

# Bab

# I

## Sifat Koligatif Larutan



### Tujuan Pembelajaran

- Setelah mempelajari bab ini Anda dapat menjelaskan dan membandingkan sifat koligatif larutan nonelektrolit dengan sifat koligatif larutan elektrolit.

Pernahkah Anda mengukur suhu air saat mendidih? Bila air mendidih pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$ , apakah air yang telah ditambah satu sendok gula juga mendidih pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$ , bagaimana bila ditambah dua sendok gula? Ini merupakan bagian yang akan kita pelajari pada bab ini.

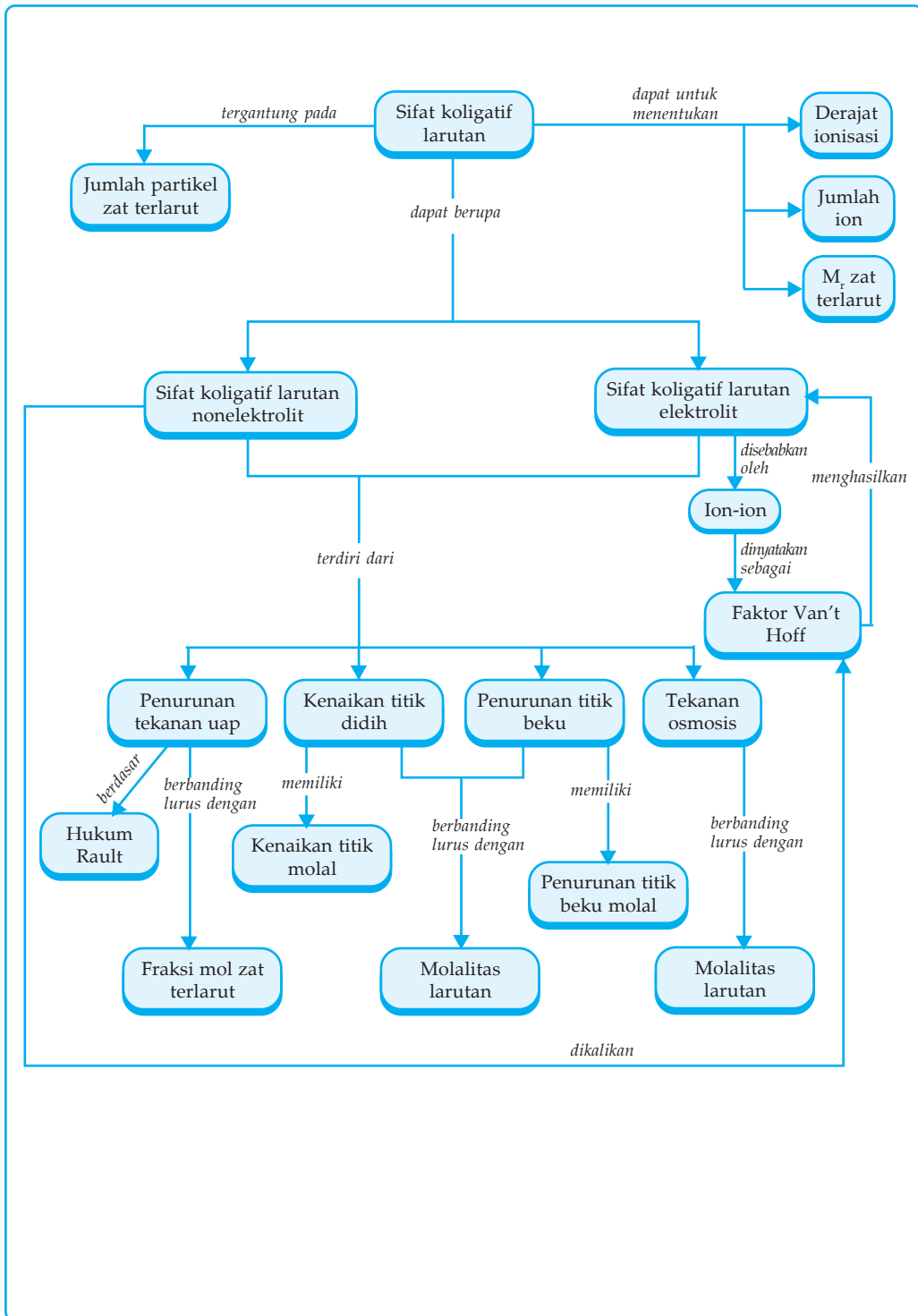
Larutan memiliki beberapa sifat fisis seperti warna, bau, rasa,  $pH$ , titik didih, titik beku, dan sebagainya. Sifat fisis larutan yang akan kita pelajari adalah sifat koligatif, yaitu sifat larutan yang hanya tergantung pada konsentrasi partikel zat terlarut. Sifat koligatif tersebut terdiri atas penurunan tekanan uap, kenaikan titik didih, penurunan titik beku, dan tekanan osmosis. Zat terlarut nonelektrolit dan zat terlarut elektrolit dengan jumlah mol yang sama akan menimbulkan sifat koligatif yang berbeda. Sifat koligatif larutan dapat digunakan untuk menentukan massa molekul relatif, derajat ionisasi dan jumlah ion zat terlarut.

Sebelum mempelajari sifat koligatif larutan lebih lanjut, kita pelajari terlebih dahulu satuan konsentrasi larutan yaitu fraksi mol, dan molalitas.

### Kata Kunci

- molalitas
- fraksi mol
- sifat koligatif
- kenaikan titik didih
- tekanan osmosis
- molaritas larutan elektrolit
- molaritas larutan nonelektrolit
- penurunan tekanan uap
- penurunan titik beku

# Peta Konsep



## A. Molalitas dan Fraksi Mol

### 1. Molalitas ( $m$ )

Molalitas menyatakan jumlah mol zat terlarut dalam 1000 gram pelarut. Molalitas dapat dinyatakan dengan rumus:

$$m = \text{mol} \times \frac{1000}{p} \quad \text{atau} \quad m = \frac{\text{massa}}{M_r} \times \frac{1000}{p}$$

Keterangan:  $m$  = molalitas larutan ( $m$ )  
 $p$  = massa pelarut (gram)  
 $M_r$  = massa molekul relatif

#### Contoh Soal 1.1

Sebanyak 9 gram glukosa  $C_6H_{12}O_6$  dilarutkan dalam 500 gram air ( $A_r$  C = 12, H = 1, O = 16). Berapakah molalitas larutan yang terjadi?

