

Sifat Koligatif Larutan

A. PENDAHULUAN

- Sifat koligatif larutan** adalah sifat larutan yang tidak bergantung kepada jenis zat, tetapi hanya bergantung pada konsentrasi larutan.
- Sifat koligatif** terdiri dari **penurunan** tekanan uap jenuh (ΔP), **kenaikan** titik didih larutan (ΔT_b), **penurunan** titik beku larutan (ΔT_f), dan **tekanan** osmotik larutan (π).

B. KONSENTRASI LARUTAN

- Konsentrasi larutan** adalah besaran yang menyatakan jumlah zat terlarut.
- Konsentrasi larutan** dapat dinyatakan dalam **molaritas** (M), **molalitas** (m), **fraksi mol** (X) dan **kadar** (%).
- Molaritas (M)** adalah jumlah mol zat terlarut dalam 1 liter larutannya.

$$M = \frac{n}{V}$$

M = molaritas (M)
n = jumlah mol terlarut (mol)
V = volume pelarut (L)

- Molaritas larutan** juga dapat diketahui dari **kadar zat terlarut**, dapat dirumuskan:

$$M = \frac{\rho \times K \times 10}{m_m}$$

ρ = massa jenis larutan (kg/L)
K = persen kadar zat terlarut
 m_m = massa molar/Ar/Mr (kg)

- Kemolaran** larutan dapat **diubah** dengan **ditambahkan** zat terlarut atau ditambahkan pelarut, dan berlaku **rumus pengenceran**:

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

Contoh:

Suatu larutan HNO_3 berkadar 94,5% dan bermassa jenis 1,25 gr/mL. Hitunglah:

a. **Kemolaran** larutan

b. **Jumlah air** yang harus ditambah ke dalam 100 mL HNO_3 agar M-nya menjadi 3 M

Jawab:

$$a. \quad M = \frac{1,25 \times 94,5 \times 10}{63} = 18,75 \text{ M}$$

$$b. \quad 100 \cdot 18,75 = V_2 \cdot 3 \quad V_2 = 625 \text{ mL}$$

$$V_{\text{air}} = V_2 - V_1 \quad V_{\text{air}} = 525 \text{ mL}$$

Contoh:

4,9 gr H_2SO_4 dilarutkan dalam 2 L air, tentukan:

- Molaritas mula-mula
- Kemolaran jika 100 mL larutan ini ditambah 400 mL air
- Kemolaran jika larutan a dicampur larutan b sampai 4 L

Jawab:

$$a. \quad n = 4,9 : 98 = 0,05 \text{ mol}$$

$$M = 0,05 : 2 = 0,025 \text{ M}$$

$$b. \quad 100 \cdot 0,025 = 500 \cdot M_2 \quad M_2 = 0,005 \text{ M}$$

$$c. \quad M_{\text{camp}} = \frac{M_1 \cdot V_1 + M_2 \cdot V_2}{V_{\text{tot}}} = \frac{2 \cdot 0,025 + 0,5 \cdot 0,005}{4}$$

$$M_{\text{camp}} = 0,013125 \text{ M}$$

- Molalitas (m)** adalah jumlah mol zat terlarut dalam 1 kg pelarutnya.

$$m = \frac{n}{p}$$

m = molalitas (m)
n = jumlah mol terlarut (mol)
p = massa pelarut (kg)

Contoh:

4 gr NaOH dilarutkan dalam 400 gr air, tentukan molalitas larutan tersebut.

Jawab:

$$n = 4 : 40 = 0,1 \text{ mol}$$

$$m = 0,1 : 0,4 = 0,25 \text{ m}$$

- Fraksi mol (X)** adalah perbandingan jumlah mol zat X dengan total mol yang ada dalam larutan.

$$X_t = \frac{n_t}{n_t + n_p}$$

$$X_p = \frac{n_p}{n_t + n_p}$$

X_t = fraksi mol terlarut

X_p = fraksi mol pelarut

- Hubungan fraksi mol** terlarut dengan pelarut:

$$X_t + X_p = 1$$

Contoh:

Sebanyak 7,1 gr Na_2SO_4 ($M_r = 142$) dimasukkan ke dalam 36 gr air. Hitunglah fraksi mol Na_2SO_4 , air, Na^+ dan SO_4^{2-} .

