingkungan.

## 2. Pencemaran Udara

Udara akan tercemar jika ada bahan-bahan atau zat asing di dalam udara yang menyebabkan perubahan susunan atau komposisi udara dari keadaan normalnya.

### a. Penyebab Pencemaran Udara

- 1) Faktor internal (secara alamiah), misalnya:
  - debu beterbangan oleh tiupan angin
  - abu atau debu dan gas-gas vulkanik dari letusan gunung berapi
  - proses pembusukan sampah
- 2) Faktor eksternal (karena ulah manusia), misalnya:
  - pembakaran bahan bakar fosil
  - debu atau serbuk dari kegiatan industri
  - pemakaian zat-zat kimia yang disemprotkan ke udara

### b. Sumber Pencemar Udara

- transportasi
- industri
- pembuangan sampah
- pembakaran stasioner, dan lain-lain

### c. Komponen Pencemar Udara

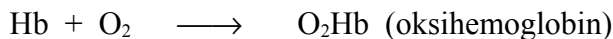
- Karbon monoksida (CO)
- Oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>)
- Oksida belerang (SO<sub>x</sub>)
- Hidrokarbon
- Partikel (*particulate*), dan lain-lain

### d. Dampak Pencemaran Udara

#### 1). Dampak Pencemaran oleh Karbon Monoksida (CO)

Gas CO tidak berbau dan tidak berwarna. Pada keadaan normal konsentrasinya di udara ± 0,1 ppm, dan di kota dengan lalu lintas padat ± 10 - 15 ppm. Dampak pencemaran oleh gas CO antara lain:

- Bagi manusia dampak CO dapat menyebabkan gangguan kesehatan sampai kematian, karena CO bersifat racun metabolis, ikut bereaksi secara metabolis dengan hemoglobin dalam darah (Hb) :



COHb 140 kali lebih stabil daripada O<sub>2</sub>Hb.

Kadar CO :	Waktu kontak :	Dampaknya bagi tubuh :
≤ 100 ppm	sementar	dianggap aman
± 30 ppm	8 jam	menimbulkan pusing dan mual
± 1000 ppm	1 jam	pusing dan kulit berubah kemerah-merahan
± 1300 ppm	1 jam	kulit jadi merah tua dan rasa pusing yang hebat
> 1300 ppm	1 jam	lebih hebat sampai kematian

Tanda-tanda keracunan gas CO adalah: pusing, sakit kepala dan mual. Keadaan yang lebih berat lagi adalah: kemampuan gerak tubuh menurun, gangguan pada sistem kardiovaskular, serangan jantung, sampai dengan kematian.

- Bagi tumbuhan, kadar CO 100 ppm pengaruhnya hampir tidak ada khususnya tumbuhan tingkat tinggi. Kadar CO 200 ppm dengan waktu kontak 24 jam dapat mempengaruhi kemampuan fiksasi nitrogen oleh bakteri bebas terutama yang terdapat pada akar tumbuhan.

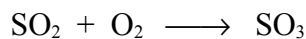
## 2). Dampak Pencemaran Oleh Oksida Nitrogen (NO<sub>x</sub>)

Gas NO tidak berbau dan tidak berwarna. Gas NO<sub>2</sub> berbau menyengat, berwarna coklat kemerahan. Sifat racun (toksisitas) NO<sub>2</sub> empat kalinya NO. Organ yang paling peka paru-paru, jika terkena NO<sub>2</sub> akan membengkak sehingga sulit bernapas sampai kematian. Konsentrasi NO yang tinggi mengakibatkan kejang-kejang, bila keracunan berlanjut mengakibatkan kelumpuhan. NO akan lebih berbahaya jika teroksidasi menjadi NO<sub>2</sub>.

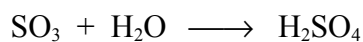
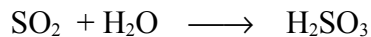
Oksida nitrogen bagi tumbuhan menyebabkan bintik-bintik pada permukaan daun, bila konsentrasinya tinggi mengakibatkan nekrosis (kerusakan jaringan daun), sehingga fotosintesis terganggu. Konsentrasi NO 10 ppm dapat menurunkan kemampuan fotosintesis 60 – 70 %. Di udara oksida nitrogen dapat menimbulkan PAN (*Peroxy Acetyl Nitrates*) yang dapat menyebabkan iritasi mata (pedih dan berair). PAN bersama senyawa yang lain akan menimbulkan kabut foto kimia (*Photo Chemistry Smog*).

## 3). Dampak Pencemaran oleh Oksida Belerang (SO<sub>x</sub>)

SO<sub>x</sub> sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, terutama batubara. Gas buang lebih banyak mengandung SO<sub>2</sub> dibanding SO<sub>3</sub>. Dengan oksigen dari udara SO<sub>2</sub> menghasilkan SO<sub>3</sub>:



Gas SO<sub>2</sub> berbau tajam dan tak mudah terbakar. Gas SO<sub>3</sub> sangat reaktif. Dengan uap air dari udara:



Jika ikut terkondensasi di udara dan jatuh bersama air hujan menyebabkan hujan asam.

- Bagi tumbuhan kadar SO<sub>x</sub> ± 0,5 ppm dapat menyebabkan timbulnya bintik-bintik pada daun. Jika paparan lama daun menjadi berguguran.
- Bagi manusia SO<sub>x</sub> menimbulkan gangguan pernapasan. Jika SO<sub>x</sub> berubah menjadi asam akan menyerang selaput lendir pada hidung, tenggorokan dan saluran napas yang lain sampai ke paru-paru. SO<sub>2</sub> dapat menimbulkan iritasi tenggorokan tergantung daya tahan masing-masing (ada yang 1 - 2 ppm, atau 6 ppm). SO<sub>2</sub> berbahaya bagi anak-anak, orang tua, dan orang yang menderita kardiovaskuler. Otot saluran pernapasan akan mengalami kejang (spasma). Akan lebih berat lagi jika konsentrasi SO<sub>2</sub> tinggi dan suhu udara rendah. Pada paparan lama akan terjadi peradangan yang hebat pada selaput lendir yang diikuti paralysis cilia (kelumpuhan sistem pernapasan), kerusakan lapisan ephitelium, akhirnya kematian. Pada konsentrasi 6 - 12 ppm dengan paparan pendek yang berulang-ulang dapat menyebabkan hiperplasia dan metaplasia sel-sel epitel yang akhirnya menjadi kanker.
- Pada benda-benda, SO<sub>2</sub> bersifat korosif. Cat dan bangunan gedung warnanya menjadi kusam kehitaman karena PbO pada cat bereaksi dengan SO<sub>x</sub> menghasilkan PbS. Jembatan menjadi rapuh karena mempercepat pengkaratan.

#### 4). Dampak Pencemaran oleh Hidrokarbon

Pembakaran hidrokarbon menghasilkan panas. Panas yang tinggi menimbulkan peristiwa pemecahan (*Cracking*) menghasilkan rantai hidrokarbon pendek atau partikel karbon. Gas hidrokarbon dapat bercampur dengan gas buangan lainnya. Cairan hidrokarbon membentuk kabut minyak (*droplet*). Padatan hidrokarbon akan membentuk asap pekat dan menggumpal menjadi debu/partikel. Hidrokarbon bereaksi dengan  $\text{NO}_2$  dan  $\text{O}_2$  menghasilkan PAN (*Peroxy Acetyl Nitrates*). Campuran PAN dengan gas CO dan  $\text{O}_3$  disebut kabut foto kimia (*Photo Chemistry Smog*) yang dapat merusak tanaman. Daun menjadi pucat karena selnya mati. Jika hidrokarbon bercampur bahan lain toksitasnya akan meningkat.

Berikut ini adalah toksitas benzena dan toluena:

Konsentrasi	Pengaruhnya terhadap tubuh:
Benzena (ppm):	
100	iritasi terhadap mukosa
3 000	lemas (0,5 - 1 jam)
7 500	paralysys (0,5 -1 jam)
20 000	kematian (5 - 10 menit)
Toluena (ppm):	
200	pusing, lemah, pandangan kabur setelah 8 jam.
600	gangguan syaraf, dapat diikuti kematian jika waktu kontak lama.