**Jawab:**

$$\begin{aligned} m &= \frac{\text{massa}}{M_r} \times \frac{1000}{p} \\ &= \frac{9 \text{ g}}{180 \text{ g mol}^{-1}} \times \frac{1000}{500 \text{ g}} \\ &= 0,1 \text{ m} \end{aligned}$$

#### Soal Kompetensi 1.1

1. Hitunglah molalitas larutan yang dibuat dengan melarutkan 4 gram NaOH dalam 200 gram air! ( $A_r$  Na = 23, O = 16, H = 1)
2. Berapakah molalitas larutan urea  $CO(NH_2)_2$  yang mengandung 10% massa urea? ( $A_r$  C = 12, O = 16, N = 14, H = 1)
3. Berapa persen kadar etanol  $C_2H_5OH$  dalam larutan etanol 0,5 molal? ( $A_r$  C = 12, H = 1, O = 16)
4. Berapa gram KOH ( $M_r = 56$ ) dan air ( $M_r = 18$ ) yang harus dicampur untuk membuat larutan KOH 2 molal sebanyak 200 gram?
5. Sebanyak 2 mL  $H_2SO_4$  98% yang massa jenisnya 1,8 g/mL dilarutkan dalam 1 liter air (massa jenis air 1 g/mL). Hitunglah molalitas larutan yang terjadi! ( $A_r$  H = 1, S = 32, O = 16)

## 2. Fraksi Mol (X)

Fraksi mol menyatakan perbandingan mol suatu zat dengan mol seluruh zat dalam larutan. Dalam campuran zat A dengan zat B, maka fraksi mol masing-masing zat dapat dinyatakan dengan:

$$x_A = \frac{\text{mol A}}{\text{mol A} + \text{mol B}} \quad \text{dan} \quad x_B = \frac{\text{mol B}}{\text{mol A} + \text{mol B}}$$

Jumlah fraksi mol seluruh zat dalam larutan adalah 1.

$$x_A + x_B = 1$$

### Contoh Soal 1.2

Sebanyak 27,6 gram etanol  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  dilarutkan dalam 54 gram air ( $A_r$ , C = 12, H = 1, O = 16). Hitunglah:

- fraksi mol etanol,
- fraksi mol air!

**Jawab:**

$$\text{mol C}_2\text{H}_5\text{OH} = \frac{\text{massa}}{M_r} = \frac{27,6 \text{ g}}{46 \text{ g mol}^{-1}} = 0,6 \text{ mol}$$

$$\text{mol H}_2\text{O} = \frac{\text{massa}}{M_r} = \frac{54 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} = 3 \text{ mol}$$

$$\text{a. } x_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = \frac{\text{mol C}_2\text{H}_5\text{OH}}{\text{mol C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{mol H}_2\text{O}} = \frac{0,6 \text{ mol}}{(0,6 + 3) \text{ mol}} = \frac{0,6 \text{ mol}}{3,6 \text{ mol}} = 0,167$$

$$\text{b. } x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\text{mol H}_2\text{O}}{\text{mol C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{mol H}_2\text{O}} = \frac{3 \text{ mol}}{(0,6 + 3) \text{ mol}} = \frac{3 \text{ mol}}{3,6 \text{ mol}} = 0,833$$

Perhatikan bahwa jumlah fraksi mol = 1

$$x_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} + x_{\text{H}_2\text{O}} = 0,167 + 0,833 = 1$$

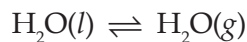
### Soal Kompetensi 1.2

- Hitunglah fraksimol urea  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  dalam larutan urea 20%! ( $A_r$ , C = 12, O = 16, N = 14, H = 1)
- Sebanyak 9 gram glukosa ( $M_r = 180$ ) dilarutkan dalam 90 gram air ( $M_r = 18$ ), hitunglah fraksi mol glukosa dalam larutan!

3. Bila fraksi mol urea dalam larutan adalah 0,2, berapa persen kadar urea dalam larutan tersebut?
4. Sebanyak 5,85 gram NaCl dilarutkan dalam 90 gram air. Bila seluruh NaCl dalam air terionisasi menjadi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ , hitunglah fraksi mol total ion-ion dalam larutan!
5. Sebanyak 200 mL asam sulfat pekat yang mengandung 49% massa  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan massa jenis 1,4 g/mL dilarutkan dalam 360 mL air (massa jenis 1 g/mL). Berapakah fraksi mol asam sulfat dalam larutan tersebut?

## B. Penurunan Tekanan Uap ( $\Delta P$ )

Bila kita memanaskan air (atau zat yang dapat menguap lainnya) dalam ketel yang tertutup, maka ketika air mendidih tutup ketel dapat terangkat, mengapa hal ini terjadi? Apa sebenarnya yang menekan tutup ketel tersebut, air atau uap airnya? Dalam ruang tertutup air akan menguap sampai ruangan tersebut jenuh, yang disertai dengan pengembunan sehingga terjadi kesetimbangan air dengan uap air.

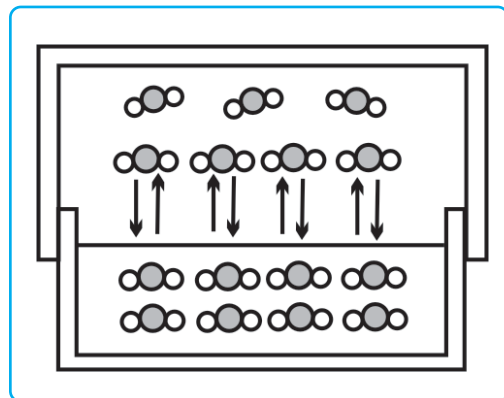


Perhatikan Gambar 1.1

Terjadinya uap air ini akan menimbulkan tekanan sehingga menekan ketel. Ketika air mendidih (suhu  $100^\circ\text{C}$ ) banyak air yang menguap sehingga tekanan yang ditimbulkan lebih besar hingga tutup ketel terangkat. Tekanan yang ditimbulkan oleh uap jenuh air ini disebut *tekanan uap jenuh air*.

Besarnya tekanan uap jenuh untuk setiap zat tidak sama, bergantung pada jenis zat dan suhu. Zat yang lebih sukar menguap, misalnya glukosa, garam, gliserol memiliki uap yang lebih kecil dibanding zat yang lebih mudah menguap, misalnya eter.

Bila suhu dinaikkan, energi kinetik molekul-molekul zat bertambah sehingga semakin banyak molekul-molekul yang berubah menjadi gas akibatnya tekanan uap semakin besar. Perhatikan tekanan uap jenuh air pada berbagai suhu pada Tabel 1.1.



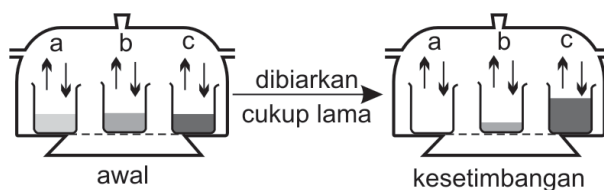
*Ilustrasi: Haryana*

**Gambar 1.1** Kesetimbangan uap jenuh air

Tabel 1.1 Tekanan Uap Jenuh Air pada Berbagai Suhu

Suhu (°C)	Tekanan Uap Jenuh Air (mmHg)
0	4,58
10	9,21
20	17,54
30	31,82
40	55,3
50	97,5
60	149,4
70	233,7
80	355,1
90	525,8
100	760,0

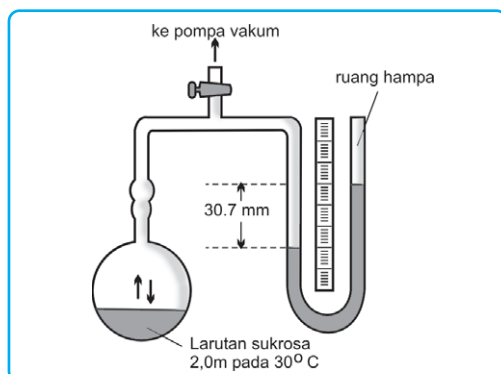
Apakah yang dapat Anda simpulkan dari tabel tersebut?