Jawab:

$$n \text{ Na}_2\text{SO}_4 = 7,1 : 142 = 0,05 \text{ mol}$$

$$n \text{ H}_2\text{O} = 36 : 18 = 2 \text{ mol}$$

$$n \text{ Na}^+ = 0,1 \text{ mol} \quad n \text{ SO}_4^{2-} = 0,05 \text{ mol}$$

$$a. \quad X \text{ Na}_2\text{SO}_4 = \frac{0,05}{0,05 + 2} \quad X \text{ Na}_2\text{SO}_4 = 0,024$$

$$b. \quad X \text{ H}_2\text{O} = 1 - 0,024 \quad X \text{ H}_2\text{O} = 0,976$$

$$c. \quad X \text{ Na}^+ = \frac{n \text{ Na}^+}{n \text{ Na}^+ + n \text{ SO}_4^{2-} + n \text{ Na}_2\text{SO}_4}$$

$$X \text{ Na}^+ = \frac{0,1}{0,1 + 0,05 + 0,05} = 0,5$$

$$d. \quad X \text{ SO}_4^{2-} = \frac{n \text{ SO}_4^{2-}}{n \text{ Na}^+ + n \text{ SO}_4^{2-} + n \text{ Na}_2\text{SO}_4}$$

$$X \text{ SO}_4^{2-} = \frac{0,05}{0,1 + 0,05 + 0,05} = 0,25$$

Kadar zat terlarut (%) dapat berupa:

1) **Kadar terlarut massa (%m/m)**

$$\%m/m = \frac{m_t}{m_t + m_p} \quad \begin{array}{l} m_t = \text{massa terlarut} \\ m_p = \text{massa pelarut} \end{array}$$

2) **Kadar terlarut volume (%V/V)**

$$\%V/V = \frac{V_t}{V_t + V_p} \quad \begin{array}{l} V_t = \text{volume terlarut} \\ V_p = \text{volume pelarut} \end{array}$$

3) **Kadar terlarut massa-volume (%m/V)**

$$\%m/V = \frac{m_t}{V_t + V_p}$$

4) **Kadar terlarut volume-massa (%V/m)**

Adalah presentase volume terlarut dari massa total larutan.

$$\%V/m = \frac{V_t}{m_t + m_p}$$

Contoh:

Sebanyak 100 mL C_2H_6O ($\rho = 0,8$ gr/mL) ditambahkan ke 400 mL air. Jika ρ larutan = 0,9 gr/mL, tentukan 4 macam kadar zat terlarutnya!

Jawab:

V etanol = 100 mL

m etanol = $0,8 \times 100 = 80$ gr

V larutan etanol = 500 mL

m larutan etanol = $0,9 \times 500 = 450$ gr

a. $\%m/m = \frac{80}{450} \times 100\% = 17,7\%$

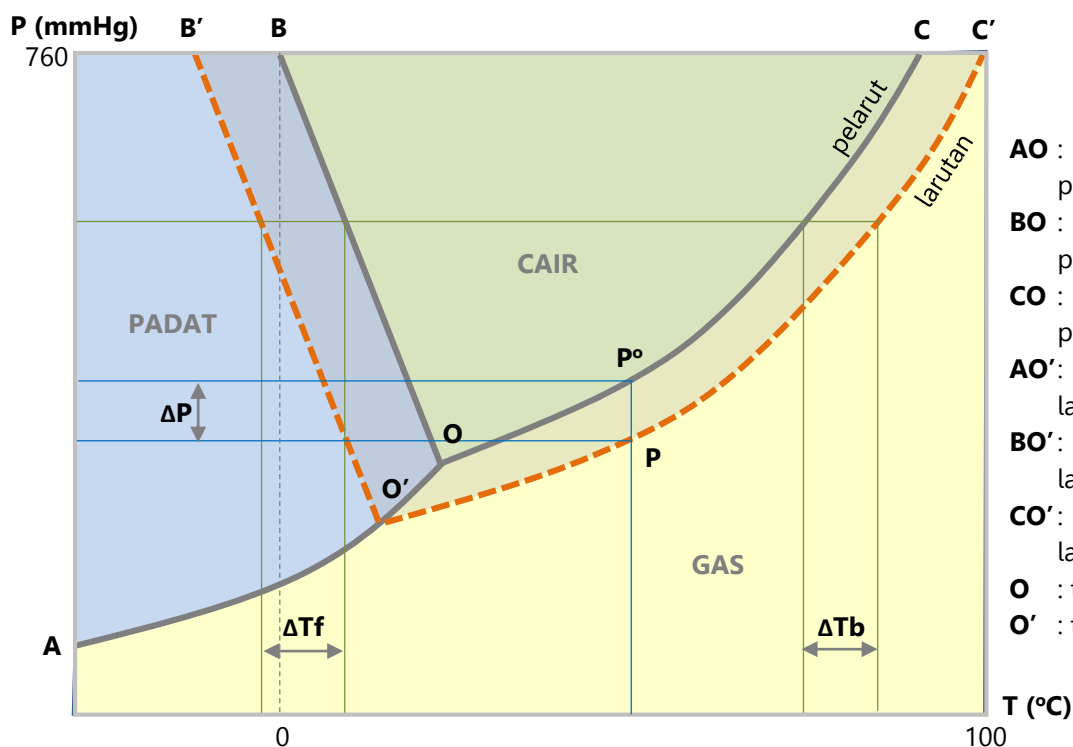
b. $\%V/V = \frac{100}{500} \times 100\% = 20\%$

c. $\%m/V = \frac{80}{500} \times 100\% = 16\%$

d. $\%V/m = \frac{100}{450} \times 100\% = 22,2\%$

C. DIAGRAM FASE (P-T)

Diagram fase (P-T) menunjukkan sifat koligatif larutan berupa penurunan tekanan uap, kenaikan titik didih, dan penurunan titik beku.



D. PENURUNAN TEKANAN UAP

Penurunan tekanan uap (ΔP) adalah penurunan tekanan uap pelarut yang ditimbulkan oleh zat terlarut, pada suhu konstan.

Tekanan uap larutan adalah tekanan yang ditimbulkan uap jenuh larutan.

Uap jenuh terbentuk dalam suatu ruangan jika ruangan dipenuhi uap air sampai terjadi kesetimbangan antara air dengan uap air (laju penguapan = laju pengembunan).

Semakin besar tekanan uap, semakin mudah suatu larutan menguap membentuk uap jenuh.

Tekanan uap larutan didasarkan atas tekanan uap pelarut, yang dipengaruhi:

- 1) **Konsentrasi zat terlarut** (berbanding terbalik)
- 2) **Gaya tarik-menarik antar-partikel** (berbanding terbalik)
- 3) **Suhu dan energi kinetik molekul** (berbanding lurus)

- 🔪 **Hukum Raoult** menjelaskan bahwa fraksi mol pelarut mempengaruhi **tekanan uap larutan**.

$$P_{\text{lar}} = X_p \times P^\circ$$

P_{lar} = tekanan uap larutan (mmHg atau atm)

X_p = fraksi mol pelarut

P° = tekanan uap pelarut murni (mmHg atau atm)

- 🔪 **Penurunan tekanan uap** dapat dirumuskan:

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

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

ΔP = penurunan tekanan uap (mmHg atau atm)

X_t = fraksi mol terlarut

Contoh:

Diketahui X etanol adalah 0,25. Jika pada suhu tersebut tekanan uap air adalah 80 mmHg, tentukan P dan ΔP larutan.

