

PENGANTAR TRANSFER MASSA

Transfer massa merupakan salah satu Chemical Engineering Tools, yang merupakan konsep-konsep atau prinsip-prinsip seorang TK dalam menyelesaikan tugasnya.

Chemical Engineering Tools :

1. Neraca Massa,
2. Neraca Panas,
3. Proses-proses Transfer,
4. keseimbangan,
5. ekonomi,
6. humanitas.

Proses-proses transfer di bidang TK meliputi :

A. FISIS

1. transfer momentum
Dijumpai di kasus aliran fluida, pencampuran, sedimentasi dan filtrasi.
2. transfer panas
Dijumpai pada alat-alat pertukaran panas, distilasi, dan pengeringan.
3. transfer massa
Dijumpai pada alat-alat distilasi, pengeringan, ekstraksi, absorpsi, adsorpsi, stripping dan membran.

B. KIMIA, yaitu kecepatan reaksi kimia.

Mengapa transfer massa perlu dipelajari?

Peristiwa perpindahan massa atau transfer massa atau difusi banyak dijumpai di dalam kehidupan sehari-hari, di dalam ilmu pengetahuan dan di industri.

Contoh peristiwa transfer massa adalah:

- larutnya kristal gula dalam air, artinya komponen gula mendifusi ke fase air.
- larutnya kopi ke dalam air,
- terjerapnya zat beracun ke dalam arang,
- larutnya oksigen ke dalam darah,
- Pada proses fermentasi, nutrisi dan oksigen yang terlarut dalam larutan mendifusi ke mikroorganisme,
- Pengambilan uranium dari batuan, dengan cara ekstraksi menggunakan pelarut organik, misal heksan.
- Penghilangan logam berbahaya dari limbah cair menggunakan adsorben, dll.

Di Industri, pemisahan komponen-komponen dari campurannya menggunakan alat transfer massa seperti absorpsi, distilasi terjadi karena adanya transfer massa.

Kondisi optimum suatu proses dapat ditentukan jika mekanisme dalam peristiwa transfer massa diketahui.

Apa saja yang dapat mempercepat pelarutan gula? Bagaimana suatu industri minuman melarutkan gula dalam jumlah banyak? Mengapa kain basah yang dijemur dapat kering?

Tugas: berilah contoh 5 (lima) peristiwa difusi yang anda jumpai di sekitar anda.

Comment:
Pentingnya studi PMD

Tugas : berilah contoh 5(lima) peristiwa difusi di industri kimia, sebutkan solut dan solvent serta alat yang digunakan.

DASAR-DASAR TRANSFER MASSA

Transfer massa adalah gerakan molekul-molekul atau fluida yang disebabkan adanya gaya pendorong.

Persamaan umum kecepatan perpindahan/transfer :

$$\text{kecepatan perpindahan} = \frac{\text{gaya pendorong}}{\text{tahanan}} = \frac{\text{driving force}}{\text{resistance}}$$

Pada transfer massa, gaya pendorongnya adalah perbedaan konsentrasi.

Pada transfer panas, gaya pendorongnya adalah perbedaan suhu.

KONSENTRASI

Ditinjau suatu campuran berisi A, B, dan D.

a. konsentrasi massa

- fraksi massa (ω)

$$\omega_A = \frac{\text{massa A}}{\text{massa campuran}}$$

Tuliskan fraksi massa B dan D.

Total fraksi massa = 1,0.

- konsentrasi massa (C_A ; $\frac{\text{massa A}}{\text{volum campuran}}$)

$$C_A = \omega_A \cdot C_T$$

$$C_T = \text{konsentrasi total}; \frac{\text{massa (A + B + D)}}{\text{volum campuran}}$$

Tuliskan konsentrasi massa B dan D.

b. konsentrasi molar

- fraksi mol di fase cair (X)
- fraksi mol di fase gas (Y)
- konsentrasi di fase cair (C_A ; $\frac{\text{mol A}}{\text{volum campuran}}$)

$$C_A = X_A \cdot C$$

- konsentrasi di fase gas seringkali dinyatakan dalam tekanan parsialnya.

Jika P berkisar 1 atm, maka gas akan mengikuti hukum gas ideal:

$$P V = n R T$$

$$C = \frac{n}{V} = \frac{P}{R T}$$

$$P_A = \frac{n_A R T}{P}$$

$$C_A = \frac{P_A}{R T}$$

$$C_A = \frac{n_A P}{n R T}$$

$$C_A = Y_A \frac{P}{R T}$$

Tuliskan konsentrasi gas B dan D.