#### 5). Dampak Pencemaran oleh Partikel

Partikel (debu) yang masuk/mengendap dalam paru-paru dapat menimbulkan berbagai macam penyakit saluran pernapasan (*pnevmokoniosis*) antara lain:

- Penyakit *silikosis*  
Disebabkan oleh pencemaran debu silika bebas ( $\text{SiO}_2$ ). Dapat terjadi pada daerah pabrik besi dan baja, keramik, pengecoran beton, bengkel yang mengerjakan besi (mengikir/menggerinda), penambangan bijih besi, timah putih dan batubara. Bila sudah parah penyakit ini dapat diikuti hipertropi jantung sebelah kanan yang mengakibatkan kegagalan kerja jantung.
- Penyakit *asbestosis*  
Disebabkan oleh debu/serat asbes (campuran berbagai silikat terutama magnesium silikat). Dapat terjadi di daerah pabrik/industri yang menggunakan asbes, pabrik pemintalan serat asbes, pabrik yang beratap asbes, dan lain-lain.
- Penyakit *Bisinosi*  
Disebabkan oleh debu/serat kapas. Dapat terjadi pada daerah pabrik pemintalan kapas/tekstil, pembuatan kasur atau jok kursi. Penyakit ini dapat diikuti bronkitis kronis.
- Penyakit *antrakosis*  
Disebabkan oleh debu batubara. Dapat terjadi pada daerah tambang batubara, penggunaan batubara pada tanur besi, lokomotif (*stoker*), kapal laut bertenaga batubara, pekerja boiler pada PLTU bertenaga batubara.
- Penyakit *Beriliosis*



Disebabkan oleh debu logam berilium yang dapat berupa logam murni, oksida, sulfat, atau halogenida. Dapat terjadi pada daerah industri logam campur berilium-tembaga, pabrik fluoresen, pabrik pembuat tabung radio, pengolahan bahan penunjang industri nuklir.

#### 6). Dampak Pencemaran yang Lain

- Pemakaian insektisida dapat menyebabkan *cocarcinogenik*.
- Efek rumah kaca dapat merusakkan lapisan ozon, sehingga sinar ultra violet tidak tersaring. Dapat menyebabkan kanker kulit, suhu bumi naik sehingga tidak nyaman, es kutub mencair sehingga permukaan laut naik.

### 3. Pencemaran Air

Jika terjadi penyimpangan dari keadaan normalnya dapat dikatakan air sudah tercemar. Pada keadaan normal:

- Air hujan mengandung  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{O}_2$ , debu.
- Air mata air mengandung mineral  $\text{Na}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{O}_2$ .
- Air mengandung bakteri/mikroorganisme lain.
- Air murni tanpa mineral tidak enak/segar.

Dalam industri air digunakan untuk: air proses, air pendingin, air utilitas dan sanitasi, air ketel uap penggerak turbin, dan lain-lain. Air yang telah digunakan untuk industri tidak boleh langsung dibuang ke lingkungan karena dapat mencemari lingkungan, maka terlebih dahulu harus diolah agar sama dengan kualitas air lingkungan. Proses daur ulang air limbah (*Water Treatment Recycle Process*) adalah salah satu syarat yang harus dimiliki oleh industri yang berwawasan lingkungan.

#### a. Pengamatan indikator dan pencemaran air:

- Indikator secara fisis: kejernihan/kekeruhan, perubahan suhu, rasa, dan warna.
- Indikator secara kimiawi: zat kimia terlarut, radioaktivitas, perubahan pH.
- Indikator secara biologis: berdasar mikroorganisme yang ada (ada tidaknya bakteri patogen)

#### b. Komponen Pencemar air

Komponen pencemar air dapat berupa bahan buangan padat, organik, anorganik, olahan bahan makanan, cairan berminyak, zat kimia, dan panas.

##### 1) Bahan buangan padat/butiran.

- Pelarutan bahan buangan padat menyebabkan perubahan warna. Larutan pekat dan berwarna gelap mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam air, fotosintesis dalam air terganggu sehingga jumlah oksigen terlarut berkurang dan akan berpengaruh terhadap kehidupan organisme dalam air.
- Pengendapan bahan buangan padat akan menutupi permukaan dasar air, menghalangi fotosintesis, menutupi sumber makanan dan telur ikan di dasar air, sehingga jumlah ikan berkurang.
- Pembentukan koloidal yang melayang dalam air menyebabkan keruh dan menghalangi sinar matahari, fotosintesis terganggu dan jumlah oksigen terlarut berkurang sehingga mempengaruhi kehidupan dalam air.

2) Bahan buangan organik.

Berupa limbah yang dapat membusuk/terdegradasi oleh mikroorganisme. Menyebabkan jumlah mikroorganisme bertambah dan tumbuh bakteri patogen yang merugikan. Limbah ini dapat diproses menjadi pupuk/kompos.

3) Bahan buangan anorganik.

Berupa limbah yang tidak dapat membusuk dan sulit didegradasi oleh mikroorganisme sehingga dapat meningkatkan jumlah ion logam dalam air. Limbah ini berasal dari industri yang melibatkan unsur logam Pb, As, Cd, Hg, Cr, Ni, Ca, Mg, Co, misalnya pada industri kimia, elektronika, elektroplating.

Ion logam Ca dan Mg menyebabkan air sadah yang mengakibatkan korosi pada alat besi, menimbulkan kerak/endapan pada peralatan proses seperti tangki/bejana air, ketel uap, dan pipa penyalur.

Ion logam Pb, As, Hg bersifat racun sehingga air tidak dapat untuk minum.

4) Bahan buangan olahan bahan makanan (termasuk bahan organik).

Jika bahan mengandung protein dan gugus amin akan terdegradasi menjadi senyawa yang mudah menguap dan berbau busuk sehingga air mengandung mikroorganisme dan bakteri patogen.

5) Bahan buangan cairan berminyak.

Tidak larut dalam air, mengapung dan menutupi permukaan air. Jika mengandung senyawa volatil akan menguap. Terdegradasi oleh mikroorganisme dalam waktu lama. Bahan ini mengganggu karena:

- Menghalangi difusi oksigen dari udara ke dalam air.
- Menghalangi sinar matahari sehingga fotosintesis terganggu.
- Ikan di permukaan dan burung air terganggu, bulu burung lengket dan tak bisa mengembang.
- Air tak dapat dikonsumsi karena mengandung zat beracun seperti benzena, dan senyawa toluena.

6) Bahan buangan zat kimia, misalnya:

a) Sabun, deterjen, shampoo, dan bahan pembersih lainnya. Bahan ini mengganggu lingkungan karena:

- Meningkatkan pH air. Jika memakai bahan non-positif menaikkan pH menjadi 10,5 - 11.
- Bahan antiseptik yang ditambahkan akan dapat membunuh/mengganggu mikroorganisme.
- Sebagian jenis sabun/deterjen tak dapat terdegradasi.

b) Bahan pemberantas hama/insektisida. Bersifat racun dan tak dapat/sulit terdegradasi (beberapa minggu sampai beberapa tahun). Insektisida sering dicampur dengan senyawa minyak bumi sehingga permukaan air akan tertutupi minyak.

c) Zat pewarna. Bersifat racun dan *cocarcinogenik* (merangsang/penyebab tumbuhnya kanker) dan dapat mempengaruhi kandungan oksigen dan pH dalam air. Zat warna mengandung senyawa kimia berbahaya *chromogen* dan *auxochrome*.

d) Larutan penyamak kulit. Mengandung ion logam Cr, tidak dapat untuk air minum. Sebagai pengganti Cr untuk bahan penyamak dipakai enzim. Bersama lemak dan sisa kulit, enzim akan didegradasi menghasilkan senyawa yang mudah menguap dan berbau busuk (hasil peruraian protein dan senyawa amin). Populasi mikroorganisme akan bertambah dan memungkinkan berkembangbiaknya bakteri patogen yang berbahaya.

e) Zat radioaktif. Penggunaan radiasi zat radioaktif di berbagai bidang (pertanian, peternakan, kedokteran, hidrologi, farmasi, pertambangan, industri) akan terbawa air ke lingkungan. Akibat radiasi dapat merusak sel tubuh dan genetik.