Jawab:

$$X_{\text{etanol}} = 0,25 \quad X_{\text{pelarut}} = 0,75$$

$$P = 0,75 \times 80 = 60 \text{ mmHg}$$

$$\Delta P = 80 - 60 = 20 \text{ mmHg}$$

E. KENAIKAN TITIK DIDIH DAN PENURUNAN TITIK BEKU

- 🔪 **Titik didih** adalah titik dimana air mendidih, sedangkan **titik beku** adalah titik dimana air mulai membeku.

- 🔪 **Titik didih** terjadi pada saat tekanan uap larutan sama dengan tekanan udara luar.

- 🔪 **Semakin rendah** tekanan udara luar, maka semakin rendah titik didih, sehingga air lebih cepat mendidih di tempat tinggi.

- 🔪 **Perbedaan menguap dan mendidih:**

Menguap	Mendidih
perubahan wujud air dari cair menjadi uap	naik dan pecahnya uap air ke permukaan air
terjadi di seluruh bagian air	terjadi di permukaan air
terjadi pada suhu berapapun	terjadi pada titik didih

- 🔪 **Air** memiliki titik didih normal 100°C, karena pada suhu tersebut tekanan uap air sama dengan 760 mmHg atau 1 atm (tekanan udara di permukaan laut).

- 🔪 **Titik beku** terjadi pada saat tekanan uap larutan sama dengan tekanan uap padat.

- 🔪 **Titik beku** tidak terlalu dipengaruhi oleh tekanan udara luar.

- 🔪 **Air** memiliki titik beku normal 0°C, karena pada suhu tersebut tekanan uap air sama dengan tekanan uap es.

- 🔪 **Kenaikan titik didih (ΔT_b)** adalah selisih titik didih larutan dengan pelarutnya pada P konstan.

$$\Delta T_b = T_{b_l} - T_{b_p}$$

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

ΔT_b = kenaikan titik didih (°C)

T_{b_l} = titik didih larutan (°C)

T_{b_p} = titik didih pelarut (°C)

K_b = tetapan kenaikan titik didih molal (°C/m)

m = molalitas larutan (m)

- 🔪 **Penurunan titik beku (ΔT_f)** adalah selisih titik didih pelarut dengan larutannya pada P konstan, dapat dirumuskan:

$$\Delta T_f = T_{f_p} - T_{f_l}$$

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

ΔT_f = penurunan titik beku (°C)

T_{f_l} = titik beku larutan (°C)

T_{f_p} = titik beku pelarut (°C)

K_f = tetapan penurunan titik beku molal (°C/m)

m = molalitas larutan (m)

Contoh:

Suatu larutan non-elektrolit mendidih pada suhu 100,2°C. Tentukan titik beku larutan, jika K_f air = 1,8°C/m, dan K_b air = 0,5°C/m.

Jawab:

$$\Delta T_b = 100,2 - 100 = 0,2^\circ\text{C}$$

$$0,2 = 0,5 \times m \quad m = 0,4 \text{ molal}$$

$$\Delta T_f = 1,8 \times 0,4 = 0,72^\circ\text{C}$$

$$T_f = 0 - 0,72 = -0,72^\circ\text{C}$$

Contoh:

Jika CH_3COOH mendidih pada 80,2°C, tentukan titik didih 2,56 gr naftalena ($M_r = 128$) dalam 400 gram asam cuka. (K_b cuka = 2,54°C/m)

Jawab:

$$n_{\text{naftalena}} = 2,56 : 128 = 0,02 \text{ mol}$$

$$m = 0,02 : 0,4 = 0,05 \text{ molal}$$

$$\Delta T_b = 2,54 \times 0,05 = 0,127^\circ\text{C}$$

$$T_b = 80,2 + 0,127 = 80,327^\circ\text{C}$$

F. TEKanan OSMOTIK LARUTAN

- 🔪 **Osmosis** adalah perpindahan air dari pelarut murni (hipotonik) ke larutannya (hipertonik) melalui membran semipermeabel.

