

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
2009/2010 Academic Session

April/May 2010

**IEK 213 – MASS TRANSFER AND SEPARATION PROCESSES**  
**[PROSES PEMINDAHAN JISIM DAN PROSES PEMISAHAN]**

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

---

Please check that this examination paper consists of TEN pages of printed material before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi SEPULUH muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]*

**Instructions:** Answer FIVE (5) questions. You may answer the questions either in Bahasa Malaysia or in English.

**Arahan:** *Jawab LIMA (5) soalan. Anda dibenarkan menjawab soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.*

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.]*

1. A liquid-detergent solution of 100 cP viscosity and 800 kg/m<sup>3</sup> density is to be clarified of fine K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> crystals ( $\rho_p = 1472 \text{ kg/m}^3$ ) by centrifugation. The centrifuge is operating at 23,000 rpm with a throughput of 2.268 kg/h of solution. It is 19.7 cm long with  $r_2 = 2.223 \text{ cm}$  and  $r_2 - r_1 = 1.510 \text{ cm}$ .

(a) Determine the critical particle diameter for this separation.

(b) Determine the sigma ( $\Sigma$ ) value for this centrifuge.

$$u_t = \omega^2 r D_p^2 (\rho_p - \rho) / 18\mu$$

$$q_c = \omega^2 D_{pc}^2 (\rho_p - \rho) [\pi b (r_2^2 - r_1^2)] / \{ 18\mu \ln [2r_2 / (r_1 + r_2)] \}$$

$$q_c = 2 u_{t(g)} \Sigma$$

(100 marks)

2. A plate-and-frame filter press is used to filter a CaCO<sub>3</sub> slurry in water at 298 K ( $\mu = 8.937 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s}$ ) and at constant pressure ( $-\Delta p$ ) of 338 kN/m<sup>2</sup>. Filtration data are reported in Table 1. The total filter area is  $A = 0.0439 \text{ m}^2$  and the slurry concentration is  $W = 23.47 \text{ kg/m}^3$ . Calculate the constant  $\alpha'$  and  $L'$  from the data given, where  $t$  is time in s and  $V$  the filtrate volume collected in m<sup>3</sup>.

**Table 1 Experimental filtration data for CaCO<sub>3</sub> slurry**

$(t-t_0)/(V-V_0)$	$V-V_0$	$(t-t_0)/(V-V_0)$	$V-V_0$
8,830	$0.249 \times 10^{-3}$	22,620	$2.750 \times 10^{-3}$
10,160	$0.749 \times 10^{-3}$	25,590	$3.254 \times 10^{-3}$
13,570	$1.250 \times 10^{-3}$	29,320	$3.755 \times 10^{-3}$
16,630	$1.750 \times 10^{-3}$	31,730	$4.253 \times 10^{-3}$
20,280	$2.249 \times 10^{-3}$	35,310	$4.755 \times 10^{-3}$

For constant pressure filtration:

$$(t - t_0)/(V - V_0) = [\mu\alpha'W/\{2A^2(-\Delta p)\}](V - V_0) + [\mu\alpha'W/\{A^2(-\Delta p)\}]V_0 + \mu\alpha'L'/\{A(-\Delta p)\}$$

(100 marks)

3. A liquid mixture of benzene-toluene is to be distilled in a fractionating tower at 101.3 kPa. The feed of 100 kg-mol/h is liquid and it contains 45 mol % benzene and 55 mol % toluene and enters at 327.6 K. The boiling temperature of the feed is  $T_b = 366.7$  K. A distillate containing 95 mol % benzene and a bottoms containing 5 mol % benzene are to be obtained. The reflux ratio is 4:1. The average heat capacity of the feed is 159 kJ/(kg-mol.K) and the average latent heat is 32,099 kJ/kg-mol. Equilibrium data for this system are given in Table 2.
- Calculate the rates of distillate and bottoms in kg-mol/h.
  - Determine the number of theoretical plates needed by McCabe-Thiele method.
  - Determine the position of the feed plate.