Ilustrasi : Haryana

Gambar 1.2 Tiga cairan – (a) air murni, (b) suatu larutan sukrosa encer dan (c) suatu larutan sukrosa pekat – ditaruh dalam suatu wadah tertutup.

Apa yang terjadi terhadap tekanan uap bila ke dalam air (pelarut) ditambahkan zat terlarut yang sukar menguap? Bila zat yang dilarutkan tidak



Ilustrasi : Haryana

Gambar 1.3 Penggunaan sebuah manometer merkuri untuk mengukur tekanan uap suatu larutan dalam air.

mudah menguap, maka yang menguap adalah pelarutnya, sehingga adanya zat terlarut menyebabkan partikel pelarut yang menguap menjadi berkurang akibatnya terjadi penurunan tekanan uap. Jadi, dengan adanya zat terlarut menyebabkan penurunan tekanan uap. Dengan kata lain tekanan uap larutan lebih rendah dibanding tekanan uap pelarut murninya. Penurunan tekanan uap yang terjadi merupakan selisih dari tekanan uap jenuh pelarut murni ( $P^\circ$ ) dengan tekanan uap larutan ( $P$ ).

$$\Delta P = P^\circ - P$$

Tekanan uap larutan ideal dapat dihitung berdasar *hukum Raoult* " Tiap komponen dalam suatu larutan melakukan tekanan yang sama dengan fraksi mol kali tekanan uap dari komponen (pelarut) murni".

$$P = x_t \times P^\circ$$

$$\text{dan } P = X_p \times P^\circ$$

$$\Delta P = P^\circ - P$$

$$= P^\circ - (X_p P^\circ)$$

$$= P^\circ - \{(1 - X_t)P^\circ\}$$

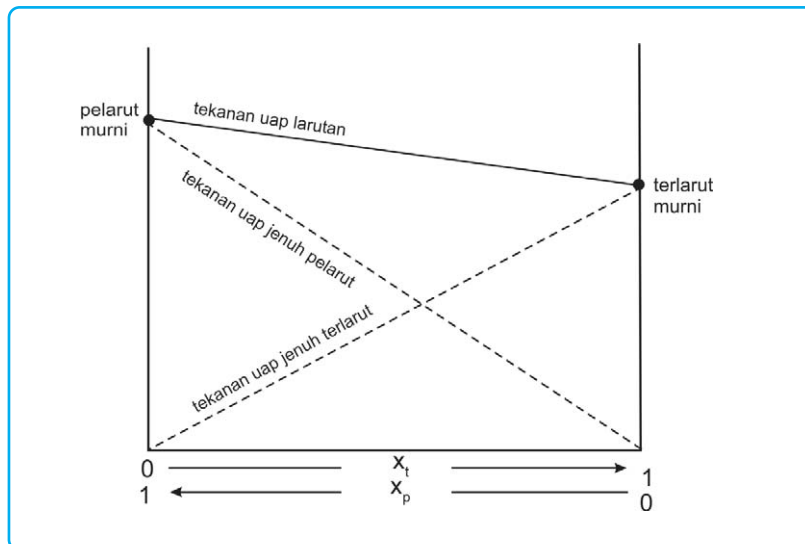
$$= P^\circ - \{P^\circ - X_t P^\circ\}, \text{ jadi}$$

$$\Delta P = X_t \times P^\circ$$

Keterangan :  $\Delta P$  = penurunan tekanan uap  
 $X_p$  = fraksi mol pelarut  
 $X_t$  = fraksi mol terlarut  
 $P^\circ$  = tekanan uap jenuh pelarut murni  
 $P$  = tekanan uap larutan

Dari rumus di atas apa yang dapat Anda simpulkan tentang hubungan penurunan tekanan uap dengan fraksi mol zat terlarut?

Hubungan tekanan uap jenuh larutan dengan tekanan uap jenuh komponen-komponen pada larutan ideal (larutan-larutan encer) dapat digambarkan sebagai diagram seperti pada Gambar 1.4 berikut.



Gambar 1.4. Diagram P - X larutan ideal

Ilustrasi : Haryana

### Contoh Soal 1.3

Sebanyak 648 gram sukrosa  $C_{12}H_{22}O_{11}$  dilarutkan dalam 1 kg air ( $A_r$  C = 12, H = 1, O = 16). Hitunglah:

- tekanan uap larutan ( $P$ );
- penurunan tekanan uap ( $\Delta P$ ), bila tekanan uap jenuh air adalah 31,82 mmHg!

**Jawab:**

$$\text{mol}_t = \frac{\text{massa}}{M_r} = \frac{684 \text{ g}}{342 \text{ g mol}^{-1}} = 2 \text{ mol}$$

$$\text{mol}_p = \frac{\text{massa}}{M_r} = \frac{1000 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} = 55,6 \text{ mol}$$

$$x_p = \frac{\text{mol}_p}{\text{mol}_p + \text{mol}_t} = \frac{55,6 \text{ mol}}{(55,6 + 2) \text{ mol}} = 0,965$$

a.	$P = x_p \cdot P^\circ$	b.	$\Delta P = P^\circ - P$
	$= 0,965 \cdot 31,82$		$= 31,82 - 30,7$
	$= 30,7 \text{ mmHg}$		$= 1,12 \text{ mmHg}$

### Soal Kompetensi 1.3

- Pada suhu tertentu tekanan uap jenuh air adalah 30 mmHg. Berapakah tekanan uap jenuh larutan urea 10% pada suhu tersebut? ( $M_r$  urea = 60)
- Tekanan uap air murni pada suhu 30°C adalah 31,82 mmHg. Hitunglah tekanan uap larutan glukosa 2 m dalam air pada suhu 30°C!
- Larutan yang mengandung 18% massa X dalam air pada suhu tertentu 743,68 mmHg. Bila tekanan uap jenuh air pada suhu tersebut adalah 760 mmHg, berapakah massa molekul relatif zat X tersebut?
- Sebanyak 100 gram sukrosa  $C_{12}H_{22}O_{11}$  dilarutkan dalam 500 gram air pada suhu 25°C ( $A_r$  C = 12, H = 1, O = 16). Bila tekanan uap jenuh air pada suhu 25°C adalah 23,76 mmHg, hitunglah:
  - penurunan tekanan uap larutan
  - tekanan uap larutan!
- Pada suhu tertentu tekanan uap jenuh air adalah 102 mmHg. Berapa massa urea ( $M_r = 60$ ) yang harus dilarutkan dalam 90 gram air agar tekanan uap larutannya 100 mmHg?



## C. Kenaikan Titik Didih ( $\Delta T_b$ ) dan Penurunan Titik Beku ( $\Delta T_f$ )

Pernahkah Anda mengukur suhu air mendidih dan air membeku? Bagaimana bila air yang dididihkan/dibekukan diberi zat terlarut, lebih rendah, sama, atau lebih tinggi titik didih dan titik bekunya dibanding titik didih dari titik beku air?

