

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
2009/2010 Academic Session

November 2009

**EKC 217 – Mass Transfer**  
***[Pemindahan Jisim]***

Duration : 3 hours  
*[Masa : 3 jam]*

---

Please check that this examination paper consists of EIGHT pages of printed material and TWO page of Appendix before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi LAPAN muka surat yang bercetak dan DUA muka surat Lampiran sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]*

**Instructions:** Answer any **FOUR** (4) questions. All questions carry the same marks.

**[Arahan:** Pilih **EMPAT** (4) soalan sahaja. Semua soalan membawa jumlah markah yang sama.]

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

*[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai].*

Answer any FOUR questions.

Jawab mana-mana EMPAT soalan.

1. [a] Ammonia gas ( $\text{NH}_3$ ) is diffusing through  $\text{N}_2$  under steady-state conditions with  $\text{N}_2$  non-diffusing since it is insoluble at one boundary. The total pressure is  $1.013 \times 10^5$  Pa and the temperature is 320 K. The partial pressure of  $\text{NH}_3$  at one point is  $1.333 \times 10^4$  Pa and the other point 20 mm away, it is  $6.666 \times 10^3$  Pa. The  $D_{AB}$  for the mixture is  $2.30 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s at  $1.013 \times 10^5$  Pa and 298 K. The relationship of diffusivity with temperature and pressure is

$$D_{AB} \propto T^{1.75} \times \frac{1}{P}.$$

*Gas amonia ( $\text{NH}_3$ ) meresap menerusi  $\text{N}_2$  dalam keadaan mantap, dengan  $\text{N}_2$  tidak meresap kerana ia tidak boleh larut pada satu sempadan. Jumlah tekanan ialah  $1.013 \times 10^5$  Pa dan suhu 320 K. Tekanan separa bagi gas amonia pada satu titik ialah  $1.333 \times 10^4$  Pa dan pada titik yang lain, yang jaraknya 20 mm, tekanan separanya ialah  $6.666 \times 10^3$  Pa. Kemerresapan ( $D_{AB}$ ) bagi campuran tersebut ialah  $2.30 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s pada  $1.013 \times 10^5$  Pa dan 298 K. Hubungkait antara kemerresapan dengan suhu dan tekanan ialah*

$$D_{AB} \propto T^{1.75} \times \frac{1}{P}.$$

- [i] Calculate the flux of  $\text{NH}_3$  in kmole/m<sup>2</sup>s  
*Kirakan fluks bagi amonia dalam unit kmol/m<sup>2</sup>s*

- [ii] Calculate the new flux by assuming that  $\text{N}_2$  is also diffuses (i.e. both boundaries are permeable to both gases and the flux is equimolar counterdiffusion). In which case is the flux greater?

*Kirakan fluks yang baru dengan mengandaikan bahawa  $\text{N}_2$  juga meresap (kedua-dua sempadan adalah boleh telap dengan kedua-dua gas fluks adalah resapan lawan sama molar). Dalam kes manakah fluks lebih besar?*

[13 marks/markah]

- [b] A simple rectifying column consists of a tube arranged vertically and supplied at the bottom with a mixture of benzene and toluene as vapor. At the top, a condenser returns some of the product as a reflux which flows in a thin film down the inner wall of the tube. The tube is insulated and heat losses can be neglected. At one point in the column, the vapor contains 70 mole % benzene and the adjacent liquid reflux contains 59 mole % benzene. The temperature at this point is 365 K. Assuming the diffusional resistance to vapor transfer to be equivalent to the diffusional resistance of a stagnant vapor layer 2.0 mm thick, calculate the rate of interchange of benzene and toluene between vapor and liquid. The molar latent heats of the two materials can be taken as equal. The vapor pressure of toluene at 365 K is 54.0 kN/m<sup>2</sup> and the diffusivity of the vapors is 0.051 cm<sup>2</sup>/s.