**Table 2 Equilibrium data for the benzene(A)-toluene system**

$x_A$	0.0	0.13	0.26	0.41	0.58	0.78	1.0
$y_A$	0.0	0.26	0.46	0.63	0.78	0.90	1.0

$$y = -qx/(1-q) + x_F/(1-q)$$

$$q = 1 + c_{pL}(T_b - T_F)/\lambda$$

$$y_{n+1} = R_D x_n / (R_D + 1) + x_D / (R_D + 1)$$

(100 marks)

4. A plant must distill a mixture containing 65 mol % methanol and 35 % water. The overhead product is to contain 98 mol % methanol and the bottom product 1 mol % methanol. The feed is at its bubble point. The reflux ratio is to be 2.0 times its minimum value. The equilibrium data are given in Table 3. Determine
- the minimum reflux ratio
  - the number of theoretical plates
  - the position of the feed plate

**Table 3 Equilibrium data for methanol(A)-water system**

$x_A$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$y_A$	0.42	0.58	0.67	0.73	0.78	0.82	0.87	0.91	0.96

(100 marks)

5. Answer any TWO of the following:

(a) Discuss

(i) The following adsorption isotherms:

Langmuir isotherm:  $q_e = q_{\max} K_L C_e / (1 + K_L C_e)$

Freundlich isotherm:  $q_e = K_F C_e^{1/n}$

(ii) Breakthrough wave in adsorption operation.

(50 marks)

(b) (i) Discuss about equilibrium solubility of gases in liquid for absorption operation.

(ii) Discuss about packings and packed tower for absorption operation.

(50 marks)

(c) With the help of figures and equations, discuss about interphase mass transfer.

(50 marks)

6. (a) The solute HCl (A) is diffusing at 288 K through a thin film of water (B) of thickness 2.0 mm. The concentration of HCl at point 1 at one boundary of the film is 12.5 wt % HCl (density  $\rho_1 = 1060.7 \text{ kg/m}^3$ ), and at point 2 at the other boundary HCl concentration is 5.5 wt % ( $\rho_2 = 1030.3 \text{ kg/m}^3$ ). The diffusivity of HCl in water is  $2.5 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ . Calculate the flux of HCl in  $\text{kg-mol/s.m}^2$  at steady state. The molecular weight of HCl is 36.46.

$$N_A = (D_{AB}/zX_{BM})(\rho/M)_{av}(x_{A1} - x_{A2})$$

(70 marks)

(b) Describe the drying operation of wet solids.

(30 marks)

1. Satu larutan bahan cuci cecair yang mempunyai kelikatan 100 cP dan ketumpatan  $800 \text{ kg/m}^3$  akan dijernihkan daripada hablur halus  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ( $\rho_p = 1472 \text{ kg/m}^3$ ) melalui proses pengemparan. Alat pengempar memutar pada 23,000 rpm dengan kadar larutan 2.268 kg/h. Tinggi pengempar itu ialah 19.7 cm dengan  $r_2 = 2.223 \text{ cm}$  dan  $r_2 - r_1 = 1.510 \text{ cm}$ .

(a) Tentukan diameter zarah genting untuk pemisahan ini.

(b) Tentukan nilai sigma ( $\Sigma$ ) bagi pengempar tersebut.

$$u_t = \omega^2 r D_p^2 (\rho_p - \rho) / 18 \mu$$

$$q_c = \omega^2 D_{pc}^2 (\rho_p - \rho) [\pi b (r_2^2 - r_1^2)] / \{18 \mu \ln [2r_2 / (r_1 + r_2)]\}$$

$$q_c = 2 u_{t(g)} \Sigma$$

(100 markah)

2. Satu penuras plat-dan-rangka digunakan untuk menuras buburan  $\text{CaCO}_3$  di dalam air pada 298 K ( $\mu = 8.937 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s}$ ) dan pada tekanan malar ( $-\Delta p$ ) 338  $\text{kN/m}^2$ . Data penurasan adalah dilaporkan dalam Jadual 1. Jumlah luas penurasan ialah  $A = 0.0439 \text{ m}^2$  dan kepekatan buburan itu  $W = 23.47 \text{ kg/m}^3$ . Kirakan pemalar  $\alpha'$  dan  $L'$  daripada data yang diberi.  $t$  ialah masa dalam unit s dan  $V$  isipadu turasan dalam unit  $\text{m}^3$ .