Untuk memperoleh jawaban, lakukan kegiatan berikut!



### Kegiatan Ilmiah 1.1

#### Kenaikan Titik Didih

##### Tujuan:

Mempelajari kenaikan titik didih beberapa larutan.

##### Alat dan Bahan:

- tabung reaksi
- penjepit tabung reaksi
- pemanas spiritus
- akuades/air
- gula pasir/glukosa
- termometer

##### Langkah Kerja:

1. Masukkan 5 mL air murni ke dalam tabung reaksi kemudian panaskan perlahan-lahan!
2. Catat suhu saat air mendidih (titik didih)!
3. Ulangi langkah 1 dan 2 dengan mengganti air dengan larutan (gula + air) 0,5 m kemudian 1 m!



##### Hasil Pengamatan:

No.	Larutan	Suhu Saat Mendidih (°C)
1.	Air murni	...
2.	Gula + air	...

##### Pertanyaan:

1. Bagaimana titik didih pelarut (air) dibanding titik didih larutan gula?
2. Bagaimana pengaruh molaritas gula terhadap:
  - a. titik didih,
  - b. kenaikan titik didih?



## Kegiatan Ilmiah 1.2

### Penurunan Titik Beku

#### Tujuan:

Mempelajari penurunan titik beku beberapa larutan.

#### Alat dan Bahan:

- termometer (skala 0,1 – 0,5)
- es batu
- tabung reaksi
- garam dapur kasar
- rak tabung reaksi
- air suling
- gelas kimia plastik
- larutan urea
- pengaduk kaca

#### Langkah Kerja:

1. Masukkan es dan garam dapur ke dalam gelas kimia sampai tiga per empat gelas (sebagai pendingin)!
2. Isilah tabung reaksi dengan air suling sampai 4 cm, kemudian masukkan tabung tersebut ke dalam campuran pendingin dan aduk campuran pendinginnya!
3. Masukkan pengaduk ke dalam tabung reaksi tadi dan gerakkan pengaduk turun naik sampai air dalam tabung membeku!
4. Keluarkan tabung dari campuran pendingin dan biarkan es dalam tabung mencair sebagian. Gantilah pengaduk dengan termometer dan aduklah dengan termometer turun naik, kemudian baca suhu campuran es dan air dalam tabung!
5. Ulangi langkah 1 - 4 dengan menggunakan larutan urea sebagai pengganti air suling dalam tabung!

#### Hasil Pengamatan:

No.	Larutan	Suhu Saat Membeku (°C)
1.	Air suling	....
2.	Urea	....

#### Pertanyaan:

1. Bagaimana pengaruh zat terlarut terhadap titik beku?
2. Bandingkan titik beku larutan dengan titik beku pelarutnya (air)!

Titik didih air yang sering disebutkan  $100^{\circ}\text{C}$  adalah titik didih normal yaitu titik didih pada tekanan 760 mmHg. Samakah titik didih air di daerah Anda dengan titik didih air di puncak gunung yang lebih tinggi dari daerah Anda? Mengapa demikian? Titik didih dan titik beku suatu zat cair

dipengaruhi oleh tekanan udara luar. Suatu zat cair mendidih pada saat tekanan uap jenuh cairan sama dengan tekanan udara luar. Di puncak gunung tekanan udara luar lebih rendah sehingga untuk menyamakan tekanan uap jenuh zat cair yang dididihkan lebih cepat tercapai, hal ini berarti titik didihnya lebih rendah.

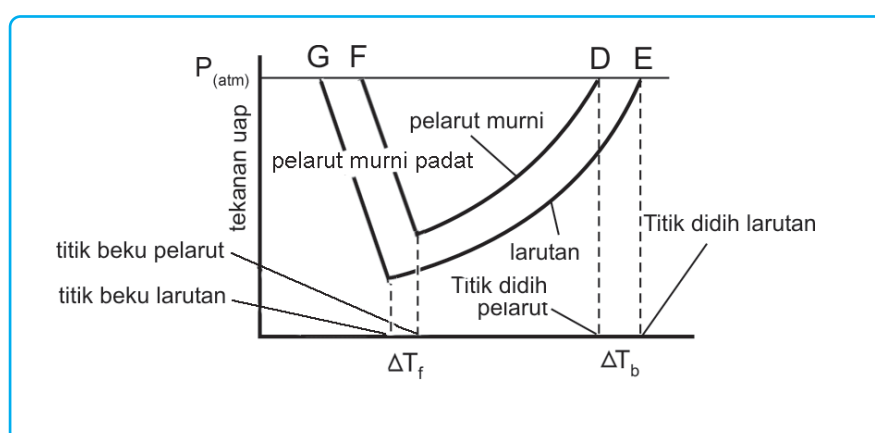
Demikian halnya pengaruh zat terlarut dalam zat cair (pelarut). Pada tekanan udara luar 760 mmHg, air mendidih pada suhu 100°C. Dengan adanya zat terlarut menyebabkan penurunan tekanan uap larutan, sehingga pada suhu 100°C larutan air belum mendidih karena tekanan uapnya belum mencapai 760 mmHg. Untuk mencapai tekanan uap 760 mmHg maka perlu dipanaskan lebih tinggi lagi akibatnya larutan mendidih pada suhu lebih dari 100°C. Ini berarti bahwa titik didih larutan lebih tinggi daripada titik didih pelarut murninya. Selisih antara titik didih larutan dengan titik didih pelarut murni disebut kenaikan titik didih ( $\Delta T_b$ ).

$$\Delta T_b = T_b \text{ larutan} - T_b \text{ pelarut}$$

Sebaliknya pada titik beku normal karena tekanan uap larutan juga lebih rendah daripada tekanan uap pelarut murni. Sehingga agar larutan membeku, harus didinginkan akibatnya titik beku larutan lebih rendah dari titik beku pelarut murni. Perubahan temperatur titik beku ini disebut penurunan titik beku larutan ( $\Delta T_f$ ).

$$\Delta T_f = T_f \text{ pelarut} - T_f \text{ larutan}$$

Jadi, pengaruh zat terlarut nonelektrolit yang tidak mudah menguap adalah menurunkan tekanan uap, menaikkan titik didih, dan menurunkan titik beku.



Gambar 1.5 Diagram P – T air dan suatu larutan berair.

Ilustrasi : Haryana

Pada larutan encer, kenaikan titik didih dan penurunan titik beku berbanding lurus dengan konsentrasi molal larutan.

$$\Delta T_b = m \times K_b \text{ dan } \Delta T_f = m \times K_f$$

Keterangan :  $\Delta T_b$  = kenaikan titik didih  
 $m$  = molalitas  
 $K_b$  = kenaikan titik didih molal pelarut  
 $\Delta T_f$  = penurunan titik beku  
 $K_f$  = penurunan titik beku molal pelarut

Harga  $K_b$  dan  $K_f$  untuk beberapa pelarut dicantumkan pada Tabel 1.2.