Satu turus pembetulan mudah mengandungi tiub yang disusun secara menegak dan dibekalkan dengan campuran benzena dan toluena sebagai wap pada bahagian bawah turus. Di bahagian atas, pemeluwap memulangkan sebahagian daripada produk sebagai refluks, yang mengalir di dalam saput nipis di bahagian dalam dinding tiub. Tiub tersebut ditebat dan kehilangan haba diabaikan. Pada satu titik di dalam turus, wap mengandungi 70 mol % benzena dan refluks cecair bersebelahan mengandungi 59 mol % benzena. Suhu pada titik ini ialah 365 K. Dengan mengandaikan bahawa rintangan resapan kepada pemindahan wap adalah sama dengan rintangan resapan bagi wap genang berketebalan 2.0 mm, kirakan kadar saling tukar di antara wap dan cecair bagi benzena dan toluena. Haba pendam molar bagi kedua-dua bahan adalah sama. Tekanan wap bagi toluena pada 365 K ialah 54.0 kN/m<sup>2</sup> dan kemeresapan bagi wap ialah 0.051 cm<sup>2</sup>/s.

Given:

Raoult's Law (for an ideal mixture):

$$p_A = x_A P_A^\circ$$

where:  $p_A$  = partial pressure of A  
 $P_A^\circ$  = vapor pressure of A  
 $x_A$  = mole fraction of A in the solution

$$\text{Total pressure} = 101.3 \text{ kN/m}^2$$

Diberi:

Hukum Raoult (untuk campuran unggul):

$$p_A = x_A P_A^\circ$$

di mana:  $p_A$  = tekanan separa A  
 $P_A^\circ$  = tekanan wap A  
 $x_A$  = pecahan mol A di dalam larutan

$$\text{Jumlah tekanan} = 101.3 \text{ kN/m}^2$$

[12 marks/markah]

2. [a] Define the Murphree efficiency and explain how it can be taken into account when designing a plate column.

Takrifkan kecekapan Murphree dan terangkan bagaimana ia boleh diambil kira semasa merekabentuk turus plat.

[5 marks/markah]

- [b] A total feed of 300 mole/h having an overall composition of 40 mole % heptane and 60 mole % ethyl benzene is to be fractionated at 101.32 kPa pressure to give a distillate containing 95 mole % heptane and bottoms containing 2.5 mole % heptane. The feed enters the tower partially vaporized so that 45 mole % is liquid and 55 mole % vapor.

*Jumlah suapan 300 mol/jam dengan komposisi keseluruhan ialah 40 mol % heptana dan 60 mol % etil benzena, akan dipecahkan pada tekanan 101.32 kPa untuk mendapatkan sulingan yang mengandungi 95 mol % heptana dan produk dasar yang mengandungi 2.5 mol % heptana. Suapan memasuki turus dalam keadaan separa meruap supaya 45 mol % ialah cecair dan 55 mol % ialah wap.*

The equilibrium data are given as follows:

*Data keseimbangan adalah seperti berikut:*

Temperature ( <i>Suhu</i> )		$y_H$ = Mole fraction of heptane in vapor ( <i>Pecahan mol heptana dalam wap</i> )	$x_H$ = mole fraction of heptane in liquid ( <i>Pecahan mol heptana dalam cecair</i> )
K	°C		
409.3	136.1	0.000	0.000
402.6	129.4	0.230	0.080
392.6	119.4	0.514	0.250
383.8	110.6	0.730	0.485
376.0	102.8	0.904	0.790
371.5	98.3	1.000	1.000

Calculate the following:

*Kirakan yang berikut:*

- [i] moles per hour of distillate and bottoms  
*mol per jam sulingan dan produk dasar*
- [ii] minimum reflux ratio,  $R_m$   
*nisbah refluks minimum,  $R_m$*
- [iii] number of theoretical trays required at total reflux  
*bilangan dulang teori yang diperlukan pada refluks jumlah*
- [iv] number of theoretical trays required for an operating reflux ratio of 3.5:1.  
*bilangan dulang teori yang diperlukan untuk nisbah refluks pengendalian 3.5:1*

[20 marks/markah]

3. [a] A distillation column is fed with a mixture of benzene and toluene in which the mole fraction of benzene is 0.35. The column is to yield a product in which the mole fraction of benzene is 0.95 when working with a reflux ratio of 3.2 to 1.0, and the waste from the column is not exceed 0.05 mole fraction of benzene. Assuming the trays used have an efficiency of 60%, find the number of trays required and the position of the feed point.