**Jadual 1 Data eksperimen untuk buburan  $\text{CaCO}_3$**

$(t-t_o)/(V-V_o)$	$V-V_o$	$(t-t_o)/(V-V_o)$	$V-V_o$
8,830	$0.249 \times 10^{-3}$	22,620	$2.750 \times 10^{-3}$
10,160	$0.749 \times 10^{-3}$	25,590	$3.254 \times 10^{-3}$
13,570	$1.250 \times 10^{-3}$	29,320	$3.755 \times 10^{-3}$
16,630	$1.750 \times 10^{-3}$	31,730	$4.253 \times 10^{-3}$
20,280	$2.249 \times 10^{-3}$	35,310	$4.755 \times 10^{-3}$

Untuk penurasan tekanan malar:

$$(t - t_o)/(V - V_o) = [\mu \alpha' W / \{2A^2(-\Delta p)\}] (V - V_o) + [\mu \alpha' W / \{A^2(-\Delta p)\}] V_o + \mu \alpha' L' / \{A(-\Delta p)\}$$

(100 markah)

3. Satu campuran cecair benzena-toluena akan disuling di dalam satu menara penyulingan pada 101.3 kPa. Kadar suap cecair ialah 100 kg-mol/h dan mengandungi 45 mol % benzena dan 55 mol % toluena dan memasuki menara pada 327.6 K. Takat didih suap ialah  $T_b = 366.7$  K. Hasil atas perlu mengandungi 95 mol % benzena dan hasil bawah mengandungi 5 mol % benzene. Nisbah refluks ialah 4:1. Muatan haba purata bagi suap ialah 159 kJ/(kg-mol.K) dan haba pendam purata ialah 32,099 kJ/kg-mol. Data keseimbangan bagi sistem ini diberi dalam Jadual 2.

- Kirakan kadar hasil atas dan hasil bawah dalam unit kg-mol/h.
- Tentukan bilangan plat teoretis yang diperlu melalui kaedah McCabe-Thiele.
- Tentukan kedudukan plat suap.

**Jadual 2 Data keseimbangan untuk sistem benzena(A)-toluena**

$x_A$	0.0	0.13	0.26	0.41	0.58	0.78	1.0
$y_A$	0.0	0.26	0.46	0.63	0.78	0.90	1.0

$$y = -qx/(1-q) + x_F/(1-q)$$

$$q = 1 + c_{pL}(T_b - T_F)/\lambda$$

$$y_{n+1} = R_D x_n / (R_D + 1) + x_D / (R_D + 1)$$

(100 markah)

4. Satu kilang ingin menyuling satu campuran yang mengandungi 65 mol % metanol dan 35 % air. Hasil atas akan mengandungi 98 mol % metanol dan hasil bawah 1 mol % metanol. Suap adalah pada takat gelembung. Nisbah refluks bernilai dua kali nilai minimumnya. Data keseimbangan diberi dalam Jadual 3. Tentukan

- nisbah refluks minimum
- bilangan plat teoretis
- kedudukan plat suap

**Jadual 3 Data keseimbangan untuk sistem metanol(A)-air**

$x_A$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$y_A$	0.42	0.58	0.67	0.73	0.78	0.82	0.87	0.91	0.96

(100 markah)

5. Jawab mana-mana DUA soalan berikut:

(a) Bincangkan

(i) isoterma-isoterma penjerapan berikut:

Isoterm Langmuir:  $q_e = q_{max}K_L C_e / (1 + K_L C_e)$

Isoterm Freundlich:  $q_e = K_F C_e^{1/n}$

(ii) lengkung bulus dalam operasi penjerapan.

(50 markah)

(b) (i) Bincangkan tentang keterlarutan keseimbangan gas di dalam cecair untuk operasi penyerapan.

(ii) Bincangkan mengenai bahan padatan dan menara berisi untuk penyerapan.

(50 markah)

(c) Dengan bantuan rajah dan persamaan, bincangkan tentang pemindahan jisim antarafasa.

(50 markah)

6. (a) Zat larut HCl (A) meresap pada 288 K menerusi saput nipis air (B) yang mempunyai ketebalan 2.0 mm. Kepekatan HCl di titik 1 di sempadan saput ialah 12.5 % berat HCl (ketumpatan  $\rho_1 = 1060.7 \text{ kg/m}^3$ ), dan di titik 2 di sempadan lain kepekatan HCl ialah 5.5 % berat HCl ( $\rho_2 = 1030.3 \text{ kg/m}^3$ ). Keresapan HCl di dalam air ialah  $2.5 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ . Kirakan fluks HCl dalam unit  $\text{kg-mol/s.m}^2$  dalam keadaan mantap. Berat molekul bagi HCl ialah 36.46.

$$N_A = (D_{AB}/z_{x_{BM}})(\rho/M)_{av}(x_{A1} - x_{A2})$$

(70 markah)

(b) Ceritakan operasi pengeringan untuk pepejal basah.

(30 markah)