**Tabel 1.2 Tetapan Titik Didih dan Titik Beku Molal Beberapa Pelarut**

Pelarut	Titik beku (°C)	$K_p$ °C/m	Titik didih (°C)	$K_b$ °C/m
asam asetat	16.60	3.90	117.90	3.07
benzena	5.50	4.90	80.10	2.53
kamfor	179.80	39.70	207.42	5.61
etil eter			34.51	2.02
nitrobenzena	5.70	7.00	210.80	5.24
fenol	40.90	7.40	181.75	3.56
air	0.00	1.86	100.00	0.512

Dengan data tetapan titik didih dan titik beku molal kita dapat menentukan titik didih suatu larutan, konsentrasi larutan, dan massa molekul relatif.

#### Contoh Soal 1.4

Suatu larutan dibuat dengan cara melarutkan 3 gram urea  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  dalam 100 gram air. ( $K_b$  air = 0,52 °C/m,  $K_f$  air = 1,86 °C/m  $A_r$  C = 12, O = 16, N = 14, H = 1). Tentukan:

- titik didih larutan,
- titik beku larutan!

**Jawab:**

- Titik didih

$$\begin{aligned} \Delta T_b &= m \cdot K_b \\ &= \frac{\text{massa}}{M_r} \times \frac{1000}{p} \times K_b \end{aligned}$$

$$= \frac{3 \text{ g}}{60 \text{ gmol}^{-1}} \times \frac{1000}{100 \text{ g}} \times 0,52 \text{ }^{\circ}\text{Cm}^{-1}$$

$$= 0,26 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} T_b \text{ larutan} &= T_b \text{ pelarut} + \Delta T_b \\ &= 100 + 0,26 \\ &= 100,26 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

b. Titik beku

$$\begin{aligned} \Delta T_f &= m \cdot K_f \\ &= \frac{\text{massa}}{M_r} \times \frac{1000}{p} \times 1,86 \\ &= \frac{3 \text{ g}}{60 \text{ gmol}^{-1}} \times \frac{1000}{100 \text{ g}} \times 1,86 \text{ }^{\circ}\text{Cm}^{-1} \\ &= 0,93 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_f \text{ larutan} &= T_f \text{ pelarut} - \Delta T_f \\ &= 0 - 0,93 \\ &= -0,93 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

### Contoh Soal 1.5

Sebanyak 9 gram zat nonelektrolit dilarutkan dalam 250 gram air mendidih pada suhu 100,104 °C ( $K_b$  air = 0,52 °C/m). Berapakah massa molekul relatif zat tersebut?

**Jawab:**

$$\begin{aligned} \Delta T_b &= T_b \text{ larutan} - T_b \text{ pelarut} \\ &= 100,104 - 100 \\ &= 0,104 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_b &= m \times K_b \\ &= \frac{\text{massa}}{M_r} \times \frac{1000}{p} \cdot K_b \end{aligned}$$

$$0,104 = \frac{9 \text{ g}}{M_r} \times \frac{1000}{250 \text{ g}} \cdot 0,52 \text{ }^{\circ}\text{Cm}^{-1}$$

$$0,104 = \frac{9}{M_r} \times 4 \times 0,52$$

$$0,104 = \frac{18,7}{M_r}$$

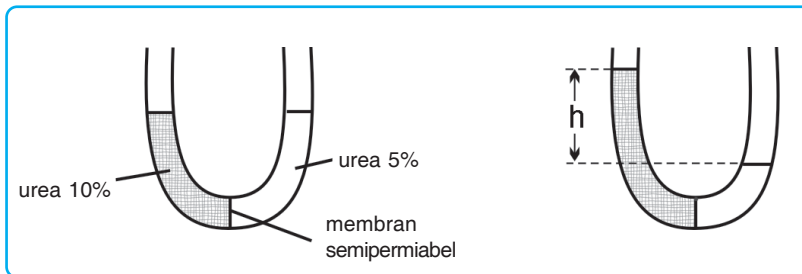
$$M_r = \frac{18,7}{0,104} = 180 \text{ gmol}^{-1}$$

### Soal Kompetensi 1.4

- Sebanyak 72 gram glukosa  $C_6H_{12}O_6$  dilarutkan dalam 2 kg air. Diketahui  $K_b$ , air =  $0,52\text{ }^\circ\text{C}/m$ .  $K_f$ , air =  $1,86\text{ }^\circ\text{C}/m$ . ( $A_r$  C = 12, H = 1, O = 16) Tentukan:
  - titik didih larutan,
  - titik beku larutan!
- Diketahui titik didih larutan urea 0,5 molal adalah  $100,26\text{ }^\circ\text{C}$ . Berapakah titik didih dari:
  - larutan urea 1 m,
  - larutan sukrosa 0,2 m?
- Sebanyak 6 gram zat nonelektrolit dilarutkan dalam 200 gram air ( $K_f = 1,86$ ) membeku pada suhu  $-0,93\text{ }^\circ\text{C}$ . Berapakah massa molekul relatif zat tersebut?
- Hitunglah titik beku suatu larutan yang mengandung 20 gram kloroform  $CHCl_3$  ( $M_r = 119$ ) dalam 500 gram benzena ( $K_f = 4,9\text{ }^\circ\text{C}/m$ ), bila titik beku benzena  $5,5\text{ }^\circ\text{C}$ !
- Suatu larutan mendidih pada suhu  $101,04\text{ }^\circ\text{C}$  ( $K_b$ , air =  $0,52\text{ }^\circ\text{C}/m$  dan  $K_f$ , air =  $1,86\text{ }^\circ\text{C}/m$ ). Hitunglah:
  - konsentrasi molal larutan,
  - titik beku larutan!

## D. Tekanan Osmotik ( $\pi$ )

Bila dua larutan yang konsentrasinya berbeda, yang satu pekat dan yang lainnya encer dipisahkan oleh membran semipermeabel, maka molekul-molekul pelarut akan mengalir dari larutan yang lebih encer ke larutan yang lebih pekat, sedangkan molekul zat terlarut tidak mengalir. Hal ini terjadi karena partikel pelarut lebih kecil daripada partikel zat terlarut sehingga partikel pelarut dapat menembus membran semipermeabel dan partikel zat terlarut tidak. Aliran suatu pelarut dari suatu larutan dengan konsentrasi lebih rendah ke larutan dengan konsentrasi tinggi melalui membran semipermeabel disebut *osmosis*.



*Ilustrasi : Haryana*

**Gambar 1.6** Proses tekanan osmosis pada larutan urea 10% dan 5%.

Peristiwa osmosis dapat dicegah dengan memberi tekanan pada permukaan larutan. Tekanan yang diperlukan untuk mencegah terjadinya osmosis ini disebut *tekanan osmotik*. Tekanan osmotik bergantung pada konsentrasi dan bukan pada jenis partikel zat terlarut. Menurut Van't Hoof, tekanan osmotik larutan encer dapat dihitung dengan rumus yang serupa dengan persamaan gas ideal.

$$\pi V = n RT$$

$$\pi = \frac{n RT}{V}$$

$$\pi = CRT$$

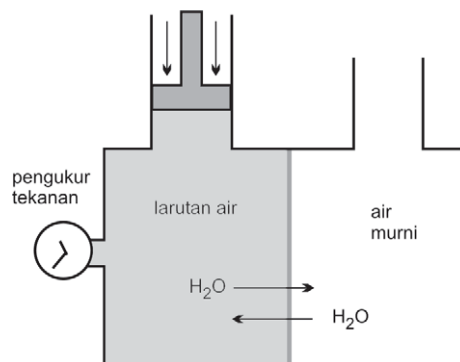
**Keterangan :**

$\pi$  = tekanan osmotik (atm)

$V$  = volume larutan (liter)

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

$T$  = suhu mutlak (K)



*Ilustrasi: Haryana*

**Gambar 1.7** Alat untuk mengukur tekanan osmosis.

### Contoh Soal 1.6

Sebanyak 3 gram urea ( $M_r = 60$ ) dilarutkan dalam air hingga volume larutan 500 mL. Hitunglah tekanan osmotik larutan pada suhu 27 °C!