- 🔪 **Osmosis** menghasilkan dua buah sistem yang sama konsentrasi (isotonik).

- 🔪 **Tekanan osmotik** adalah tekanan hidrostatik yang mempertahankan kesetimbangan osmotik larutan dengan pelarut murninya agar osmosis terhenti.

- 🔪 **Tekanan osmotik larutan** dapat dirumuskan:

$$\pi \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\pi = M \cdot R \cdot T$$

Contoh:

Tekanan osmotik darah manusia pada 36°C adalah 7,725 atm. Berapa gram glukosa ($M_r = 180$) diperlukan untuk membuat 820 mL larutan glukosa yang isotonik dengan darah?

Jawab:

$\pi_{\text{darah}} = \pi_{\text{glukosa}}$

$$n = \frac{7,725 \times 0,82}{0,082 \times 309} = 0,25 \text{ mol}$$

$$m_{\text{glukosa}} = 0,25 \times 180 = \underline{45 \text{ gram}}$$

Osmosis balik adalah perpindahan pelarut dalam larutan ke pelarut murninya yang dibatasi membran semipermeabel.

Osmosis balik terjadi jika pada permukaan larutan diberi tekanan yang melebihi tekanan osmotik.

G. FAKTOR VAN'T HOFF

Faktor van't Hoff (i) adalah nilai yang mempengaruhi konsentrasi larutan pada perhitungan sifat koligatif larutan. Faktor van't Hoff terdapat pada larutan elektrolit.

Nilai faktor van't Hoff:

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

n = jumlah ion
 α = derajat ionisasi

Faktor van't Hoff mempengaruhi jumlah mol zat terlarut dalam perhitungan sifat koligatif.

Rumus sifat koligatif untuk larutan elektrolit tunggal:

Penurunan tekanan uap

$$P_{\text{lar}} = \frac{n_p}{n_p + n_t \times i} \times P^\circ$$

$$\Delta P = \frac{n_t \times i}{n_p + n_t \times i} \times P^\circ$$

Kenaikan titik didih dan penurunan titik beku

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

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

Tekanan osmotik

$$\pi = M \cdot R \cdot T \cdot i$$

Contoh:

21 gram suatu elektrolit biner yang berada dalam 300 gr air ternyata mendidih pada suhu 100,18°C. Jika elektrolit ini terion 80% (K_b air = 0,5°C/m, K_f air = 1,8°C/m), tentukan:

- M_r elektrolit
- Titik beku larutan
- Tekanan osmotik larutan pada suhu 127°C dan massa jenis larutan 0,642 gr/mL
- Tekanan uap jika pada suhu 127°C tekanan uap air adalah 80 mmHg

Jawab:

$$i = 1 + (2 - 1) \cdot 0,8 = 1,8$$

$$a. \Delta T_b = 100,18 - 100 = 0,18^\circ\text{C}$$

$$0,18 = m \times 0,5 \times 1,8$$

$$m = 0,2 \text{ molal} \quad n = 0,2 \times 0,3 = 0,6 \text{ mol}$$

$$M_r = 21 : 0,6 = \underline{350 \text{ gr/mol}}$$

$$b. \Delta T_f = 0,2 \times 1,8 \times 1,8 = 0,648^\circ\text{C}$$

$$T_f = 0 - 0,648 = \underline{-0,648^\circ\text{C}}$$

$$c. m_{\text{larutan}} = 300 + 21 = 321 \text{ gr}$$

$$V_{\text{larutan}} = 321 : 0,642 = 500 \text{ mL}$$

$$n_{\text{terlarut}} = 21 : 210 = 0,1 \text{ mol}$$

$$\pi = \frac{0,1 \times 0,082 \times 400}{0,5} = \underline{6,56 \text{ atm}}$$

$$d. n_{\text{pel}} = 300 : 18 = 16,6 \text{ mol}$$

$$n_{\text{ter}} = 0,1 \text{ mol}$$

$$x_{\text{pel}} = \frac{16,6}{16,6 + (0,1 \times 1,8)} = 0,98$$

$$P = 0,98 \times 80 = \underline{78,4 \text{ mmHg}}$$

Contoh:

Sebanyak 1,8 gram $M(\text{OH})_2$ dilarutkan dalam 100 mL air, dan mendidih pada 100,2°C. Jika basa itu mengion 80%, hitung A_r logam pembentuk basa.