## c. Dampak/kerugian pencemaran air:

- 1) Air tidak bermanfaat lagi untuk keperluan rumah tangga, industri maupun pertanian.
- 2) Air menjadi penyebab timbulnya penyakit. Air tercemar oleh limbah organik terutama dari bahan makanan merupakan tempat subur berkembangbiaknya mikroorganisme. Mikroorganisme merugikan yang dapat menyebabkan penyakit menular melalui air antara lain virus diare, hepatitis A, bakteri, metazoa dan protozoa. Penyakit tidak menular/keracunan ditimbulkan oleh air yang tercemar oleh senyawa anorganik/ion logam.

- Keracunan ion logam Cd.

Ion Cd dapat berasal dari industri yang memakai logam Cd dalam proses produksinya misalnya industri elektroplating, pipa plastik PVC (Cd sebagai stabilisator), hasil samping penambangan logam (timah hitam, seng), industri obat-obatan (sudah tak banyak dipakai). Keracunan ion Cd dapat mempengaruhi otot polos, pembuluh darah (mengakibatkan tekanan darah tinggi dan gagal jantung), dan merusak ginjal. Kasus keracunan ion Cd pernah menimpa penduduk Toyama, Jepang. Penduduk banyak yang sakit pinggang bertahun-tahun semakin parah, pelunakan tulang punggung dan menjadi rapuh, dan kematian karena gagal ginjal. Penyebabnya beras yang dimakan mengandung Cd  $\pm$  1,6 ppm, karena tanaman padi diairi dengan air tercemar ion Cd dari limbah industri seng dan timah hitam.

- Keracunan ion logam Co.

Pada industri Co dipakai sebagai stabilisator, pada pabrik bir dulu dipakai untuk menstabilkan busa bir agar bagus. Untuk proses pembentukan butir darah merah, tubuh memerlukan Co dalam jumlah sedikit melalui vitamin B12 yang dimakan. Bila memakan makanan yang mengandung Co 150 ppm akan merusak kelenjar gondok (kekurangan kelenjar gondok). Jika keracunan Co sel darah merah akan berubah, tekanan darah tinggi, pergelangan kaki membengkak (*oedema*), gagal jantung terutama pada anak yang baru tumbuh. Kasus keracunan Co pernah terjadi di Nebraska dan Ohama. Penduduk mengalami kelainan pada otot jantung primer karena gemar minum bir yang proses pembuatannya menggunakan Co. Di Kanada penduduk menderita gagal jantung disertai gejala sesak napas, batuk-batuk, sakit disekitar jantung dan lambung, dan kondisi badan lemah.

- Keracunan ion logam Hg.

Industri yang menggunakan Hg misalnya untuk proses produksi pada pabrik plastik, campuran bahan antiseptik pada sabun dan kosmetik, amalgam pada penambal gigi, dan fungisida. Gejala keracunan ion Hg adalah: sakit kepala, sukar menelan, penglihatan jadi kabur, daya dengar menurun, bagian kaki dan tangan terasa tebal, mulut terasa tersumbat logam, gusi membengkak disertai diare, kondisi tubuh melemah dan kematian, ibu mengandung melahirkan bayi cacat. Kasus keracunan Hg pernah terjadi di Minamata, penduduk banyak yang menjadi cacat, meninggal, dan bayi lahir cacat. Penyebabnya ikan laut yang dimakan mengandung Hg sekitar 27 - 102 ppm, karena tercemari limbah pabrik plastik. Kasus lain di Niigata, banyak yang cacat dan meninggal karena mengkonsumsi ikan yang mengandung Hg sekitar 5 - 20 ppm.

- Keracunan insektisida.

Gejalanya kepala pusing, mual, tremor, kerusakan organ seperti hati dan ginjal. Akumulasi sedikit demi sedikit menyebabkan penyakit tertunda (*delayed effect*) dalam bentuk kangker kulit, paru-paru, dan hati, karena insektisida bersifat *cocarcinogenic*.

#### 4. Pencemaran Tanah/Daratan

Tanah/daratan dapat mengalami pencemaran jika ada bahan asing baik bersifat organik maupun anorganik yang berada di permukaan tanah yang menyebabkan tanah menjadi rusak dan tidak dapat memberikan daya dukung bagi kehidupan manusia, baik untuk pertanian, peternakan, kehutanan, maupun untuk pemukiman.

##### a. Komposisi tanah

Komposisi tanah terdiri dari udara 25 %, air 25 %, bahan organik 5 %, dan bahan mineral 45 %. Bahan organik dalam tanah (seperti karbohidrat, protein dan lemak) merupakan persediaan makanan bagi mikroorganisme dan tumbuhan. Senyawa organik yang kompleks tak dapat secara langsung dimanfaatkan tumbuhan. Senyawa ini dipecahkan oleh organisme dalam tanah (antara lain serangga, cacing tanah, nematoda, sikaki seribu, algae, dan mikroorganisme seperti fungi dan bakteri) menjadi bentuk yang lebih sederhana. Air akan melarutkan bentuk-bentuk sederhana itu dan membawanya sampai ke tumbuhan melalui akar. Unsur/nutrisi yang diperlukan tumbuhan meliputi makronutrisi (yaitu 9 unsur yang diperlukan dalam jumlah besar meliputi C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, dan S) dan mikronutrisi (unsur yang lain). Unsur C, H, dan O digunakan untuk mensintesis karbohidrat, lemak, protein, lilin, selulosa, dan senyawa kompleks lainnya. Unsur N, P, dan S untuk membentuk molekul protein. Unsur lain yang jumlahnya tidak begitu banyak berperan dalam metabolisme pada tumbuhan.

##### b. Penyebab Pencemaran Tanah

- Faktor internal, yaitu peristiwa alam seperti: letusan gunung berapi yang memuntahkan debu, pasir, batu, dan bahan vulkanik lain yang menutupi dan merusak daratan/permukaan tanah.
- Faktor eksternal, yaitu karena ulah dan aktivitas manusia. Limbah yang dihasilkan oleh berbagai aktivitas manusia disebut *anthropogenic pollutants*.

##### c. Komponen Pencemar Tanah

Meliputi kertas 4 %, limbah bahan makanan 21 %, gelas 12 %, besi 10 %, plastik 5 %, kayu 5 %, karet dan kulit 3 %, kain/serat tekstil 2 %, aluminium dan logam lain 1 %. Perbandingan bahan organik dan anorganik 70 % : 30 %. Bahan organik akan terdegradasi oleh mikroorganisme, bahan anorganik tidak/susah terdegradasi. Bahan anorganik berbahaya misalnya bahan kimia beracun yang dibuang bersama limbah industri, limbah pertambangan seperti logam berat dan logam radioaktif. Bila air membawa limbah mengalir ke sungai, danau atau sawah maka tanah akan teraliri, sehingga akan terkontaminasi bahan-bahan kimia. Tanah menjadi jelek dan tumbuhan atau binatang air akan menderita. Bahan-bahan itu akan terkontaminasi dalam tumbuhan dan hewan, dan akhirnya akan sampai pada manusia.

##### d. Dampak Pencemaran Tanah

- Dampak langsung, seperti bau, merusak pandangan, kotor dan kumuh.
- Dampak tak langsung, seperti menjadi tempat berkembangnya nyamuk, lalat, tikus, bakteri, dan lain-lain, sehingga menjadi perantara atau penyebab penyakit pest, kaki gajah (*filiariasis*), malaria, demam berdarah, dan lain-lain.

## 5. Usaha Penanggulangan Dampak Pencemaran Lingkungan

Usaha untuk menanggulangi dampak pencemaran lingkungan dapat dilakukan secara teknis maupun secara nonteknis.

### a. Secara teknis

Bila berdasar kegiatan AMDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan) dapat diduga mungkin timbul pencemaran lingkungan, maka dipikirkan penanggulangan yang mengutamakan keselamatan lingkungan, teknologinya telah dikuasai dengan baik, dan secara teknis dan ekonomis dapat dipertanggungjawabkan. Penanggulangan secara teknis ini misalnya:

- Mengubah proses.
- Mengganti sumber energi.
- Mengelola limbah.
- Menambah alat bantu.

Misalnya untuk menaikkan angka oktana pada bensin dengan ditambahkan zat aditif anti ketukan (*anti knocking compound*) dengan *tetra ethyl lead* (TEL),  $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4\text{Pb}$ . Hasil pembakarannya mengandung Pb, maka ditambahkan zat aditif lain, yaitu 25 % *1,2-dibromoetana*,  $\text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{Br}$  dan 10 % *1,2-dikloroetana*,  $\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$  dan 65 % TEL. Campuran ini disebut *ethyl fluid* yang menyebabkan Pb diubah menjadi  $\text{PbBr}_2$  yang mudah menguap sehingga mudah keluar dari silinder mesin bercampur gas buang. Agar tidak mengandung ion Pb yang bersifat racun, maka untuk menaikkan angka oktana dipakai benzena dan alkohol. Campuran 90 % bensin dan 10 % alkohol disebut gasohol.