**Jawab:**

$$\begin{aligned} \pi &= C \cdot R \cdot T \\ &= \frac{\text{massa}}{M_r \cdot V} \cdot R \cdot T \\ &= \frac{3 \text{ g}}{60 \text{ gmol}^{-1} \cdot 0,5 \text{ L}} \cdot 0,082 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 300 \text{ K} \\ &= 0,1 \cdot 0,082 \cdot 300 \text{ atm} \\ &= 2,46 \text{ atm} \end{aligned}$$

### Penerapan Tekanan Osmotik dan Osmosis

Selain menggunakan penurunan tekanan uap, kenaikan titik didih dan penurunan titik beku, pengukuran tekanan osmosis juga dapat digunakan untuk menentukan massa molekul relatif ( $M_r$ ) suatu senyawa. Untuk larutan yang sangat encer, pengukuran tekanan osmotik lebih akurat dibanding pengukuran titik didih atau titik beku sehingga penentuan massa molekul

relatif dengan mengukur tekanan osmotik akan lebih teliti. Peristiwa osmosis dapat dimanfaatkan untuk penyediaan cairan infus dan industri pengolahan air laut menjadi air tawar dengan osmosis balik.

### Contoh Soal 1.7

Sebanyak 17,1 gram suatu zat nonelektrolit dilarutkan dalam air hingga volume larutan 1 liter. Ternyata pada suhu 27 °C larutan yang terjadi memiliki tekanan osmotik sebesar 1,23 atm. Berapakah massa molekul relatif zat tersebut?

**Jawab:**

$$\pi = C \cdot R \cdot T$$

$$1,23 = M \cdot 0,082 \cdot 300$$

$$M = \frac{1,23}{0,28 \cdot 300}$$

$$= 0,05 \text{ M}$$

$$M = \frac{\text{massa}}{M_r \cdot V}$$

$$0,05 = \frac{17,1}{M_r \cdot 1}$$

$$M_r = \frac{17,1}{0,05}$$

$$M_r = 342$$

### Soal Kompetensi 1.5

1. Suatu larutan nonelektrolit pada suhu 25 °C memiliki tekanan osmotik sebesar 0,246 atm. Berapakah kemolaran larutan tersebut?
2. Sebanyak 10 gram zat nonelektrolit dilarutkan dalam air hingga volume larutan 500 mL pada suhu 25 °C. Ternyata larutan yang terjadi isotonic dengan larutan glukosa 0,04 mol/liter. Hitunglah massa molekul relatif zat tersebut!
3. Bila tekanan osmotik darah manusia pada suhu 37 °C adalah 7,7 atm, berapa gram glukosa  $C_6H_{12}O_6$  yang diperlukan untuk membuat 500 mL larutan yang isotonic dengan darah? ( $A_r$  C = 12, H = 1, O = 16)



4. Suatu larutan dibuat dengan melarutkan 9 gram glukosa  $C_6H_{12}O_6$  dalam air hingga volume 500 mL. Larutan yang lain dibuat dengan melarutkan 6 gram urea  $CO(NH_2)_2$  dalam air hingga volume 500 mL. Pada suhu yang sama apakah glukosa (I) isotonik, hipotonik, atau hipertonic dengan larutan urea (II)? ( $A_r$  C = 12, O = 16, N = 14, H = 1)
5. Sebanyak 100 mL larutan nonelektrolit memiliki tekanan osmotik 4,92 atm. Berapa mL air yang harus ditambahkan untuk memperoleh larutan dengan tekanan 1,23 atm?

## E. Sifat Koligatif Larutan Elektrolit

Berbeda dengan zat nonelektrolit, zat elektrolit dalam air akan terurai menjadi ion-ion sehingga dengan jumlah mol yang sama, zat elektrolit akan menghasilkan konsentrasi partikel yang lebih banyak dibandingkan zat nonelektrolit. Satu mol zat nonelektrolit dalam larutan menghasilkan  $6,02 \times 10^{23}$  partikel. Sedangkan satu mol zat elektrolit menghasilkan partikel yang lebih banyak, apalagi zat elektrolit kuat yang dalam air terionisasi seluruhnya. Satu mol NaCl bila terionisasi seluruhnya akan menghasilkan  $6,02 \times 10^{23}$  ion  $Cl^-$  sehingga jumlah partikel zat terlarut dua kali lebih banyak daripada satu mol zat nonelektrolit. Dengan demikian dengan konsentrasi larutan yang sama, larutan elektrolit memiliki sifat koligatif yang lebih besar daripada larutan nonelektrolit.

Untuk membandingkan sifat koligatif larutan elektrolit dengan non elektrolit, lakukan kegiatan berikut!



### Kegiatan Ilmiah 1.3

#### Kenaikan Titik Didih

##### Tujuan:

Mempelajari kenaikan titik didih beberapa pelarut.

##### Alat dan Bahan:

- |                          |               |
|--------------------------|---------------|
| - tabung reaksi          | - akuades/air |
| - penjepit tabung reaksi | - NaCl        |
| - pemanas spiritus       | - termometer  |

##### Langkah Kerja:

1. Masukkan 5 mL air murni ke dalam tabung reaksi kemudian panaskan perlahan-lahan!
2. Catat suhu saat akuades mendidih (titik didih)!
3. Ulangi langkah 1 dan 2 dengan mengganti akuades dengan larutan NaCl 0,5 m kemudian 1 m.

### Hasil Pengamatan:

No.	Larutan Elektrolit	Suhu Saat Mendidih (°C)
1.	Air murni	...
2.	NaCl 0,5 m	...
3.	NaCl 1 m	...

### Pertanyaan:

- Bagaimana pengaruh molalitas larutan terhadap titik didih larutan?
- Bandingkan titik didih air, larutan NaCl 0,5 m dengan larutan sukrosa pada percobaan yang lalu bila konsentrasinya sama?



## Kegiatan Ilmiah 1.4

### Penurunan Titik Beku

#### Tujuan:

Menyelidiki titik beku beberapa pelarut.

