

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
2010/2011 Academic Session

November 2010

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

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

---

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

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

**Instruction:** Answer **ALL** (4) questions.

**Arahan:** Jawab **SEMUA** (4) soalan.]

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 ALL questions.

Jawab SEMUA soalan.

1. [a] A tank with its top open to the atmosphere contains liquid methanol (molecular weight 32 g/mol) at the bottom of the tank. The tank is maintained at 30 °C. The diameter of the cylindrical tank is 1.0 m, the total height of the tank is 3.0 m and the liquid level at the bottom of the tank is maintained at 0.5 m. The gas space inside the tank is stagnant and the methanol vapors are immediately dispersed once they exit the tank. At 30 °C, the vapor pressure exerted by liquid methanol is 163 mmHg and at 40 °C the methanol vapor pressure is 265 mmHg. We are concerned that this open tank may be emitting a considerable amount of methanol vapor.

*Suatu tangki dengan permukaan atasnya terbuka ke atmosfera mengandungi cecair metanol (berat jisim 32 g/mol) di bahagian bawah tangki. Tangki dikekalkan pada 30 °C. Diameter tangki silinder ialah 1.0 m, tinggi jumlahan tangki ialah 3.0 m dan paras cecair di bahagian bawah tangki dikekalkan pada 0.5 m. Ruang udara di dalam tangki adalah pegun dan wap metanol menyerak dengan segera sebaik sahaja keluar daripada tangki. Pada 30 °C, tekanan wap yang dikenakan oleh cecair metanol ialah 163 mmHg dan pada 40 °C, tekanan wap metanol ialah 265 mmHg. Kami prihatin bahawa tangki terbuka ini akan mengeluarkan sejumlah wap metanol.*

- [i] What is the emission rate of methanol vapor from the tank in unit of kg methanol/day when the tank is at a temperature of 30 °C? State all assumptions and boundary conditions.

*Apakah kadar pengeluaran wap metanol daripada tangki dalam unit kg metanol/hari apabila suhu tangki ialah 30 °C. Nyatakan semua andaian dan keadaan sempadan.*

- [ii] If the temperature of the tank and the environment is raised to 40 °C, what is the new methanol vapor emission rate?

*Jika suhu tangki dan persekitaran ditingkatkan kepada 40 °C, apakah kadar pengeluaran wap metanol yang baru?*

Given:

$$D_{AB} \text{ at } 298 \text{ K and } 1 \text{ atm} = 1.62 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{Ideal gas law constant, } R &= 8.314 \text{ m}^3 \cdot \text{Pa/mol} \cdot \text{K} \\ &= 82.06 \text{ cm}^3 \cdot \text{atm/gmol} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

Diberi:

$$D_{AB} \text{ pada } 298 \text{ K dan } 1 \text{ atm} = 1.62 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{Pemalar hukum gas unggul, } R &= 8.314 \text{ m}^3 \cdot \text{Pa/mol} \cdot \text{K} \\ &= 82.06 \text{ cm}^3 \cdot \text{atm/gmol} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

...3/-

The relationship of diffusivity with temperature and pressure is

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

Hubungkait antara kemesapan dengan suhu dan tekanan ialah

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

[15 marks/markah]

- [b] In a wetted-wall tower, an air-H<sub>2</sub>S mixture is flowing by a film of water that is flowing as a thin film down a vertical plate. The H<sub>2</sub>S is being absorbed from the air to the water at a total pressure of 1.50 atm and 30 °C. A value of  $k'_c$  of  $9.567 \times 10^{-4}$  m/s has been predicted for the gas-phase mass transfer coefficient. At a given point, the mole fraction of H<sub>2</sub>S in the liquid at the liquid-gas interface is  $2.0 \times 10^{-5}$  and  $p_A$  of H<sub>2</sub>S in the gas is 0.05 atm. The Henry's law equilibrium relation is given as:

*Di dalam menara dinding basah, campuran udara-H<sub>2</sub>S mengalir ke bawah plat tegak sebagai saput air yang nipis. H<sub>2</sub>S diserap daripada udara ke air pada tekanan 1.50 atm dan 30 °C. Nilai  $k'_c$ ,  $9.567 \times 10^{-4}$  m/s telah dijangkakan untuk pemalar pemindahan jisim fasa gas. Pada titik yang diberi, pecahan mol H<sub>2</sub>S di dalam cecair pada antara muka cecair-gas ialah  $2.0 \times 10^{-5}$  dan  $p_A$  untuk H<sub>2</sub>S dalam gas ialah 0.05 atm. Hubungan keseimbangan hukum Henry diberi sebagai:*

$$p_A \text{ (atm)} = 609x_A$$

where  $x_A$  = mole of H<sub>2</sub>S in liquid.

*di mana  $x_A$  = pecahan mol H<sub>2</sub>S dalam cecair*

You can consider point 1 as the interface and point 2 as the gas phase. The value of  $p_{A2}$  is 0.05 atm. Calculate the rate of absorption of H<sub>2</sub>S.

*Anda boleh mempertimbangkan titik 1 sebagai antaramuka dan titik 2 sebagai fasa gas. Nilai  $p_{A2}$  ialah 0.05 atm. Kirakan kadar penyerapan H<sub>2</sub>S.*

NOTE: **Table 1** in the Appendix can be used to solve this question.

NOTA: **Jadual 1** di bahagian Lampiran boleh digunakan untuk menyelesaikan soalan ini.

[10 marks/markah]

2. The most common industrial equipment used for absorption and stripping processes are tray tower and packed tower, with both having its own distinctive advantages and disadvantages.

*Peralatan yang paling biasa digunakan di dalam industri bagi proses penyerapan dan lucutan adalah turus dulang dan turus terpadat, masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan tersendiri.*

- [a] Give two advantages of tray tower as compared to packed tower.

*Berikan dua kelebihan turus dulang berbanding turus terpadat.*

*[3 marks/markah]*

- [b] With the help of schematic diagram, clearly explain step by step how and the principles behind the graphical method that can be used to determine the number of trays/stages required for a specific absorption process. State all assumptions made.

*Dengan bantuan gambarajah skematik, terangkan dengan jelas langkah demi langkah bagaimana dan prinsip-prinsip di sebalik kaedah graf yang boleh digunakan untuk menentukan bilangan dulang/peringkat yang diperlukan bagi proses penyerapan tertentu. Nyatakan semua andaian yang dibuat.*

*[9 marks/markah]*

- [c] A gas stream contains 4.0 mol%  $\text{NH}_3$  and its ammonia content is reduced to 0.5 mol% in a packed absorption tower at 293K and  $1.013 \times 10^5$  Pa. The inlet pure water flow is 68.0 kg mol/h and the total inlet gas flow is 57.8 kg mol/h. The tower diameter is 0.747 m. The film mass transfer coefficients are  $k'_{ya} = 0.0739$  kg mol/s.m<sup>3</sup>.mol frac and  $k'_{xa} = 0.169$  kg mol/s.m<sup>3</sup>.mol frac. The equilibrium data is given in Table Q.2.[c]. Calculate the tower height using  $k'_{ya}$ .

*Suatu aliran gas mengandungi 4.0 %mol  $\text{NH}_3$  dan kandungan ammonia tersebut perlu dikurangkan ke 0.5% mol dengan menggunakan turus penyerapan terpadat pada 293K dan  $1.013 \times 10^5$  Pa. Aliran suapan air tulen adalah 68.0 kg mol/jam dan jumlah aliran gas suapan adalah 57.8 kg mol/jam. Diameter turus adalah 0.747 m. Pemalar saput pemindahan-jisim ialah  $k'_{ya} = 0.0739$  kg mol/s.m<sup>3</sup>.pecahan mol dan  $k'_{xa} = 0.169$  kg mol./s.m<sup>3</sup>.pecahan mol. Data keseimbangan adalah diberikan dalam Jadual S.2.[c]. Kirakan ketinggian turus dengan menggunakan  $k'_{ya}$ .*