### b. Secara nonteknis

Dengan menciptakan peraturan perundangan yang dapat merencanakan, mengatur dan mengawasi segala macam bentuk kegiatan industri dan teknologi sedemikian rupa sehingga tidak terjadi pencemaran lingkungan. Peraturan perundangan ini hendaknya dapat memberikan gambaran secara jelas tentang kegiatan industri dan teknologi yang akan dilaksanakan di suatu tempat, yang meliputi:

- Penyajian informasi lingkungan (PIL).
- Analisis mengenai dampak lingkungan (AMDAL).
- Perencanaan kawasan kegiatan industri dan teknologi.
- Pengaturan dan pengawasan kegiatan.
- Penanaman perilaku disiplin.

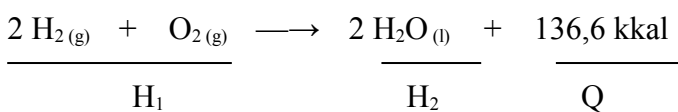
# 1. TERMOKIMIA

## Kalor (Q)

$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$   
 $m$  = massa  
 $c$  = kalor jenis  
 $m \cdot c$  = kapasitas kalor  
 $T$  = suhu

## Kalor Reaksi ( $\Delta H$ )

Kalor reaksi = kalor yang diserap (diperlukan) atau dilepaskan (dihasilkan) dalam reaksi.  
 = perubahan entalpi ( $\Delta H$ ).

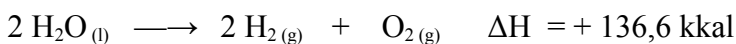


$$\begin{aligned}
 \text{H}_1 &= \text{H}_2 + \text{Q} \\
 \text{H}_2 - \text{H}_1 &= -\text{Q} \\
 \Delta H &= -\text{Q} = -136,6 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Disebut reaksi eksoterm (menghasilkan kalor). Biasanya dituliskan:



Reaksi kebalikannya adalah reaksi endoterm (memerlukan kalor).



## $\Delta H$ Pembentukan Standar ( $\Delta H_f^0$ )

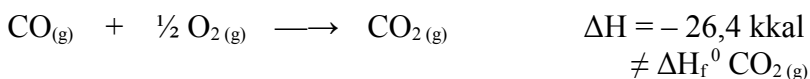
Adalah  $\Delta H$  untuk membentuk 1 mol suatu senyawa dari unsur-unsur penyusunnya pada keadaan standar.



$\Delta H$  pembentukan standar  $\text{CO}_{2(g)} = -94,1 \text{ kkal/mol}$ .

Umumnya dituliskan  $\Delta H_f^0 \text{CO}_{2(g)} = -94,1 \text{ kkal/mol}$ .

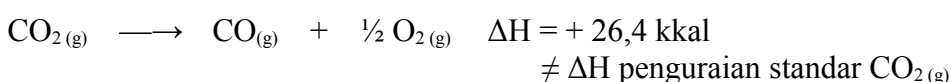
Jika suatu senyawa tersusun/terbentuk bukan dari unsur-unsur penyusunnya, maka  $\Delta H$ -nya tidak sama dengan  $\Delta H$  pembentukan standar.



$\text{CO}_{(g)}$  bukan unsur. Unsur-unsur penyusun  $\text{CO}_{2(g)}$  pada keadaan standar adalah  $\text{C}_{(s)}$  dan  $\text{O}_{2(g)}$ .

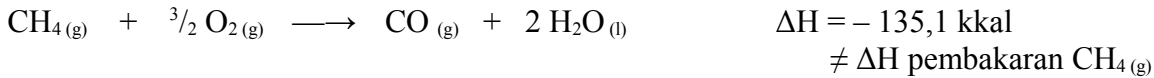
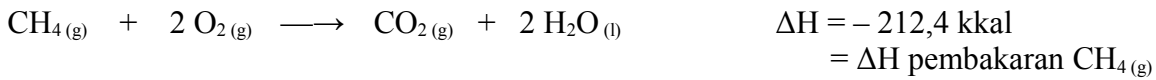
## $\Delta H$ Penguraian Standar ( $\Delta H_d^0$ )

Adalah  $\Delta H$  untuk menguraikan 1 mol suatu senyawa menjadi unsur-unsur penyusunnya pada keadaan standar.



**$\Delta H$  Pembakaran Standar ( $\Delta H_c^0$ )**

Adalah  $\Delta H$  dalam pembakaran sempurna 1 mol suatu senyawa pada keadaan standar.

**Hukum Laplace (Marquis de Laplace)**

$\Delta H$  reaksi ke kiri =  $-\Delta H$  reaksi ke kanan

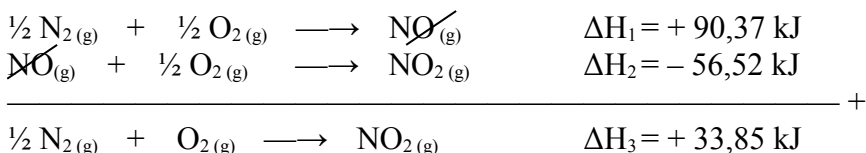
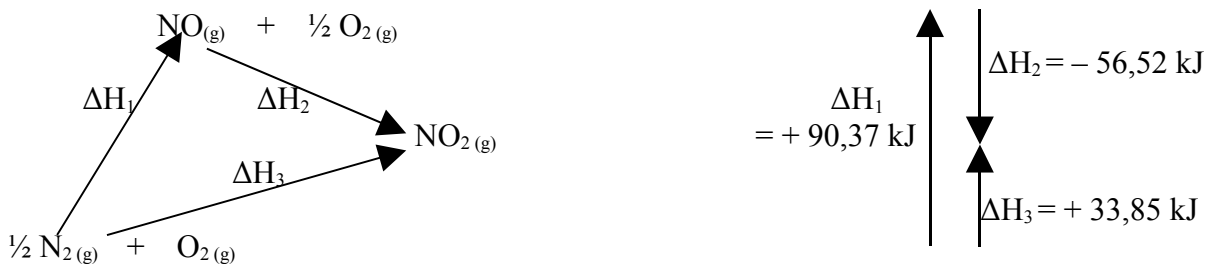
Sehingga:  $\Delta H$  penguraian =  $-\Delta H$  pembentukan

Pada contoh di atas,  $\Delta H$  pembentukan standar  $\text{CO}_2(\text{g}) = -94,1 \text{ kkal/mol}$ .

$\Delta H$  penguraian standar  $\text{CO}_2(\text{g}) = -(-94,1 \text{ kkal/mol}) = +94,1 \text{ kkal/mol}$ .

**Hukum Hess (Germain Hess)**

$\Delta H$  reaksi tidak bergantung pada jalannya/tahapan reaksi,  $\Delta H$  reaksi hanya bergantung pada keadaan awal (sebelum reaksi) dan keadaan akhir (setelah reaksi).

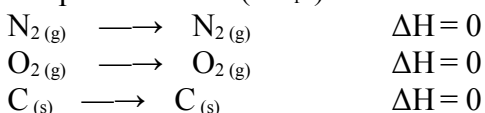


Sesuai hukum Laplace, maka :  $\Delta H$  penguraian pereaksi =  $-\Delta H$  pembentukan pereaksi.

Dalam reaksi, dianggap bahwa pereaksi terurai menjadi unsur-unsur penyusunnya. Kemudian unsur-unsur tersebut bereaksi membentuk produk reaksi.

$$\begin{aligned} \text{Jadi } \Delta H \text{ reaksi} &= \sum \Delta H \text{ penguraian pereaksi} + \sum \Delta H \text{ pembentukan produk} \\ &= -\sum \Delta H \text{ pembentukan pereaksi} + \sum \Delta H \text{ pembentukan produk} \\ &= -\sum \Delta H_f^0 \text{ pereaksi} + \sum \Delta H_f^0 \text{ produk} \\ &= \sum \Delta H_f^0 \text{ produk} - \sum \Delta H_f^0 \text{ pereaksi} \end{aligned}$$

$\Delta H$  pembentukan ( $\Delta H_f^0$ ) unsur-unsur bebas adalah nol ( $\Delta H = 0$ ). Contohnya:

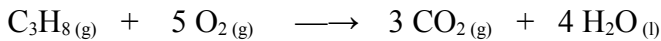


Contoh soal:

Diketahui:  $\Delta H$  pembentukan  $C_3H_8(g) = -24,8$  kkal/mol.  
 $\Delta H$  pembentukan  $CO_2(g) = -94,7$  kkal/mol.  
 $\Delta H$  pembentukan  $H_2O(l) = -68,3$  kkal/mol.