#### Alat dan Bahan:

- termometer (skala 0,1 – 0,5)
- es batu
- tabung reaksi
- garam dapur kasar
- rak tabung reaksi
- air suling
- gelas kimia plastik
- larutan NaCl (0,05 m, 0,1 m).
- pengaduk kaca

#### Langkah Kerja:

- Masukkan es dan garam dapur kasar ke dalam gelas kimia sampai tiga per empat gelas (sebagai campuran pendingin)!
- Isilah tabung reaksi dengan air suling sampai setinggi 4 cm kemudian masukkan tabung tersebut ke dalam campuran pendingin dan aduk campuran pendinginnya!
- Masukkan pengaduk ke dalam tabung reaksi tadi dan gerakkan turun naik sampai air dalam tabung membeku!
- Keluarkan tabung dari campuran pendingin dan biarkan es dalam tabung mencair sebagian. Gantilah pengaduk dengan termometer dan aduklah dengan termometer turun naik, kemudian baca suhu campuran es dan air dalam tabung (catat sebagai titik beku air)!

$$T_f \text{ air} = \dots \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f \text{ larutan NaCl } 0,05 \text{ m} = \dots \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f \text{ larutan NaCl } 0,1 \text{ m} = \dots \text{ } ^\circ\text{C}$$



Sifat koligatif  $\Delta T_b$  larutan NaCl 0,1 m 2 kali lebih besar dibanding sifat koligatif ( $\Delta T_b$ ) larutan urea 0,1 m. Perbandingan sifat koligatif larutan elektrolit yang terukur dengan sifat koligatif larutan nonelektrolit yang diharapkan pada konsentrasi yang sama disebut faktor *Van't Hoff*. (*i*).

Dengan demikian untuk larutan elektrolit berlaku rumus-rumus sifat koligatif sebagai berikut:

$$\Delta T_b = m \times K_b \times i$$

$$\Delta T_f = m \times K_f \times i$$

$$\pi = m \times R \times T \times i$$

dengan:

$$i = 1 + (n - 1)\alpha$$

$n$  = banyaknya ion

$\alpha$  = derajat ionisasi

untuk elektrolit kuat ( $\alpha = 1$ ), harga  $i = n$ .

### Contoh Soal 1.8

Berapakah titik didih larutan yang dibuat dengan melarutkan 5,58 gram NaCl dalam 1 kg air? ( $K_b$  air = 0,52,  $A_r$  Na = 23, Cl = 35,5)

**Jawab:**

$$\Delta T_b = m \times K_b \times i \text{ (NaCl, elektrolit kuat, } \alpha = 1)$$

$$= m \times K_b \times n$$

$$= \frac{\text{massa}}{Mr} \times \frac{1000}{1000} \times K_b \times n$$

$$= \frac{5,58 \text{ g}}{58,5 \text{ g mol}^{-1}} \times \frac{1000}{1000 \text{ g}} \times 0,52 \text{ } ^\circ\text{C m}^{-1} \times 2$$

$$= 0,104 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_b = 100 + 0,104 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 100,104 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### Contoh Soal 1.9

Sebanyak 1 gram  $\text{MgCl}_2$  dilarutkan dalam 500 gram air ternyata membeku pada suhu  $-0,115 \text{ } ^\circ\text{C}$  ( $K_f$  air = 1,86  $A_r$  Mg = 24, Cl = 35,5). Tentukan derajat ionisasi  $\text{MgCl}_2$ !

**Jawab:**

$$\Delta T_f = T_f \text{ air} - T_f \text{ larutan}$$

$$= 0 - (-0,115)$$

$$= 0,115 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_f = \frac{\text{massa}}{M_r} \times \frac{1000}{p} \times K_f \times i$$

$$0,115 = \frac{1 \text{ g}}{95 \text{ gmol}^{-1}} \times \frac{1000}{500 \text{ g}} \times 1,86 \text{ }^\circ\text{Cm}^{-1} \times i$$

$$0,115 = 0,022 \times 1,86 \times i$$

$$i = \frac{0,115}{0,022 \times 1,86}$$

$$i = 2,8$$

$$i = 1 + (n - 1)\alpha$$

$$2,8 = 1 + (3 - 1)\alpha$$

$$2,8 = 1 + 2\alpha$$

$$2,8 - 1 = 2\alpha$$

$$1,8 = 2\alpha$$

$$\alpha = \alpha$$

$$= 0,9$$

### Contoh Soal 1.10

Sebanyak 24 gram zat nonelektrolit dilarutkan dalam air hingga volume larutan 2 liter dan ternyata larutan ini isotonis dengan larutan NaOH 0,1 M. Berapakah massa molekul relatif zat tersebut?

**Jawab:**

Isotonis berarti memiliki tekanan osmotik yang sama.

$$\pi \text{ NaOH} = \pi \text{ zat}$$

$$CRTi = C \cdot R \cdot T$$

$$0,1 \times R \times T \times 2 = C \cdot R \cdot T$$

$$0,2 = C$$

$$C = \frac{\text{massa}}{M_r \cdot V}$$

$$0,2 \text{ mol L}^{-1} = \frac{24 \text{ g}}{M_r \times 2 \text{ L}}$$

$$M_r = \frac{24 \text{ g}}{0,4 \text{ mol}}$$

$$= 60 \text{ gmol}^{-1}$$

### Soal Kompetensi 1.6

1. Tekanan uap air pada suhu ruangan adalah 30 mmHg. Tentukan uap larutan NaOH 0,2 mol ( $A_r$  Na = 23, O = 16, H = 1) pada suhu tersebut!
2. Berapakah titik didih 250 mL larutan yang mengandung 5,55 gram  $\text{CaCl}_2$ ? ( $A_r$  Ca = 40, Cl = 35,5,  $K_b$  air = 0,52)
3. Sebanyak 3,22 gram asam klorit ( $\text{HClO}_2$ ) dilarutkan dalam 47 gram air membeku pada suhu 271 °K.
4. Agar 500 gram air tidak membeku pada suhu -5,4 °C ( $K_f$  air = 1,8) berapa massa NaCl minimal yang harus ditambahkan ke dalam air tersebut ( $A_r$  Na = 23, Cl = 35,5)?
5. Diketahui tetapan gas ideal  $R = 0,082 \text{ L atm/mol}$  dan  $A_r$  Na = 23, Cl = 35,5. Bila 1,17 gram NaCl dilarutkan dalam air sampai volumenya 500 mL, tentukan besarnya tekanan osmotik larutan tersebut pada suhu 27 °C!

### Kolom Diskusi

Antara zat terlarut dengan pelarut dalam suatu larutan terjadi gaya tarik menarik. Gaya tarik menarik ini dapat berupa gaya tarik menarik antara ion-ion dengan dipol molekul-molekul pelarut polar, antara dipol dengan dipol dan gaya dispersi.

Berdasarkan gaya tarik menarik antara pelarut dengan zat terlarut, larutan digolongkan ke dalam larutan *ideal* dan larutan *nonideal*. Diskusikan, apakah yang dimaksud larutan ideal dan nonideal. Larutan manakah yang mengikuti hukum Raoult dan manakah yang memberikan penyimpangan (deviasi) terhadap hukum Raoult?