*[9 marks/markah]*

Table Q.2.[c]. Equilibrium Data for Ammonia-Water System  
 Jadual S.2.[c]. Data keseimbangan bagi sistem Ammonia - Air

Mole fraction NH <sub>3</sub> in liquid, x <i>Pecahan mol NH<sub>3</sub> dalam cecair, x</i>	Mole fraction NH <sub>3</sub> in vapor, y <i>Pecahan mol NH<sub>3</sub> dalam gas, y</i>	
	20°C	30°C
0	-	-
0.0126	-	0.0151
0.0167	-	0.0201
0.0208	0.0158	0.0254
0.0258	0.0197	0.0321
0.0309	0.0239	0.0390
0.0405	0.0328	0.0527
0.0503	0.0416	0.0671
0.0737	0.0657	0.105
0.0960	0.0915	0.145
0.137	0.150	0.235
0.175	0.218	0.342
0.210	0.298	0.463
0.241	0.392	0.597
0.297	0.618	0.945

The following equations may be required:  
*Persamaan-persamaan berikut mungkin diperlukan:*

$$\frac{G}{S}(y_1 - y_2) = k'_y \text{ az}(y - y_i)_M$$

$$\frac{L}{S}(x_1 - x_2) = k'_x \text{ az}(x_i - x)_M$$

$$(y - y_i)_M = \frac{(y_1 - y_{i1}) - (y_2 - y_{i2})}{\ln[(y_1 - y_{i1}) / (y_2 - y_{i2})]}$$

$$(y - y^*)_M = \frac{(y_1 - y^*_1) - (y_2 - y^*_2)}{\ln[(y_1 - y^*_1) / (y_2 - y^*_2)]}$$

$$(1 - y_A)_{iM} = \frac{(1 - y_{Ai}) - (1 - y_{AG})}{\ln[(1 - y_{Ai}) / (1 - y_{AG})]}$$

$$(1 - x_A)_{iM} = \frac{(1 - x_{AL}) - (1 - x_{Ai})}{\ln[(1 - x_{AL}) / (1 - x_{Ai})]}$$

- [d] Suggest a few methods how can the high pressure drop in packed tower be reduced?

*Cadangkan beberapa cara bagaimana kejatuhan tekanan yang tinggi di dalam turus terpadat boleh dikurangkan.*

[4 marks/markah]

3. [a] By drawing a diagram, show that the minimum reflux ratio ( $R_{min}$ ) for continuous distillation of a binary mixture is given by:

*Dengan melukis gambarajah, tunjukkan bahawa pecahan refluks minimum ( $R_{min}$ ) untuk penyulingan berterusan campuran binari diberi oleh:*

$$R_{min} = \frac{x_D - y'}{y' - x'}$$

where:  $x_D$  is the composition of the distillate  
 $x'$  and  $y'$  are the equilibrium compositions of the liquid and vapour fractions of the feed, respectively

*di mana:  $x_D$  ialah komposisi sulingan  
 $x'$  dan  $y'$  ialah komposisi-komposisi keseimbangan pecahan cecair dan wap bagi suapan.*

[7 marks/markah]

- [b] A trayed tower is to be designed to continuously distill 204 kmol/h of a binary mixture of 60 mol % benzene. A liquid distillate and a liquid bottoms product of 95 mol % and 5 mol % benzene, respectively, are to be produced. The feed is preheated so that it enters the column with a molar percent vaporization equal to the distillate-to-feed ratio. Use the McCabe-Thiele method to compute the following, assuming a uniform pressure of 1 atm throughout the column:

*Suatu menara dulang akan direkabentuk untuk menyuling secara berterusan 204 kmol/jam campuran binari yang mengandungi 60 %mol benzena. Sulingan cecair dan produk bawah cecair yang akan dihasilkan adalah 95 %mol dan 5 %mol benzena, masing-masing. Suapan dipanaskan terlebih dahulu supaya ia memasuki turus dengan pengewapan peratus molar adalah sama dengan pecahan sulingan-kepada-suapan. Gunakan kaedah McCabe-Thiele untuk menghitung yang berikut, dengan mengandaikan tekanan seragam 1 atm pada keseluruhan turus:*

- [i] Amount of distillate and bottoms product  
*Kuantiti sulingan dan produk bawah*
- [ii] Minimum number of theoretical trays at total reflux  
*Bilangan minimum dulang teori pada refluks jumlah*
- [iii] Minimum reflux ratio,  $R_{min}$   
*Pecahan refluks minimum,  $R_{min}$*
- [iv] Theoretical number of trays for a reflux-to-minimum reflux ratio ( $R/R_{min}$ ) of 1.3  
*Bilangan dulang teori bagi refluks-kepada-pecahan refluks minimum ( $R/R_{min}$ ) ialah 1.3*

- [v] Optimal location of the feed  
*Lokasi optimum suapan*
  
- [vi] Actual number of trays if the tray efficiency is 0.80.  
*Bilangan dulang sebenar jika kecekapan dulang ialah 0.80.*

The relation between the mole fraction of benzene in liquid and in vapor is given in Table Q.3.[b].  
*Hubungkait antara pecahan mol benzena dalam keadaan cecair dan wap adalah diberi dalam Jadual S.3.[b].*

Table Q.3.[b].  
*Jadual S.3.[b].*

$y =$ Mole fraction of benzene in vapor $y =$ <i>Pecahan mol benzena dalam gas</i>	$x =$ mole fraction of benzene in liquid $x =$ <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

[18 marks/markah]

4. Jatropha seeds are now gaining popularity as a non-edible oil feedstock for biodiesel production in the world. Mr. Abu, an investor from Singapore decided to venture into this business by opening up huge Jatropha plantations in Malaysia. In preparation to extract the oil from Jatropha seeds, Mr. Abu now requires to set-up a leaching plant. As a chemical engineer, you are required to design the leaching plant for Mr. Abu based on the data below:

*Kini, biji buah jarak semakin popular sebagai sumber minyak yang tidak boleh dimakan bagi menghasilkan biodiesel di dunia. Encik Abu, seorang pelabur dari Singapura bercadang untuk melibatkan diri dalam bidang ini dengan membuka ladang buah jarak yang besar di Malaysia. Dalam membuat persediaan untuk menyanikan minyak daripada biji buah jarak, Encik Abu kini perlu membina sebuah loji penyarian. Sebagai seorang jurutera kimia, anda diperlukan untuk merekabentuk loji penyarian tersebut bagi Encik Abu berdasarkan data di bawah:*

- i. Oil content in Jatropha seeds: 30% by weight  
*Kandungan minyak dalam biji buah jarak : 30% berat*
  - ii. Recovery required: 95%  
*Pemulihan yang diperlukan : 95%*
  - iii. Composition of final solution: 50% by weight of oil  
*Komposisi larutan akhir: 50% berat minyak*
  - iv. Solvent used: Fresh hexane with boiling point about 70 °C  
*Pelarut yang digunakan: Heksana tulen dengan takat didih sekitar 70 °C.*
  - v. Mode of operation: Counter current  
*Kaedah operasi: Berlawanan arus.*
  - vi. Experimental data shows that 1 kg of solution is removed in the underflow in association with every 2 kg of insoluble matter  
*Data ujikaji menunjukkan bahawa 1 kg larutan akan disingkirkan di dalam aliran bawah bagi setiap 2 kg bahan yang tak boleh larut.*
- [a] Calculate how many ideal stages are required for the leaching plant using the right triangular diagram.  
*Kirakan berapa peringkat unggul yang diperlukan bagi loji penyarian tersebut menggunakan gambarajah segitiga tepat.*  
[13 marks/markah]
- [b] If the composition of final solution was to be changed to 70% by weight of oil, how will it effect the leaching plant?  
*Sekiranya komposisi larutan akhir ditukarkan ke 70% berat minyak, bagaimanakah perubahan ini akan mempengaruhi loji penyarian tersebut?*  
[4 marks/markah]