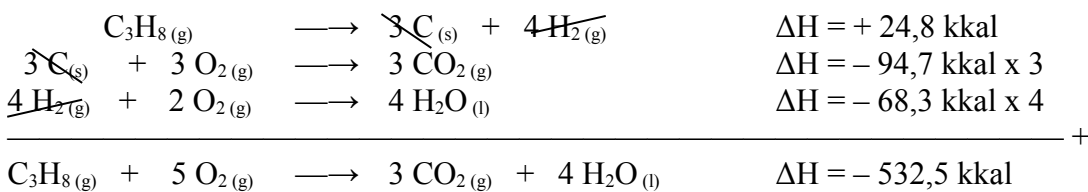
Hitunglah berapa  $\Delta H$  pembakaran  $C_3H_8(g)$ ?

Jawab: reaksinya adalah:



$$\begin{aligned} \Delta H &= [3 \Delta H_f^0 CO_2(g) + 4 \Delta H_f^0 H_2O(l)] - [\Delta H_f^0 C_3H_8(g) + 5 \Delta H_f^0 O_2(g)] \\ &= [3 \times (-94,7) + 4 \times (-68,3)] - [(-24,8) + 5 \times 0] = -532,5 \text{ kkal/mol} \end{aligned}$$

Cara yang lain, dihitung dengan hukum *Hess* adalah seperti berikut:



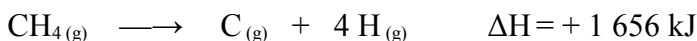
Jadi  $\Delta H$  pembakaran  $C_3H_8(g) = -532,5$  kkal/mol.

## Energi Ikatan

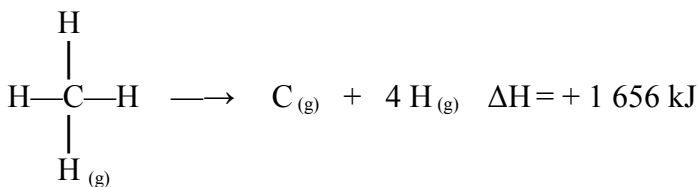
Adalah energi yang diperlukan untuk memutuskan 1 mol ikatan senyawa dalam wujud gas pada keadaan standar menjadi atom-atom gasnya.



Energi ikatan H—H = +435 kJ/mol



Atau dituliskan:



Energi ikatan C—H = +1656 kJ : 4 mol = 414 kJ/mol

Sesuai dengan hukum *Laplace*, maka:

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ pembentukan ikatan} &= -\Delta H \text{ pemutusan ikatan} \\ &= -\text{Energi Ikatan} \end{aligned}$$

Dalam reaksi gas-gas, dapat dianggap bahwa ikatan dalam pereaksi diputuskan, kemudian atom-atom gasnya akan membentuk ikatan produk reaksi. Sehingga:

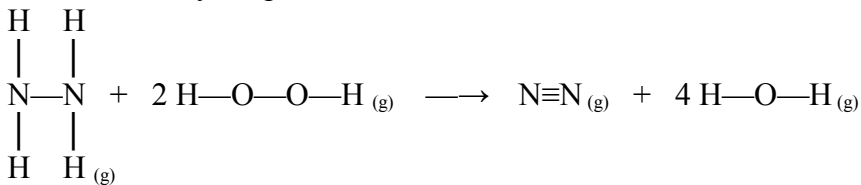
$$\begin{aligned} \Delta H \text{ reaksi} &= \sum \Delta H \text{ pemutusan ikatan pereaksi} + \sum \Delta H \text{ pembentukan ikatan produk reaksi.} \\ &= \sum \Delta H \text{ pemutusan ikatan pereaksi} - \sum \Delta H \text{ pemutusan ikatan produk reaksi.} \\ &= \sum \text{Energi ikatan pereaksi} - \sum \text{Energi ikatan produk reaksi.} \end{aligned}$$



Contoh soal:

Jika diketahui: energi ikatan  $\text{N}\equiv\text{N} = 946 \text{ kJ/mol}$ , energi ikatan  $\text{N}-\text{N} = 163 \text{ kJ/mol}$ , energi ikatan  $\text{N}-\text{H} = 389 \text{ kJ/mol}$ , energi ikatan  $\text{O}-\text{O} = 144 \text{ kJ/mol}$ , dan energi ikatan  $\text{O}-\text{H} = 464 \text{ kJ/mol}$ , maka hitunglah berapa  $\Delta H$  reaksi berikut:  $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

Jawab: reaksinya dapat dituliskan:



$$\begin{aligned} \Delta H \text{ reaksi} &= [( \text{EI N}-\text{N} ) + ( 4 \times \text{EI N}-\text{H} ) + ( 2 \times \text{EI O}-\text{O} ) + ( 4 \times \text{EI O}-\text{H} )] \\ &\quad - [( \text{EI N}\equiv\text{N} ) + ( 8 \times \text{EI O}-\text{H} )] \\ &= [(163) + (4 \times 389) + (2 \times 144) + (4 \times 464)] - [(946) + (8 \times 464)] \\ &= -795 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Catatan:  $\Delta H$  reaksi yang dapat dihitung dengan energi ikat hanyalah reaksi di mana pereaksi dan produk reaksinya semuanya berwujud gas.

### Proses Spontan dan Tidak Spontan

Proses reaksi dapat berlangsung spontan ataupun tidak spontan. Ciri-cirinya:

Spontan jika:	Tidak spontan jika:
$\Delta H < 0$	$\Delta H > 0$
$\Delta S > 0$	$\Delta S < 0$
$\Delta G < 0$	$\Delta G > 0$

H = entalpi = energi yang dikandung dalam sistem

S = entropi = derajat ketidakteraturan sistem.

G = energi bebas (energi yang tidak digunakan untuk kerja).

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

### SOAL LATIHAN

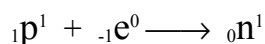
- Diketahui:  $\Delta H$  pembentukan  $\text{N}_2\text{H}_4(\text{l}) = + 50,63 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta H$  pembentukan  $\text{H}_2\text{O}_2(\text{l}) = - 187,78 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta H$  pembentukan  $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) = - 285,85 \text{ kJ/mol}$ . Hitunglah berapa  $\Delta H$  reaksi berikut:  $\text{N}_2\text{H}_4(\text{l}) + 2 \text{H}_2\text{O}_2(\text{l}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- Diketahui:  $\Delta H$  pembakaran  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) = - 2820 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta H$  pembakaran  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) = - 1380 \text{ kJ/mol}$ . Hitunglah berapa  $\Delta H$  reaksi berikut:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) \rightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) + 2 \text{CO}_2(\text{g})$
- Diketahui: Energi Ikat  $\text{C}=\text{C} = 611 \text{ kJ/mol}$ , Energi Ikat  $\text{C}-\text{C} = 347 \text{ kJ/mol}$ , Energi Ikat  $\text{C}-\text{H} = 414 \text{ kJ/mol}$ , Energi Ikat  $\text{H}-\text{H} = 435 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta H$  pembentukan  $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) = - 84,68 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta H$  pembentukan  $\text{CO}_2(\text{g}) = - 393,5 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta H$  pembakaran  $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) = - 1559,7 \text{ kJ/mol}$ .
  - Berapa  $\Delta H$  reaksi berikut:  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$
  - Berapa  $\Delta H$  pembentukan 2,8 gram  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$
  - Berapa  $\Delta H$  pembakaran 2,8 gram  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$

## 5. KIMIA INTI

### A. Unsur Radioaktif

Unsur radioaktif secara spontan memancarkan radiasi, yang berupa partikel atau gelombang elektromagnetik (nonpartikel). Jenis-jenis radiasi yang dipancarkan unsur radioaktif adalah:

1. Partikel  $\alpha$  (Sinar  $\alpha$ ), terdiri dari inti  ${}^4_2\text{He}$  yang bermuatan positif ( ${}^4_2\text{He}^{2+}$ ).
2. Partikel  $\beta$  (Sinar  $\beta$ ) atau  ${}_{-1}e^0$ , sama dengan elektron (e), bermuatan negatif.
3. Sinar  $\gamma$ , mirip dengan sinar-x, berupa foton dengan panjang gelombang sangat pendek ( $1 - 10^{-3}$  Å).
4. Partikel  $\beta^+$  ( ${}_{+1}e^0$ ), merupakan elektron bermuatan positif (positron). Umumnya dipancarkan oleh inti zat radioaktif buatan.
5. Elektron capture, sering bersamaan dengan pemancaran positron, sebuah elektron pada kulit dalam diserap inti.