### Tokoh

#### Jacobus Henricus Van't Hoff

Van Hoff menemukan hukum dinamika kimia dan tekanan osmotik dalam larutan. Dia memenangkan hadiah Nobel pada tahun 1901. Menurut Van't Hoff, tekanan osmotik larutan-larutan encer dapat dihitung dengan rumus yang serupa dengan persamaan gas ideal, yaitu

$$\pi V = n R T$$



## Info Kimia

### Desalinasi Air Laut

Beberapa metode desalinasi air laut diteliti dan dikembangkan untuk memperoleh air tawar dari air laut yang asin karena mengandung garam. Membuang garam-garam yang terlarut dari dalam air disebut *desalinasi*. Dewasa ini desalinasi merupakan salah satu masalah yang mendesak untuk mendapat perhatian.

Pertambahan penduduk, industri dan irigasi harus diimbangi tersedianya air tawar yang cukup. Desalinasi dapat dilakukan dengan penyulingan, pembekuan, osmosis balik, elektrodialisis, dan pertukaran ion. Metode desalinasi osmosis balik menjadi harapan sebagai metode yang ekonomis.

Dalam proses ini, garam dipisahkan dengan tekanan pada membran semipermeabel yang memisahkan sumber air (asin) dan produk air tawar. Dewasa ini osmosis balik telah diterapkan untuk menghilangkan garam dari air payau dan menjadi harapan untuk desalinasi skala besar terhadap air payau maupun air laut.



## Rangkuman

1. Sifat koligatif larutan terdiri dari penurunan tekanan uap ( $\Delta P$ ), kenaikan titik didih ( $\Delta T_b$ ), penurunan titik beku ( $\Delta T_f$ ), dan tekanan osmosis ( $\pi$ ).
2. Adanya zat terlarut dalam larutan mengakibatkan terjadinya penurunan tekanan uap, kenaikan titik didih, dan penurunan titik beku larutan dibanding pelarutnya.
3. Besarnya sifat koligatif larutan dirumuskan dengan:

$$\begin{aligned}\Delta P &= X_t \times P^\circ & \Delta T_f &= m \times K_f \\ \Delta T_b &= m \times K_b & \pi &= C R T\end{aligned}$$

4. Larutan elektrolit mempunyai sifat koligatif yang lebih besar dibanding sifat koligatif larutan nonelektrolit dengan konsentrasi yang sama.
5. Perbandingan sifat koligatif larutan elektrolit dengan sifat koligatif larutan nonelektrolit dengan konsentrasi yang sama disebut faktor *Van't Hoof* ( $i$ ).

$$i = 1 + (n - 1) \alpha$$

6. Sifat koligatif larutan elektrolit dirumuskan:

$$\Delta T_b = m \times K_b \times i$$

$$\Delta T_f = m \times K_f \times i$$

$$\pi = CRTi$$

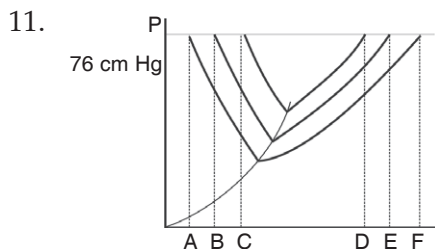
## Pelatihan

**A. Berilah tanda silang (x) huruf a, b, c, d atau e pada jawaban yang paling benar. Kerjakan di buku tugas Anda!**

- Suatu larutan tersusun dari 2 mol urea dalam 3 mol air, maka fraksi mol urea dalam larutan tersebut adalah ....
  - $\frac{2}{3}$
  - $\frac{3}{2}$
  - $\frac{2}{5}$
  - $\frac{3}{5}$
  - 1
- Pengertian yang tepat tentang kemolaran adalah banyaknya zat terlarut tiap ....
  - liter larutan
  - liter pelarut
  - 1.000 gram larutan
  - 1.000 gram pelarut
  - 1.000 gram air
- Semua sifat berikut tergolong sifat koligatif larutan, *kecuali* ....
  - penurunan tekanan uap
  - kenaikan titik didih
  - penurunan titik beku
  - tekanan osmosis
  - kepekatan larutan
- Jika tekanan uap pelarut murni adalah  $P^\circ$ , tekanan uap larutan adalah  $P$ , penurunan tekanan uap larutan  $\Delta P$ , dan fraksi mol pelarut  $X_p$ , serta fraksi mol terlarut  $X_t$ , maka hubungan yang benar adalah ....
  - $P = X_p \cdot P^\circ$
  - $P = X_t \cdot P^\circ$
  - $\Delta P = X_p \cdot P^\circ$
  - $\Delta P = X_t \cdot P^\circ$
  - $\Delta P = (X_p - X_t)P^\circ$



5. Sebanyak 100 gram sukrosa ( $M_r = 342$ ) dilarutkan dalam 500 gram air pada suhu  $25^\circ\text{C}$  mempunyai tekanan uap ... (tekanan uap air jenuh =  $23,76\text{ mmHg}$ ).
  - A.  $0,247\text{ mmHg}$
  - B.  $23,513\text{ mmHg}$
  - C.  $23,76\text{ mmHg}$
  - D.  $24\text{ mmHg}$
  - E.  $25\text{ mmHg}$
6. Sebanyak 20 gram senyawa berikut dalam 100 gram air yang mempunyai tekanan uap terbesar adalah ...
  - A. metanol ( $M_r = 32$ )
  - B. etanol ( $M_r = 46$ )
  - C. urea ( $M_r = 60$ )
  - D. glukosa ( $M_r = 180$ )
  - E. sukrosa ( $M_r = 342$ )
7. Sebanyak 450 gram glukosa ( $M_r = 180$ ) dilarutkan dalam 2 kg air ( $K_b = 0,52$ ) akan mendidih pada suhu ...  $^\circ\text{C}$ .
  - A.  $0,65$
  - B.  $100$
  - C.  $100,325$
  - D.  $100,65$
  - E.  $100,75$
8.  $35,5$  gram belerang kristal ( $M_r = 256$ ) dilarutkan dalam 100 gram karbon disulfida ( $T_b = 46,23^\circ\text{C}$ ,  $K_b = 2,35$ ) mempunyai titik didih ...  $^\circ\text{C}$ .
  - A.  $100$
  - B.  $75,25$
  - C.  $49,48$
  - D.  $46,23$
  - E.  $3,25$
9. Suatu larutan elektrolit kuat dengan konsentrasi  $0,25\text{ m}$  membeku pada suhu  $-0,93^\circ\text{C}$  ( $K_f\text{ air} = 1,86$ ). Jumlah ion yang dimiliki elektrolit tersebut adalah ....
  - A. 1
  - B. 2
  - C. 3
  - D. 4
  - E. 5
10. Sebanyak 4 gram zat nonelektrolit dilarutkan dalam 100 gram air ternyata mendidih pada suhu  $100,347^\circ\text{C}$ , maka massa molar zat tersebut adalah ....
  - A. 30
  - B. 60
  - C. 90
  - D. 120
  - E. 180



Perhatikan diagram P-T dari larutan urea  $0,2\text{ m}$ , larutan  $\text{NaCl}$   $0,2\text{ m}$  dan air di samping!

- Titik beku dan titik didih larutan urea  $0,2\text{ m}$  ditunjukkan oleh titik ....
- A. A dan B
  - B. A dan F
  - C. B dan E
  - D. E dan B
  - E. F dan A