Jawab:

$$i = 1 + (3 - 1) \cdot 0,8 = 1 + 1,6 = 2,6$$

$$0,2 = 0,52 \times m \times 2,6$$

$$m = 0,15 \text{ m} \quad n = 0,15 \times 0,1 = 0,015 \text{ mol}$$

$$M_r M(\text{OH})_2 = 1,8 : 0,015 = 120 \text{ gr/mol}$$

$$A_r M = 120 - (16 \times 2 + 1 \times 2) = \underline{86 \text{ gr/mol}}$$

Contoh:

Jika dianggap mengion sempurna, tentukan titik beku dan titik didih larutan 6,84 gram $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dalam 800 mL air. ($A_r \text{ Al} = 27$; $S = 32$, $O = 16$)

Jawab:

$$i = 1 + (5 - 1) \cdot 1 = 5$$

$$n = 6,84 : 342 = 0,02 \text{ mol}$$

$$m = 0,02 : 0,8 = 0,025 \text{ molal}$$

$$\Delta T_b = 0,52 \times 0,025 \times 5 = 0,065^\circ\text{C}$$

$$T_b = 100 + 0,065 = \underline{100,065^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T_f = 1,86 \times 0,025 \times 5 = 0,2325^\circ\text{C}$$

$$T_f = 0 - 0,2325 = \underline{-0,2325^\circ\text{C}}$$

Rumus sifat koligatif untuk larutan elektrolit campuran (i berbeda-beda):

- Jika rumus menggunakan fraksi mol

$$X_p = \frac{n_p}{n_p + (n_1 \times i + n_2 \times i + \dots)}$$

$$X_t = \frac{(n_1 \times i + n_2 \times i + \dots)}{n_p + (n_1 \times i + n_2 \times i + \dots)}$$

- 2) Jika rumus menggunakan molalitas

$$m = \frac{(n_1 \times i + n_2 \times i + \dots)}{P_{\text{tot}}}$$

- 3) Jika rumus menggunakan molaritas

$$M = \frac{(n_1 \times i + n_2 \times i + \dots)}{V_{\text{tot}}}$$

Contoh:

Ke dalam 1 L air dilarutkan 60 gr urea, 11,7 gr NaCl, dan 11,1 gr CaCl_2 . Tentukan T_f campuran dan π jika $\rho = 2,1656 \text{ g/mL}$ pada suhu 100 K.

Jawab:

$$n_{\text{urea}} = 60 : 60 = 1 \text{ mol}$$

$$n_{\text{NaCl}} = (11,7 \times 2) : 58,5 = 0,4 \text{ mol}$$

$$n_{\text{CaCl}_2} = (11,1 \times 3) : 111 = 0,3 \text{ mol}$$

$$n_{\text{tot}} = 1 + 0,4 + 0,3 = 1,7 \text{ mol}$$

$$m_{\text{camp}} = 1,7 : 1 = 1,7 \text{ molal}$$

$$\Delta T_b = 1,7 \times 0,5 = 0,85^\circ\text{C}$$

$$T_b = 100 + 0,85 = 100,85^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{larutan}} = 60 + 11,7 + 11,1 + 1000 = 1082,8 \text{ gr}$$

$$V_{\text{larutan}} = 1082,8 : 2,1656 = 500 \text{ mL}$$

$$\pi = 1,7 \times 0,082 \times 100 : 0,5 = 27,88 \text{ atm}$$

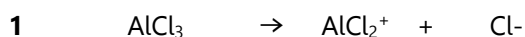
Contoh:

26,7 gram AlCl_3 ($M_r = 133,5$) yang berada dalam 2 kg air mengalami ionisasi bertingkat dengan harga $\alpha_1 = 0,9$; $\alpha_2 = 0,8$; $\alpha_3 = 0,5$. Tentukan:

- Jumlah mol Al^{3+} setelah ionisasi bertingkat
- Jumlah mol AlCl_2^+ setelah ionisasi bertingkat
- Jumlah mol AlCl_2^+ setelah ionisasi bertingkat
- Jumlah mol AlCl_3 setelah ionisasi bertingkat
- Jumlah mol Cl^- setelah ionisasi bertingkat
- Jumlah seluruh partikel terlarut
- Titik beku larutan jika K_f air = $1,85^\circ\text{C/m}$

Jawab:

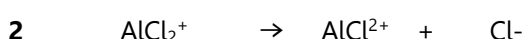
$$n_{\text{AlCl}_3} = 26,7 : 133,5 = 0,2 \text{ mol}$$



$$\text{M} \quad 0,2$$

$$\text{R} \quad 0,2 \times 0,9 = 0,18 \quad 0,18 \quad 0,18$$

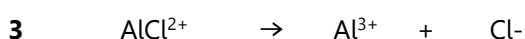
$$\text{S} \quad 0,02 \quad \mathbf{0,18} \quad 0,18$$



$$\text{M} \quad 0,18$$

$$\text{R} \quad 0,18 \times 0,8 = 0,144 \quad 0,144 \quad 0,144$$

$$\text{S} \quad 0,036 \quad \mathbf{0,144} \quad 0,144$$



$$\text{M} \quad 0,144$$

$$\text{R} \quad 0,144 \times 0,5 = 0,072 \quad 0,072 \quad 0,072$$

$$\text{S} \quad 0,072 \quad \mathbf{0,072} \quad 0,072$$

$$\text{a.} \quad n_{\text{Al}^{3+}} = 0,072 \text{ mol}$$

$$\text{b.} \quad n_{\text{AlCl}_2^+} = 0,072 \text{ mol}$$

$$\text{c.} \quad n_{\text{AlCl}_2^+} = 0,036 \text{ mol}$$

$$\text{d.} \quad n_{\text{AlCl}_3} = 0,02 \text{ mol}$$

$$\text{e.} \quad n_{\text{Cl}^-} = 0,072 + 0,144 + 0,18 = 0,396 \text{ mol}$$

$$\text{f.} \quad n_{\text{tot}} = n_{\text{Al}^{3+}} + n_{\text{AlCl}_2^+} + n_{\text{AlCl}_2^+} + n_{\text{AlCl}_3} + n_{\text{Cl}^-}$$

$$n_{\text{tot}} = 0,596 \text{ mol}$$

$$\text{g.} \quad m = 0,596 : 2 = 0,298 \text{ molal}$$

$$\Delta T_f = 0,298 \times 1,85 = 0,5513^\circ\text{C}$$

$$T_f = 0 - 0,5513 = -0,5513^\circ\text{C}$$

H. PENERAPAN SIFAT KOLIGATIF

 Sifat koligatif larutan digunakan dalam:

1) Campuran pendingin

Campuran pendingin dibuat dengan menambahkan garam-garaman ke dalam es, sehingga es mencair namun suhu campuran turun.

2) Cairan antibeku

Cairan antibeku akan menurunkan titik beku dan mencegah pembekuan. Cairan antibeku yang baik adalah larut dalam campuran pendinginnya, viskositas rendah, tidak korosif dan daya hantar panas yang baik.

3) Pencairan salju di jalan

Dilakukan dengan menaburkan garam dapur atau urea ke salju agar titik bekunya turun.

4) Membuat cairan fisiologis

Cairan fisiologis (infus, obat tetes mata, dll.) dibuat isotonik dengan cairan tubuh agar tidak terjadi osmosis.

5) Desalinasi air laut

Dilakukan berdasarkan prinsip osmosis balik dengan memberi tekanan pada permukaan air laut, sehingga terkumpul air murni.