PRINSIP PERPINDAHAN MASSA

Pada Kuliah Perpindahan Massa Difusional D3 ini, hanya akan diberikan transfer massa pada campuran biner.

Macam-macam jenis transfer massa (difusi) :

- difusi molekuler.
- Difusi antar fase satu film (difusi dalam aliran turbulen).
- Difusi antar fase dua film

a. DIFUSI MOLEKULER

Difusi molekuler merupakan transfer mssa yang disebabkan gerakan molekuler secara acak dalam fluida diam, atau dalam fluida yang mengalir secara laminar.

Transfer molekuler juga disebut transfer molekul dalam satu fase.

Gerak molekul ini disebabkan karena adanya gradien atau perbedaan konsentrasi. Difusi molekuler dapat terjadi di fluida (gas atau cairan) dan di dalam padatan.

Difusi molekuler di dalam padatan lebih lambat daripada di dalam fluida, hal ini karena tidak ada gerak padatan dalam padatan.

Transfer massa (difusi) molekuler dalam fluida diam/laminar mengikuti hukum Fick. Ditinjau difusi A dalam campuran biner (A+B) sepanjang Z :

$$\begin{array}{ccc} 1 & \text{-----} & 2 \\ C_{A1} & & C_{A2} \\ C_{B1} & & C_{B2} \\ Z_1 & & Z_2 \end{array}$$

Dengan $C_{A1} > C_{A2}$

Kecepatan perpindahan A dari titik 1 ke titik 2 mengikuti hukum Fick.

Hukum Fick :

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dZ} + \frac{C_A}{C} (N_A + N_B) \quad (1)$$

Dengan,

N_A = Fluks massa A, banyaknya A yang berpindah setiap satuan waktu dan setiap satuan luas transfer,

$$\frac{\text{massa A}}{(\text{satuan waktu}) (\text{satuan luas})}; \frac{\text{mol A}}{(\text{satuan waktu}) (\text{satuan luas})}$$

N_B = fluks massa B.

D_{AB} = suatu faktor perbandingan yang disebut koefisien difusi atau difusivitas A ke B.

= volum komponen yang dipindahkan sepanjang lintasan difusi persatuan waktu persatuan panjang; m^2/waktu .

= merupakan sifat spesifik sistem yang tergantung T, P, dan komposisi sistem.

Untuk campuran biner, maka $D_{AB} = D_{BA}$.

C_A = konsentrasi A.

C_B = konsentrasi B.

Z = jarak transfer.

C = konsentrasi total.

1 = posisi 1

2 = posisi 2

DIFUSIVITAS

✓ Koefisien difusi **fase gas** untuk campuran biner dapat ditentukan dengan beberapa cara, yaitu:

1. melakukan percobaan.
2. data hasil percobaan yang telah ditabulasikan, seperti di Appendix J.1.(Welty), dan Table 6.2-1 (Geankoplis).
3. menggunakan persamaan pendekatan, seperti persamaan Hirschfelder.

Comment:
Wajib dimiliki

Untuk sistem atau campuran yang sama, koefisien difusi gas merupakan fungsi suhu dan tekanan.

$$D_{AB, T2, P2} = D_{AB, T1, P1} \left[\frac{T2}{T1} \right]^{3/2} \left[\frac{P1}{P2} \right]$$

✓ Koefisien difusi **fase cair** untuk campuran biner dapat ditentukan dengan beberapa cara, yaitu :

1. melakukan percobaan.
2. data hasil percobaan yang telah ditabulasikan, seperti di Appendix J.2.(Welty), dan Table 6.3-1 (Geankoplis).
3. menggunakan persamaan pendekatan, seperti persamaan Wilke-Chang.

Comment:
Wajib dimiliki

Untuk sistem atau campuran yang sama, nilai koefisien difusi cairan merupakan fungsi konsentrasi.

BEBERAPA KEADAAN KHUSUS DIFUSI MOLEKULER ANTARA LAIN:

1. A diffusing through stagnant (difusi melalui medium diam).
2. Equimolar counter diffusion (difusi ekuimolar arus berlawanan).
3. Difusi dalam larutan sangat encer.