*Suatu turus penyulingan telah disuap dengan campuran benzena dan toluena, dengan pecahan mol benzena ialah 0.35. Turus ini akan menghasilkan produk iaitu 0.95 pecahan mol benzena apabila beroperasi dengan nisbah refluks 3.2 kepada 1.0, dan sisa daripada turus tidak melebihi 0.05 pecahan mol benzena. Dengan mengandaikan bahawa dulang-dulang yang digunakan memiliki kecekapan 60%, cari jumlah dulang yang diperlukan dan kedudukan titik suapan.*

The relation between the mole fraction of benzene in liquid and in vapor is given by the following data:

*Hubungan antara pecahan mol benzena dalam fasa cecair dan wap adalah seperti berikut:*

$y$ = Mole fraction of benzene in vapor ( <i>pecahan mol benzena dalam wap</i> )	$x$ = mole fraction of benzene in liquid ( <i>pecahan mol benzena dalam cecair</i> )
0.20	0.1
0.38	0.2
0.51	0.3
0.63	0.4
0.71	0.5
0.78	0.6
0.85	0.7
0.91	0.8
0.96	0.9

[13 marks/markah]

- [b] Roasted argementum ore containing the argementum as  $\text{AgSO}_4$  is to be extracted in a countercurrent stage extractor. Each hour a charge consisting of 10 tons of inert solids, 1.2 tons of argementum sulfate, and 0.5 ton of water is to be treated. The strong solution produced is to consist of 90%  $\text{H}_2\text{O}$  and 10%  $\text{AgSO}_4$  by weight. The recovery of  $\text{AgSO}_4$  is to be 98% of that in the ore. Pure water is to be used as the fresh solvent. After each stage, 1 ton of inert solids retains 2 tons of solution (water plus the argementum sulfate dissolved in that water). Equilibrium is attained in each stage. Using the calculation method and on the basis of 10 tons inert solid, determine the number of stages required for the process stated above.

*Bijih agentum yang mengandungi agentum dalam bentuk  $\text{AgSO}_4$  hendak diuraskan di dalam pengurusan berperingkat berlawanan arus. Setiap jam, satu suapan yang mengandungi 10 tan pepejal lengai, 1.2 tan agentum sulfat dan 0.5 tan air hendak dirawat. Komposisi larutan pekat yang dihasilkan haruslah mengandungi 90%  $\text{H}_2\text{O}$  dan 10%  $\text{AgSO}_4$  (pecahan berat). Perolehan  $\text{AgSO}_4$  haruslah 98% daripada jumlah yang terdapat di dalam bijih. Air tulen akan digunakan sebagai pelarut. Selepas setiap peringkat, 1 tan pepejal lengai akan menahan 2 tan air dan juga agentum sulfat yang larut di dalam air tersebut. Keseimbangan dicapai di dalam setiap peringkat. Dengan menggunakan kaedah pengiraan, kirakan bilangan peringkat yang diperlukan. (Asaskan pengiraan anda berdasarkan pada 10 tan pepejal lengai).*

[12 marks/markah]

4. Combustion of fossil fuels that contain significant amount of sulfur such as coal will release sulfur dioxide ( $\text{SO}_2$ ) to the environment through the combustion flue gas.  $\text{SO}_2$  is an air pollutant that has been accepted worldwide as the main cause of acid rain that is hazardous towards human, vegetation, animal and property. ABC Sdn. Bhd. is a power generation plant running on coal as the main source of fuel. In order to reduce the emission of  $\text{SO}_2$ , the company has decided to design and construct an absorption tower using water as the absorbent. As a chemical engineer, you are required to do a preliminary design for the tray absorption tower using the information given below:

*Pembakaran bahan api fosil yang mengandungi komponen sulfur yang banyak seperti arang batu akan membebaskan sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) ke persekitaran melalui gas cerobong.  $\text{SO}_2$  adalah sejenis gas cemar yang dipersetujui seluruh dunia sebagai punca utama hujan asid yang berbahaya terhadap manusia, tumbuh-tumbuhan, binatang dan harta benda. ABC Sdn. Bhd. adalah satu loji janakuasa yang menggunakan arang batu sebagai sumber bahan api utama. Bagi mengurangkan pembebasan  $\text{SO}_2$ , syarikat tersebut telah membuat keputusan untuk merekabentuk dan membina satu turus penyerapan dengan air sebagai bahan penyerap. Sebagai seorang jurutera kimia, anda dikehendaki untuk membuat rekabentuk turus penyerapan dulang dengan menggunakan maklumat yang diberikan di bawah.*

Inlet gas: 5000 kg/h of air containing 8% v/v  $\text{SO}_2$

Molar ratio of the total gas to the liquid flowrate,  $G_m/L_m = 0.0292$

Inlet liquid: Fresh water

Operating pressure: Atmospheric (760 mmHg)

Operating temperature: 25 °C

Recovery requirement: 95%

Molecular weight of  $\text{SO}_2$ : 64

Molecular weight of  $\text{H}_2\text{O}$ : 18

Molecular weight of air: 29

The equilibrium data for this system can be taken as a pseudo straight line.

Universal gas constant,  $R$  : 8.314 kJ/kmole.K

Conversion data : 760 mm Hg = 101 kPa

: 1 ft = 0.3048 m

Gas suapan : 5000 kg/jam udara yang mengandungi 8% i/i SO<sub>2</sub>  
 Nisbah molar jumlah kadar aliran gas kepada cecair,  $G_m/L_m = 0.0292$   
 Cecair suapan : Air tulen  
 Tekanan operasi : Atmosfera (760 mmHg)  
 Suhu operasi : 25 °C  
 Pemulihan yang diperlukan : 95%  
 Berat molekul SO<sub>2</sub>: 64  
 Berat molekul H<sub>2</sub>O: 18  
 Berat molekul udara: 29  
 Data kesimbangan bagi sistem ini boleh dianggap pseudo garis lurus.  
 Pemalar gas semesta,  $R : 8.314 \text{ kJ/kmol.K}$   
 Data penukaran : 760 mm Hg = 101 kPa  
                               : 1 ft = 0.3048 m

Solubility data for SO<sub>2</sub> in water:

Data kebolehlarutan SO<sub>2</sub> di dalam air:

SO <sub>2</sub> w/w% in solution SO <sub>2</sub> b/b% dalam larutan	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5
SO <sub>2</sub> partial pressure (mmHg) Tekanan separa SO <sub>2</sub> (mmHg)	1.2	3.2	5.8	8.5	14.1	26	39	59	92

- [a] Estimate the number of stages required.  
 Anggarkan bilangan peringkat yang diperlukan.

[13 marks/markah]

- [b] Calculate the required tray diameter, assuming a tray spacing of 24 in, a foaming factor of  $F_F = 0.9$ , a flooding fraction of  $f = 0.8$ , a surface tension of  $\sigma = 70$  dynes/cm and  $F_{HA} = 1.0$ . For the liquid exiting the bottom of the column, the specific gravity can be taken as 0.986 and the molar flowrate of water is 153.4 kmole/h.

*Kirakan diameter dulang yang diperlukan berdasarkan anggapan berikut, jarak dulang 24 inci, faktor pembuihan  $F_F = 0.9$ , pecahan pembersihan  $f = 0.8$ , tegangan permukaan  $\sigma = 70$  dynes/cm dan  $F_{HA} = 1.0$ . Bagi cecair yang mengalir keluar daripada bahagian bawah turus, graviti spesifik boleh diambil sebagai 0.986 dan kadar aliran molar air adalah 153.4 kmol/jam.*

[12 marks/markah]

5. [a] [i] Define leaching process.  
 Takrifkan proses pengurusan.

[2 marks/markah]

- [ii] Explain the term “equilibrium in leaching process”.  
 Terangkan ungkapan “keseimbangan dalam proses pengurusan”.