- [c] It is not economical to use fresh solvent for the leaching plant. As an alternative, recycle solvent can be used. How can the spent (used) solvent be re-cycled and how will it effect the leaching plant?

*Penggunaan pelarut tulen bagi loji penyarian adalah tidak ekonomi. Sebagai alternatif, pelarut yang dikitar semula boleh digunakan. Bagaimanakah pelarut terpakai boleh dikitar semula dan bagaimana ini akan mempengaruhi loji penyarian tersebut?*

*[4 marks/markah]*

- [d] Later, Mr. Abu also found out that the jatropha seeds do not have consistent oil content. The oil content ranges from 20% to as high as 50% depending on soil conditions and weather. How will that effect the leaching plant and what would you recommend to overcome it?

*Seterusnya, Encik Abu mendapati bahawa biji buah jarak tidak mengandungi kandungan minyak yang konsisten. Kandungan minyak berjulat daripada 20% ke setinggi 50%, bergantung kepada cuaca dan keadaan tanah. Bagaimana ini akan mempengaruhi loji penyarian dan apakah cadangan anda untuk mengatasi situasi ini?*

*[4 marks/markah]*

Note: For Q.4[b],[c] and [d], there is no need to plot in the graph.

*Nota: Bagi S.4[b],[c] dan [d], tidak perlu untuk plot data dalam graf.*

Appendix

**TABLE 1:** *Flux Equations and Mass-Transfer Coefficients*

*Flux equations for equimolar counterdiffusion*

Gases:  $N_A = k'_c(c_{A1} - c_{A2}) = k'_G(p_{A1} - p_{A2}) = k'_y(y_{A1} - y_{A2})$

Liquids:  $N_A = k'_c(c_{A1} - c_{A2}) = k'_L(c_{A1} - c_{A2}) = k'_x(x_{A1} - x_{A2})$

*Flux equations for A diffusing through stagnant, nondiffusing B*

Gases:  $N_A = k_c(c_{A1} - c_{A2}) = k_G(p_{A1} - p_{A2}) = k_y(y_{A1} - y_{A2})$

Liquids:  $N_A = k_c(c_{A1} - c_{A2}) = k_L(c_{A1} - c_{A2}) = k_x(x_{A1} - x_{A2})$

*Conversions between mass-transfer coefficients*

Gases:

$$k'_c c = k'_c \frac{P}{RT} = k_c \frac{p_{BM}}{RT} = k'_G P = k_G p_{BM} = k_y y_{BM} = k'_y = k_c y_{BM} c = k_G y_{BM} P$$

Liquids:

$$k'_c c = k'_L c = k_L x_{BM} c = k'_L \rho / M = k'_x = k_x x_{BM}$$

(where  $\rho$  is density of liquid and  $M$  is molecular weight)

*Units of mass-transfer coefficients*

	<i>SI Units</i>	<i>Cgs Units</i>	<i>English Units</i>
$k_c, k_L, k'_c, k'_L$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\frac{\text{cm}}{\text{s}}$	$\frac{\text{ft}}{\text{h}}$
$k_x, k_y, k'_x, k'_y$	$\frac{\text{kg mol}}{\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol frac}}$	$\frac{\text{g mol}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol frac}}$	$\frac{\text{lb mol}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{mol frac}}$
$k_G, k'_G$	$\frac{\text{kg mol}}{\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}} \frac{\text{kg mol}}{\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{atm}}$	$\frac{\text{g mol}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{atm}}$	$\frac{\text{lb mol}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{atm}}$