1. Difusi melalui medium diam.

(diffusing of A through nondiffusing B)

Contoh peristiwa yang mengikuti keadaan ini al.:

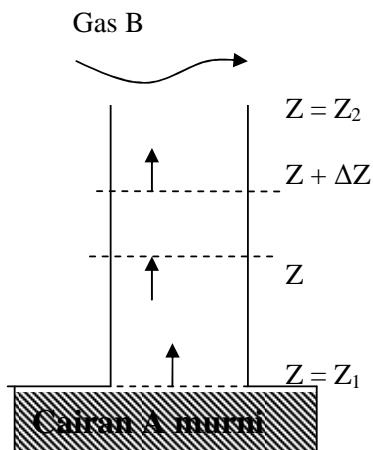
- penguapan komponen volatil di dalam botol terbuka, panjang lintasan difusi adalah jarak dari permukaan cairan sampai tutup botol. Komponen volatil akan mendifusi ke udara, tetapi udara tidak mendifusi ke A.
- komponen volatil tumpah di lantai, kemudian mendifusi ke udara, tetapi udara tidak mendifusi ke komponen volatil.
- Penguapan komponen volatil dalam tangki.
- Di alat transfer massa seperti absorpsi dan humidifikasi.

Contoh: Suatu tabung berisi cairan murni A. Bagian atas tabung terbuka dan berkontak dengan udara yang bergerak. Luas penampang tube = S.

P dan T dijaga tetap. Ingin dicari kecepatan penguapan A.

Penyelesaian:

a. gambar sket peristiwa:



A menguap dan mendifusi ke fase gas sepanjang lintasan Z_1 sampai Z_2 .

Pada lintasan ini, B tidak mendifusi ($N_B = 0$).

b. Persamaan kecepatan difusi, penguapan A pada campuran biner (A+B):

Hukum Fick :

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dZ} + \frac{C_A}{C} (N_A + N_B)$$

dengan $N_B = 0$, maka

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dZ} + \frac{C_A}{C} (N_A)$$

$$N_A = -\frac{CD_{AB}}{1 - Y_A} \frac{dY_A}{dZ} \quad (2)$$

Kondisi batas :

- $Z = Z_1 \Rightarrow Y_A = Y_{A1}$
- $Z = Z_2 \Rightarrow Y_A = Y_{A2}$

Kondisi batas yang sering dijumpai:

- ✓ Pada posisi Z_1 , konsentrasi A di fase gas (Y_{A1}) merupakan konsentrasi A di permukaan cairan. Pada keadaan ini konsentrasi A di fase gas berkeselimbangan dengan konsentrasi A di fase cair. Tekanan parsial A di posisi ini (p_{A1}) sama dengan tekanan uap murni A (p_A^0). Tekanan uap murni dapat dievaluasi menggunakan persamaan Antoine, seperti yang disajikan di appendix D ; Coulson & Richardson Vol 6.
- ✓ Pada posisi Z_2 , konsentrasi A di fase gas (Y_{A2}) dapat mendekati nol. Asumsi yang mendukung hal ini adalah udara selalu bergerak membawa A, sehingga seolah-olah A di posisi 2 selalu nol. Hal inilah yang menyebabkan penguapan terjadi terus-menerus.

Comment:
Wajib dimiliki,
ebook tersedia

c. Selesaikan persamaan diferensial (2) dengan kondisi batas di atas.

Langkah-langkah evaluasi kasus transfer massa:

1. sket peristiwanya, lengkapi dengan data-data yang diperlukan.
2. susun persamaan dan kondisi batasnya.
3. selesaikan persamaannya.

Soal latihan:

Soal 1: Difusi air melalui udara yang tidak mendifusi.

Suatu tabung berisi air dan bersuhu 293°K . Tekanan udara total pada suhu itu adalah 1 atm dan dijaga tetap. Air menguap dan mendifusi melalui udara di dalam tabung. Jarak antara permukaan air dengan ujung tabung adalah 0,1524 m. Difusivitas uap air dalam udara pada 293°K ; 1 atm adalah $0,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Soal 2: Air tumpah di lantai, akan dicari waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan air ke udara sekelilingnya.

Tebal lapisan air = 0,04 in., luas permukaan air = 1 ft^2 , dan $T = 75^{\circ}\text{F}$.

Kondisi udara : $P = 1 \text{ atm}$, $T = 75^{\circ}\text{F}$,

$H = \text{kelembaban absolut} = 0,002 \text{ Lb H}_2\text{O/Lb udara kering}$.

Dianggap air menguap secara difusi molekuler melalui lapisan tipis gas setebal 0,20 in. Berapa waktu yang diperlukan untuk menguapkan semua air di lantai?