Kekosongan elektron diisi elektron pada kulit luar dengan memancarkan sinar-x.

### B. Peluruhan Inti

#### 1. Penulisan Nuklida

Nuklida adalah suatu inti atom yang ditandai dengan jumlah proton (p) dan neutron (n) tertentu, dituliskan:  ${}_Z X^A$

X = lambang unsur

Z = nomor atom = jumlah proton (= p)

A = bilangan massa = jumlah proton dan neutron (= p + n)

#### 2. Isotop Stabil dan Isotop Tidak Stabil

Nuklida-nuklida dari unsur yang sama (dengan jumlah proton sama) tetapi jumlah neutron berbeda disebut isotop. Contoh isotop oksigen adalah:  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{17}_8\text{O}$ ,  ${}^{18}_8\text{O}$

Isotop yang mempunyai inti stabil disebut isotop stabil. Isotop tidak stabil mempunyai inti tidak stabil yang merupakan nuklida radioaktif dan akan meluruh. Nuklida yang dikenal terdapat lebih dari 3 000 nuklida, sekitar 280 di antaranya adalah nuklida stabil dan lainnya adalah nuklida radioaktif. Beberapa contoh isotop stabil dan isotop tidak stabil adalah:

Unsur	Isotop stabil	Isotop tidak stabil
H	$\text{H}^1, \text{H}^2$	$\text{H}^3$
K	$\text{K}^{39}, \text{K}^{41}$	$\text{K}^{38}, \text{K}^{40}, \text{K}^{42}, \text{K}^{44}$
Co	$\text{Co}^{59}$	$\text{Co}^{57}, \text{Co}^{58}, \text{Co}^{60}, \text{Co}^{61}$
Pb	$\text{Pb}^{206}, \text{Pb}^{208}$	$\text{Pb}^{205}, \text{Pb}^{207}, \text{Pb}^{209}$

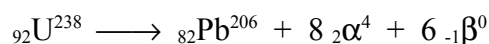
Table 1. Contoh isotop stabil dan isotop tidak stabil.

### 3. Peluruhan Radioaktif Alam dan Radioaktif Buatan

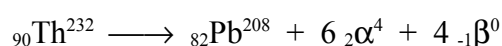
#### a. Radioaktif Alam

Unsur/nuklida radioaktif alam yaitu unsur/nuklida radioaktif yang dapat ditemukan di alam, umumnya ditemukan dalam kerak bumi. Semua unsur/nuklida radioaktif alam yang bernomor atom tinggi akan termasuk salah satu dari deret radioaktif berikut:

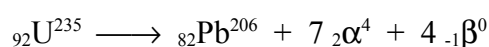
- 1) Deret uranium, dimulai dari  ${}_{92}\text{U}^{238}$  berakhir pada  ${}_{82}\text{Pb}^{206}$ .



- 2) Deret thorium, dimulai dari  ${}_{90}\text{Th}^{232}$  berakhir pada  ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ .



- 3) Deret aktinium, dimulai dari  ${}_{92}\text{U}^{235}$  berakhir pada  ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ .

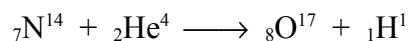


Unsur radioaktif bernomor atom rendah jarang ditemui. Contohnya:  ${}_{19}\text{K}^{40}$

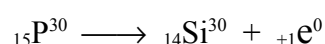
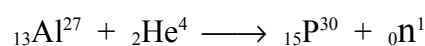


#### b. Radioaktif Buatan

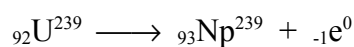
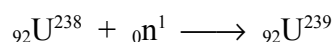
Unsur/nuklida radioaktif buatan adalah unsur/nuklida radioaktif yang tidak terdapat di alam, tetapi dapat dibuat dari unsur/nuklida alam. Isotop buatan pertama kali dibuat *Rutherford* (1919), adalah  ${}_{8}\text{O}^{17}$  yang tidak radioaktif.



Isotop radioaktif buatan pertama adalah  ${}_{15}\text{P}^{30}$  (1934)



Unsur buatan yang pertama adalah neptunium (Np)



Deret radioaktif buatan dimulai dari  ${}_{93}\text{Np}^{235}$  berakhir pada  ${}_{83}\text{Bi}^{209}$ .

## C. Laju Peluruhan Radioaktif

### 1. Persamaan Laju Peluruhan

Peluruhan radioaktif termasuk reaksi ordo pertama. Peluruhan unsur radioaktif sebanding dengan jumlah atomnya (N).

$$-\frac{dN}{dt} \sim N$$

$$-\frac{dN}{dt} = k.N \quad k = \text{konstanta peluruhan ordo pertama (dt}^{-1}\text{)}$$

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN}{N} = -k \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -k.t$$

$$N_t = N_0.e^{-k.t}$$

## 2. Waktu Paruh

Laju peluruhan merupakan ukuran kesetabilan inti, biasanya dinyatakan dalam waktu paruh ( $t_{1/2}$ ), yaitu waktu yang diperlukan untuk meluruh agar jumlah atom ( $N_0$ ) menjadi tinggal separuhnya ( $\frac{1}{2} N_0$ ).

$$\ln \frac{\frac{1}{2} N_0}{N_0} = -k.t_{1/2}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0,693}{k}$$

Di laboratorium untuk memudahkan pengukuran jumlah atom ( $N$ ) atau radioaktifitas ( $A$ ) dinyatakan dalam count (banyaknya peluruhan yang tercatat pada detektor) permenit.

$$A = c.\left(-\frac{dN}{dt}\right)$$

$c$  = koefisien deteksi yang bergantung jenis detektor, orientasi detektor, jarak detektor dari sampel, dan lain-lain.

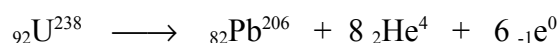
Jika  $c$  dianggap tetap, maka:

$$A = A_0.e^{-k.t}$$

$A_0$  = radioaktifitas pada saat  $t = 0$

## 3. Radioactive Dating

Istilah radioactive dating digunakan pada penggunaan radiasi dari unsur radioaktif untuk menentukan umur atau usia (dating) suatu bahan yang mengandung unsur radioaktif tersebut. Misalnya batuan yang semula mengandung  $U^{238}$  dapat ditentukan umurnya dengan menghitung kadar  $Pb^{206}$  pada batuan yang tersisa (sekarang).  $U^{238}$  akan berhenti meluruh jika telah terbentuk  $Pb^{206}$ .



Jadi setiap 238 gram  $U^{238}$  setelah berhenti meluruh akan menghasilkan 206 gram  $Pb^{206}$ . Waktu paruh  $U^{238}$  adalah  $4,5 \times 10^9$  tahun. Setelah  $4,5 \times 10^9$  tahun, 1 gram  $U^{238}$  akan menghasilkan ( $\frac{1}{2} \times 1 = 0,5$ ) gram  $U^{238}$  dan ( $\frac{1}{2} \times \frac{206}{238} = 0,43$ ) gram  $Pb^{206}$ .