[3 marks/markah]

- [iii] With a neat sketch, explain briefly one equipment commonly used in leaching process.

*Dengan menggunakan satu lakaran yang kemas, terangkan secara ringkas satu peralatan yang sering digunakan dalam proses pengurusan.*

*[4 marks/markah]*

- [iv] With a neat sketch, explain clearly the representation of a three component system on a right-angle triangular diagram.

*Dengan menggunakan lakaran yang kemas, terangkan dengan jelas perwakilan sistem tiga komponen di atas gambarajah segitiga sudut tepat.*

*[4 marks/markah]*

- [b] In a countercurrent liquid extraction process, an inlet water solution of 100 kg/h containing 0.010 wt fraction of compound A in water is stripped with a hexane stream of 200 kg/h containing 0.0005 wt fraction compound A. The water and hexane are essentially immiscible in each other. It is desired to reduce the concentration of the exit water to 0.001 wt fraction compound A. The equilibrium data are given below.

*Di dalam satu proses penyarian cecair berlawanan arus, suatu aliran suapan air 100 kg/jam yang mengandungi 0.010 pecahan berat komponen A akan dilucutkan dengan menggunakan suatu aliran heksana 200 kg/jam yang mengandungi 0.0005 pecahan berat komponen A. Air dan heksana boleh dianggap tidak boleh bercampur di antara satu sama yang lain. Tujuan proses ini adalah untuk mengurangkan kepekatan komponen A di dalam aliran air keluar kepada 0.001 pecahan berat komponen A. Data keseimbangan adalah seperti di bawah.*

Weight fraction of compound A in the water solution (x) <i>Pecahan berat component A di dalam larutan air (x)</i>	Weight fraction of compound A in the hexane (y) <i>Pecahan berat komponen A di dalam heksana (y)</i>
0.00101	0.000806
0.00246	0.001959
0.005	0.00454
0.00746	0.00682
0.00988	0.00904
0.0202	0.0185

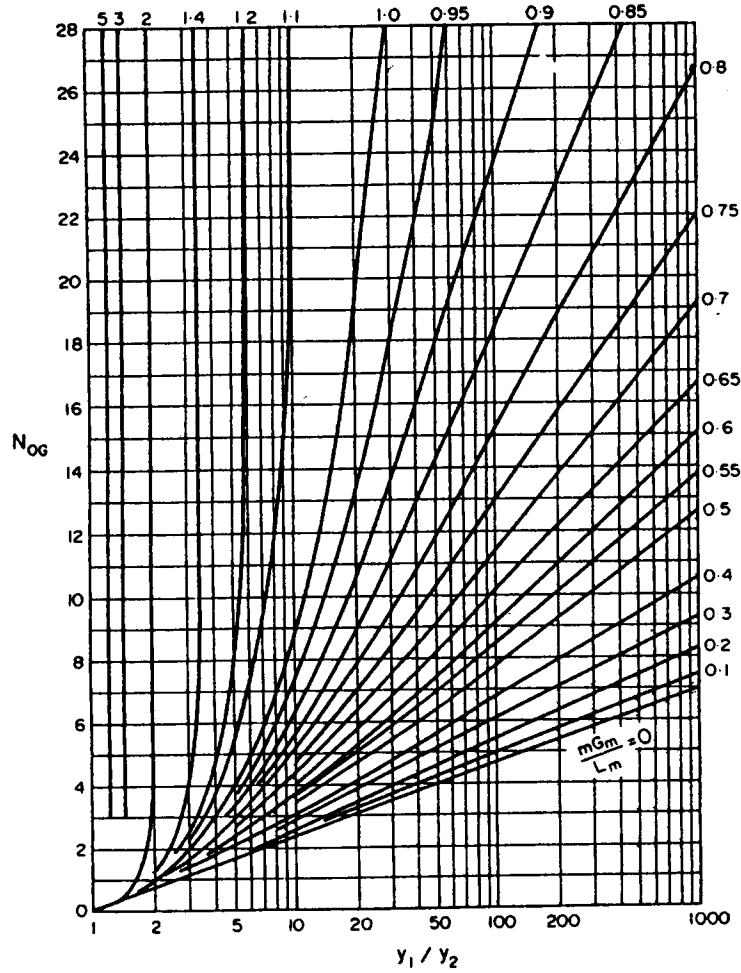
Plot the equilibrium data and graphically determine the number of the theoretical stages required.