Soal 3: Suatu tangki berdiameter 3 m berisi cairan toluen (C_7H_8) pada 30°C dan tekanan uapnya 0,0526 atm. Ketika tangki ini dibuka sehingga berkontak dengan udara, difusi toluen ke udara diasumsi terjadi pada lapisan setebal 0,001 m. Koefisien difusi toluen ke udara pada kondisi ini adalah $0,88 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Konstanta gas adalah $0,082 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{atm}/(\text{gmol} \cdot \text{K})$. Tentukan kecepatan hilangnya toluene dalam kg setiap harinya.

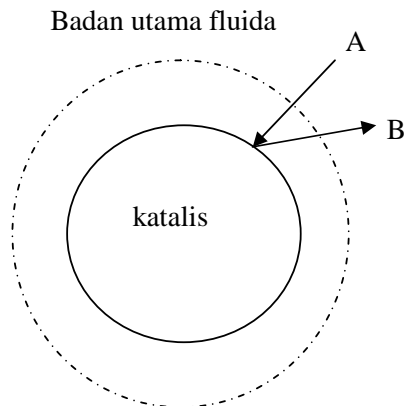
Kasus serupa : Problem (Welty) nomor 26.4, 26.10, 26.18.

Problem (Geankoplis, p.420) nomor 6.2-3 s/d 6.2-9 .

2. Equimollar counter diffusion (A dan B mendifusi sama cepat dan berlawanan arah).

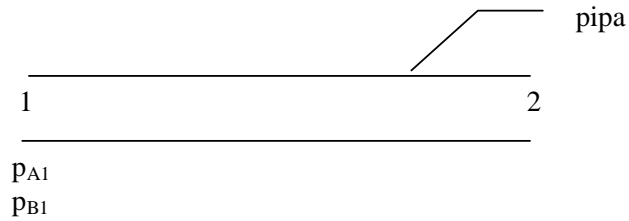
Contoh peristiwa yang mengikuti keadaan ini, al.:

a. Reaksi $\text{A} \rightarrow \text{B}$ di permukaan katalis padat.



- A dari badan utama fluida mendifusi dengan kecepatan N_A di permukaan katalis.
- Di permukaan katalis terjadi reaksi $\text{A} \rightarrow \text{B}$.
- B yang terbentuk mendifusi ke badan utama fluida dengan kecepatan N_B . Besar $N_B = N_A$ tetapi berlawanan arah, sehingga $N_A = -N_B$.

b. Difusi gas di dalam pipa



Contoh : Difusi gas di dalam pipa.

Tabung 1 berisi A dan B dengan $PA1 + PB1 = P$.

Tabung 2 berisi A dan B dengan $PA2 + PB2 = P$.

Dengan $PA1 > PA2$ dan $PB1 < PB2$, suhu kedua tabung sama yaitu = T, kedua tabung dihubungkan dengan pipa sepanjang Z, ingin dicari kecepatan A yang berpindah dan kecepatan B yang berpindah saat steady state (jarak lintasan tetap).

Penyelesaian:

a. Gambar sket peristiwa.

b. Persamaan difusi.

Karena $PA1 > PA2$ maka A berpindah dari tabung 1 ke tabung 2, dan sebaliknya B.

Persamaan umum transfer massa :

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dZ} + \frac{C_A}{C} (N_A + N_B) \quad (1)$$

Untuk difusi ekuimolar arus berlawanan atau $NA = -NB$, maka persamaan transfer massa :

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dZ} \quad (3)$$

Kondisi batas : titik 1 : $Z = 0$; $CA = CA1$

Titik 2 : $Z = Z$; $CA = CA2$.

c. Selesaikan persamaan (3) dengan kondisi batas di atas.

Soal latihan:

Soal : Tabung berisi amonia (A) dan Nitrogen (B).

Tabung 1, berisi $PA_1 = 1,013 \cdot 10^4$ Pa.

Tabung 2, berisi $PA_2 = 0,507 \cdot 10^4$ Pa.

Jarak antar tabung = panjang pipa penghubung = 0,10 m.

Hitung N_A dan N_B .

SOAL : Problems di Geankoplis p. 419 , nomor 6.1-1, 6.1-2, 6.2-1, dan 6.2-2.

3. Kadar A sangat kecil.

$$N_A = -D_{AB} C \cdot \frac{dX_A}{dZ}$$

Karena X_A sangat kecil, maka :

$$N_A = -D_{AB} \cdot \frac{d(C \cdot X_A)}{dZ}$$

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dZ}$$