Jika dimisalkan sedikit sampel batuan tersebut mengandung 1 gram  $U^{238}$  dan 0,76 gram  $Pb^{206}$ , maka:

$$\text{Massa } U^{238} \text{ semula } (N_0) = 1 + \left( \frac{238}{206} \times 0,76 \right) \text{ gram} = 1,88 \text{ gram}$$

Umur batuan (t) dapat dicari dengan persamaan:

$$\ln \frac{1}{1,88} = - \frac{0,693}{4,5 \times 10^9} \times t$$

$$\text{Jadi umur batuan tersebut } (t) = \left( \frac{4,5 \times 10^9}{0,693} \right) \times \ln \frac{1,88}{1} \text{ tahun} = 4,099 \times 10^9 \text{ tahun}$$

Umur sisa makhluk hidup (fosil) dapat ditentukan dengan mengukur radioaktifitas atau laju peluruhan  $C^{14}$  pada sisa makhluk hidup dan dibandingkan dengan laju peluruhan  $C^{14}$  pada makhluk hidup sekarang ( $\approx$  laju peluruhan  $C^{14}$  semula). Penggunaan radiasi  $C^{14}$  untuk menentukan umur sisa makhluk hidup ini disebut *Radiokarbon Dating*.

Misal radioaktifitas  $C^{14}$  pada fosil sisa tumbuhan (= A) = 10 peluruhan permenit pergram  $C^{14}$ , Radioaktifitas  $C^{14}$  pada tumbuhan sekarang (=  $A_0$ ) = 50 peluruhan permenit pergram  $C^{14}$ . Waktu paruh  $C^{14}$  = 5 730 tahun. Maka umur fosil (= t) dicari dengan persamaan:

$$\ln \frac{10}{50} = - \frac{0,693}{5\,730} \cdot t$$

$$\ln \frac{50}{10} = \frac{0,693}{5\,730} \cdot t$$

$$t = \frac{5\,730}{0,693} \times \ln \frac{50}{10} \text{ tahun} = 13\,307,47 \text{ tahun}$$

### Contoh Soal:

1. Waktu paruh  $Ra^{226}$  adalah 1 600 tahun. Setelah berapa lama 2 gram  $Ra^{226}$  menjadi tinggal 0,125 gram ?
2. Waktu paruh  $U^{238}$  adalah  $4,5 \times 10^9$  tahun. Setelah berapa lama  $U^{238}$  akan tersisa tinggal 30 % dari semula ?
3. Aktivitas  $C^{14}$  dari contoh fosil tulang adalah  $\frac{1}{10}$  aktivitas  $C^{14}$  pada makhluk hidup sekarang. Berapa umur fosil tersebut jika waktu paruh  $C^{14}$  adalah 5 730 tahun ?

## D. Reaksi Inti.

Pada reaksi inti biasanya massa sebelum reaksi tidak sama dengan massa sesudah reaksi. Hal ini karena terjadi perubahan massa menjadi energi atau sebaliknya. Menurut *Einstein*:

$$E = m \cdot c^2$$

$$c = 2,998 \times 10^{10} \text{ cm/dt}$$

$$1 \text{ sma} \approx 931,4 \text{ MeV}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6021 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

$$1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ joule}$$

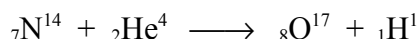
$$1 \text{ MeV} = 1,6021 \times 10^{-13} \text{ J}$$

Misal selisih massa 0,1587 gram setara dengan pelepasan energi sebesar  $\pm 14\,300$  juta Joule.

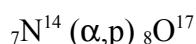
Dikenal ada tiga macam reaksi inti, yaitu reaksi penembakan dengan partikel, reaksi fisi, dan reaksi fusi.

### 1. Reaksi penembakan dengan partikel.

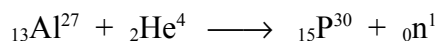
Sebagai partikel penembak (peluru) dapat berupa partikel ringan, misalnya:  ${}_2\alpha^4$ ,  ${}_1p^1$ ,  ${}_0n^1$ ,  ${}_1D^2$  atau partikel berat, misalnya:  ${}_6C^{12}$ ,  ${}_7N^{14}$ ,  ${}_8O^{16}$ . *Rutherford* (1919) dengan penembak partikel  $\alpha$  berhasil mengubah  ${}_7N^{14}$  menjadi  ${}_8O^{17}$



atau dapat dituliskan:

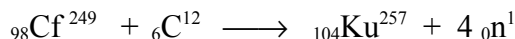
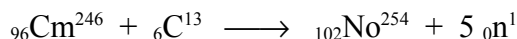
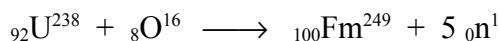
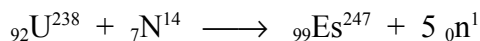
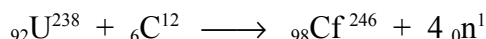


*Irene Curie* (1933) dengan penembak partikel  $\alpha$  berhasil mengubah  ${}_{13}Al^{27}$  menjadi  ${}_{15}P^{30}$



Partikel kecil untuk penembak diperoleh dari proses peluruhan isotop atau dari reaktor nuklir. Penembakan dapat dengan pemercepat partikel (*particle accelerator*) misalnya siklotron. Dengan siklotron penembak dapat juga partikel besar. Dengan siklotron *Glenn Seaborg* dapat membuat unsur-unsur transuranium nomor atom 93 sampai dengan 105.

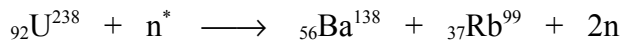
Contoh:



### 2. Reaksi fisi/pembelahan.

Reaksi fisi merupakan reaksi antara neutron dengan suatu nuklida dari atom berat, menghasilkan 2 macam nuklida lain yang lebih ringan. Pertama kali ditemukan oleh *Otto Hahn* (1939). *Fermi* (1914) menemukan transuranium dengan cara menembak Uranium menggunakan neutron. Neutron cepat adalah neutron yang memiliki energi tinggi (energi kinetik)  $\pm 14$  MeV,

dihasilkan dari generator neutron, kemudian dilewatkan pada akselerator. Reaksi yang terjadi dalam reaktor : ( $n^*, 2n$ ). Nuklida yang bereaksi dengan neutron cepat umumnya  ${}_{92}\text{U}^{238}$ .



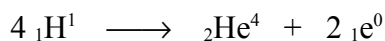
Reaksi fisi dengan neutron termal banyak dijumpai pada reaktor inti. Nuklida  ${}_{92}\text{U}^{235}$  paling sering bereaksi fisi dengan neutron termal. Bila  ${}_{92}\text{U}^{235}$  ditembak dengan neutron termal akan menghasilkan nuklida baru dengan 2 atau 3 neutron dan energi sebesar  $\pm 200$  MeV.



Neutron baru yang dihasilkan mempunyai energi  $\pm 2$  MeV. Jika digunakan untuk reaksi fisi selanjutnya neutron ini masih mempunyai energi yang cukup tinggi, sehingga perlu diperlambat dengan moderator (misalnya: air, air berat, grafit, berilium) hingga  $\pm 0,025$  eV. Bila reaktor inti dilengkapi moderator, maka reaksinya dapat dikendalikan dengan batang kendali untuk menyerap neutron, dan reaksi berlangsung secara berantai.

### 3. Reaksi fusi/penggabungan.

Reaksi fusi merupakan reaksi penggabungan inti-inti ringan menjadi inti baru yang lebih berat. Reaksi ini hanya berlangsung pada suhu tinggi (juta °C), untuk memperoleh energi aktivasi agar inti-inti ringan dapat bergabung. Dalam proses penggabungan ini dihasilkan energi yang besar. Diperkirakan energi yang dipancarkan matahari adalah hasil fusi nuklir inti-inti hidrogen menjadi inti helium:



Reaksi fusi terjadi pada bom hidrogen, yang energi aktivasinya diperoleh dari reaksi fisi yang terjadi dalam bom:



Sebagai sumber energi, penggunaan reaksi fusi lebih menguntungkan karena energi yang dihasilkan lebih besar dan tidak menghasilkan isotop radioaktif. Isotop yang dihasilkan bersifat setabil, misalnya helium. Kesulitannya, reaksi fusi terkontrol perlu tempat yang dapat menahan suhu tinggi ( $\pm 50$  juta°C sampai dengan 200 juta°C).

## E. Reaktor Inti.

Reaktor inti merupakan tempat berlangsungnya reaksi pembelahan inti (reaksi fisi) secara terkendali. Reaktor inti yang pertama dibuat oleh *Fermi* (1942). Berdasarkan tujuan penggunaannya, reaktor inti dibedakan menjadi reaktor penelitian dan reaktor daya.