*Plotkan data keseimbangan dan tentukan bilangan peringkat secara teori yang diperlukan dengan menggunakan graf.*

*[12 marks/markah]*



Appendix



Number of transfer units  $N_{OG}$  as a function of  $y_1/y_2$  with  $mG_m/L_m$  as parameter

where;

$N_{OG}$  is equivalent number of theoretical trays

$y_1$  is the mole fraction of solute in inlet gas

$y_2$  is the mole fraction of solute in the outlet gas

$G_m/L_m$  is the molar ratio of the total gas to the liquid flowrate

$m$  is the slope of the equilibrium line

The following equations may be required:

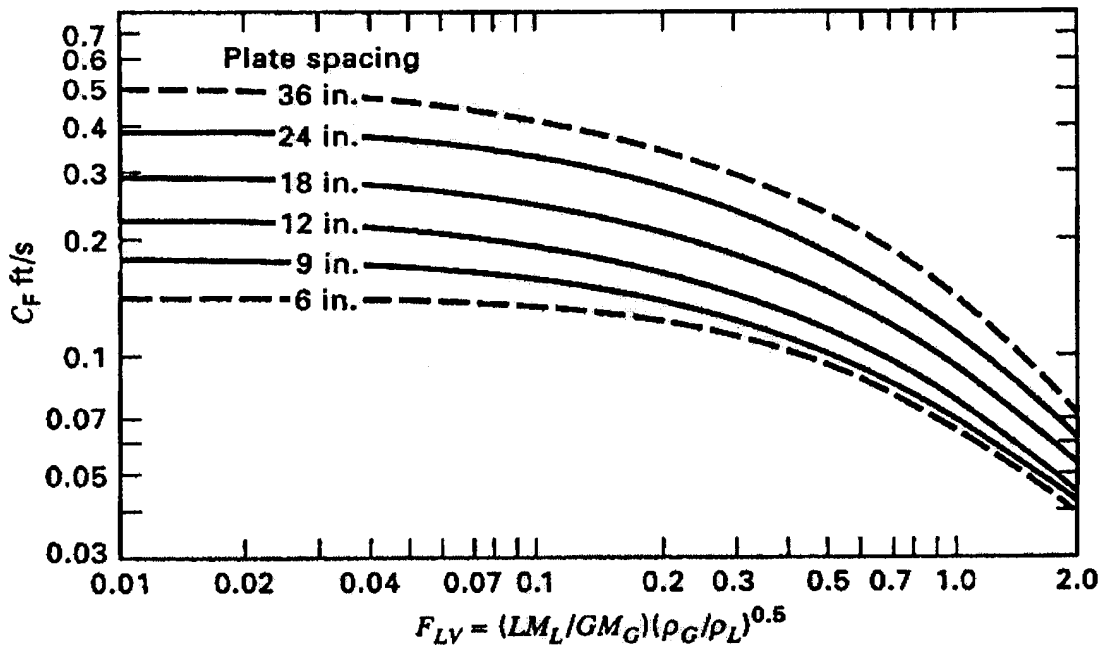
$$U_f = C \left( \frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{1/2}$$

$$C = F_{ST} F_F F_{HA} C_F$$

$$F_{ST} = \left( \frac{\sigma}{20} \right)^{0.2}$$

$$D_T = \left[ \frac{4 G M_G}{f U_f \pi \left( 1 - \frac{A_d}{A} \right) \rho_G} \right]^{0.5}$$

$$\frac{A_d}{A} = \begin{cases} 0.1, & F_{LV} \leq 0.1 \\ 0.1 + \frac{(F_{LV} - 0.1)}{9}, & 0.1 \leq F_{LV} \leq 1.0 \\ 0.2, & F_{LV} \geq 1.0 \end{cases}$$



Entrainment flooding capacity in a trayed tower.