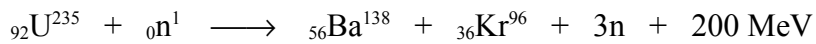
### 1. Reaktor Penelitian.

Reaktor Penelitian digunakan untuk tujuan penelitian. Reaktor ini didesain sebagai sumber neutron yang dapat digunakan untuk menghasilkan radioisotop, mengukur fluks, untuk analisa, dan sebagainya. Jenis reaktor penelitian misalnya:

- Reaktor jenis TRIGA (*Training Research and Isotope Production General Atomic*), menghasilkan fluks neutron sekitar  $10^{11}$  -  $10^{12}$  nV. Digunakan untuk menghasilkan radioisotop untuk keperluan penelitian fisika dan analisis berbagai bidang.
- Reaktor uji material menghasilkan fluks neutron dalam orde  $10^{14}$  -  $10^{16}$  nV. Digunakan untuk tujuan reaksi, untuk menguji material, bahan bakar, komponen reaktor yang nantinya akan digunakan untuk komponen reaktor daya.

## 2. Reaktor Daya/Reaktor Nuklir.

Reaktor daya ditujukan untuk memulai reaksi pembelahan (fisi) untuk menghasilkan reaksi berantai, dapat mengendalikan reaksi dan memanfaatkan energi yang dihasilkan. Neutron yang dihasilkan adalah neutron cepat dengan energi 2 MeV. Neutron yang menghasilkan reaksi fisi selanjutnya adalah neutron termal dengan energi 0,025 eV. Nuklida yang digunakan dalam reaktor inti umumnya  ${}_{92}\text{U}^{235}$ .



Setiap 1 mol  ${}_{92}\text{U}^{235}$  (= 235 gram) menghasilkan energi  $\pm 200$  MeV, setara dengan energi yang dihasilkan pada pembakaran  $\pm 500$  ton batubara.

Komponen utama reaktor nuklir terdiri dari:

- Bahan bakar. Bahan bakar ditempatkan dalam teras reaktor. Umumnya berupa pelet  $\text{UO}_2$  dibungkus dalam kelongsong agar produknya tetap terkungkung dalam kelongsong tersebut. Uranium yang digunakan adalah uranium alam yang diperkaya dengan  ${}_{92}\text{U}^{235}$ .
- Moderator. Moderator umumnya berupa grafit, air berat, atau air biasa. Berfungsi untuk menurunkan energi neutron melalui tumbukan. Diharapkan pada setiap tumbukan antara neutron dengan moderator, neutron akan kehilangan energi.
- Batang kendali. Batang kendali berfungsi untuk mengendalikan jumlah reaksi yang terjadi dalam reaktor, dengan cara menyerap neutron. Bahan batang kendali harus mempunyai kemampuan menyerap neutron yang tinggi, seperti kadmium, boron, dan hafnium.
- Pendingin. Umumnya reaktor menggunakan moderator juga sebagai pendingin, misalnya air yang disirkulasikan menggunakan pompa. Pendingin lain yang biasa digunakan adalah helium,  $\text{CO}_2$ , dan logam cair.
- Penukar panas (*heat exchanger*). Pendingin primer merupakan rangkaian tertutup. Bahan pendingin itu dikembalikan ke dalam reaktor menggunakan pompa, sedangkan panasnya dipindah pada sistem penukar panas.
- Perisai radiasi. Perisai radiasi berfungsi menahan radiasi agar tidak keluar dari reaktor.

## F. Dampak Radiasi.

### 1. Penggunaan Zat Radioaktif.

Zat radioaktif banyak digunakan dalam bidang pertanian, kedokteran, industri, dan analisis, misalnya :

- $\text{P}^{32}$  digunakan untuk mempelajari penyerapan pospor dalam pupuk oleh tanaman, mempelajari fotosintesis pada tanaman.
- $\text{Na}^{24}$  dalam  $\text{NaCl}$  digunakan untuk diagnosa sirkulasi darah.
- $\text{I}^{131}$  untuk diagnosa fungsi kelenjar thiroid atau untuk terapi. Radiasi  $\gamma$  dapat merusak sebagian dari kegiatan thiroid dalam hipertiroidism.
- Radiasi  $\gamma$  dari  $\text{Co}^{60}$  untuk penyembuhan tumor dan kanker.
- Radiasi  $\gamma$  dari Ra untuk pemandulan hama jantan pada tanaman.
- $\text{O}^{18}$  untuk mempelajari mekanisme reaksi esterifikasi.
- $\text{U}^{235}$  digunakan dalam reaktor nuklir (PLTN).

### 2. Bahaya/Efek Radiasi Bagi Tubuh Manusia

Radiasi dari zat radioaktif dapat mengionkan partikel atau molekul zat yang dilaluinya, termasuk sel-sel tumbuhan, hewan, dan manusia. Daya mengionkan ini sebanding dengan energi radiasinya. Daya tembus partikel/sinar radioaktif berbeda-beda, dan bergantung pada energinya.



Dalam aluminium perbandingan daya tembus partikel  $\alpha : \beta : \gamma = 1 : 100 : 10\,000$ . Di udara partikel  $\alpha$  dapat menembus sekitar 2,8 cm sampai 8,5 cm. Setiap cm udara yang dilintasinya, partikel  $\alpha$  dapat menghasilkan 50 000 sampai 100 000 pasang ion (pasangan ion positif dan elektron), partikel  $\beta$  menghasilkan beberapa ratus pasang ion, dan sinar  $\gamma$  menghasilkan beberapa pasang ion. Dengan energi yang sama, jumlah pasangan elektron yang dihasilkan partikel  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  juga hampir sama karena  $\beta$  melintas lebih jauh dari  $\alpha$  dan  $\gamma$  lebih jauh lagi.

Penggunaan radiasi dapat secara eksternal, yaitu dengan memancarkan radiasi dari luar tubuh, maupun secara internal, yaitu dengan memasukkan radioaktif ke dalam tubuh, sehingga tubuh menjadi radioaktif. Akibat radiasi dapat menimbulkan gangguan pada sel-sel tubuh, yang dapat terjadi dengan segera (dalam waktu pendek setelah radiasi), maupun setelah beberapa lama radiasi. Efek radiasi bagi tubuh dapat berupa efek somatik maupun genetik.

a. Efek somatik (*somatic effects*).

Efek somatik radiasi mempengaruhi sel somatik, sehingga pengaruhnya muncul pada diri yang bersangkutan dan tidak menurun ke generasi berikutnya.

- 1). Efek somatik nonstokostik. Efek somatik radiasi bersifat nonstokostik jika ada hubungan sebab akibat yang pasti antara dosis radiasi yang diterima dengan pengaruh yang ditimbulkan. Umumnya terjadi pada jaringan yang memiliki laju penggantian sel yang tinggi. Akibatnya fungsi jaringan akan hilang.
- 2). Efek somatik stokostik. Efek somatik radiasi bersifat stokostik jika tidak dapat dipastikan adanya hubungan antara dosis radiasi yang diterima tubuh dengan akibat yang ditimbulkan. Umumnya tidak segera muncul setelah radiasi. Bisa terjadi jika terkena radiasi dosis tinggi (dosis akut) atau dosis rendah waktu lama (dosis kronis).

b. Efek Genetik (*genetic effects*).

Efek genetik radiasi mempengaruhi sel-sel germinal dan muncul pada keturunan. Efek genetik bersifat stokostik dan muncul pada korban radiasi. Radiasi dosis rendah dapat menyebabkan perubahan pada DNA sehingga terjadi mutasi gen yang dapat muncul pada beberapa keturunan.

### 3. Penanggulangan Bahaya Radiasi.

Secara teknis, untuk mengurangi tingkat bahaya radiasi terhadap tubuh pengguna radiasi dapat dengan cara mengatur waktu radiasi, mengatur jarak radiasi, dan memasang perisai antara sumber radiasi dengan tubuh. Secara nonteknis, untuk menanggulangi bahaya radiasi dapat dengan mengontrol atau mengawasi pemaparan yang dapat menimbulkan bahaya radiasi, diantaranya dengan cara menghilangkan bahaya, mengawasi bahaya, mengawasi pekerja radiasi, dan dibuat peraturan. Undang Undang Republik Indonesia nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran mengatur tentang pembangunan, pengangkutan, penyimpanan, penyediaan, penggunaan tenaga nuklir dan keselamatan kerja terhadap radiasi.