
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Supplementary Semester Examination
Academic Session 2010/2011

June 2011

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 FOURTEEN pages of printed material before you begin the examination.

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

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

Arahan: Jawab LIMA 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. Answer any TWO of the following:

- (a) Discuss the five feeding conditions in the distillation process and their relationships with the q-line in the yx diagram.

(50 marks)

- (b) For an air-water vapour mixture of certain temperature and humidity, show by sketching how you can determine the following properties

- (i) percentage humidity
- (ii) dew point
- (iii) saturation humidity
- (iv) humid heat
- (v) humid volume
- (vi) total enthalpy

(50 marks)

- (c) Discuss the general requirements for the design of a gas-liquid absorption system.

(50 marks)

2. (a) Gas A is diffusing through non-diffusing gas B at steady state. The total pressure is 101.32 kN/m². The temperature is 10°C. The partial pressure of gas A at two planes of 2.5 mm apart is 12,000 and 6,600 N/m², respectively. The diffusion coefficient for the mixture D_{AB} is 1.85×10^{-5} m²/s. What is the rate of diffusion of gas A through each square meter of the two planes, in kmol/s?

$$N_A = p_t D_{AB} (p_{A1} - p_{A2}) / (RT z p_{B,m}), \quad R = 8,314 \text{ N.m/kmol.K}$$

(50 marks)

- (b) A stagnant film formed by two miscible liquid A and B and of 3.0 mm thick at 289 K is in contact at one surface with carbon tetrachloride at steady state in which liquid A is soluble and liquid B is not. $N_A \neq 0$, $N_B = 0$. At point 1 the concentration of liquid A is 20.0 wt% and the solution density is $\rho_1 = 970.0$ kg/m³. At point 2 the concentration of liquid A is 6.5 wt% and $\rho_2 = 989.0$ kg/m³. The diffusion coefficient of liquid A is 0.76×10^{-9} m²/s. Determine the flux N_A .

The molecular weight of liquids A and B are: $M_A = 45.2$, $M_B = 18.02$.

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

(50 marks)

3. A liquid mixture of benzene-toluene is to be distilled at 101.32 kPa. The feed of 100 kmol/h is liquid containing 45 mol % benzene (A) and 55 mol % toluene (B) and enters the distillation tower at 327.6 K. The boiling point of the feed is 366.7 K. A distillate containing 95 mol % benzene and a bottoms containing 10 mol % benzene are to be obtained using a reflux ratio of 4:1.

- (a) Calculate the kmol/h distillate and kmol/h bottoms.
- (b) Determine the number of ideal trays and the position of the feed tray.
 $C_{pL}(\text{feed}) = 159.0 \text{ kJ/kmol.K}$, $\lambda(\text{feed}) = 32,099 \text{ kJ/kmol}$.

$$X_A \quad 0.0 \quad 0.13 \quad 0.26 \quad 0.41 \quad 0.58 \quad 0.78 \quad 1.00$$

$$y_A \quad 0.0 \quad 0.26 \quad 0.46 \quad 0.63 \quad 0.78 \quad 0.90 \quad 1.00$$

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

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

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

(100 marks)

4. A saturated liquid feed of 200 mol/h at the boiling point containing 42 mol % liquid A and 58 mol % liquid B is to be distilled at 101.3 kPa with a reflux ratio of 2.5:1 to produce a distillate containing 97 mol % liquid A and a bottoms containing 1.1 mol % liquid A.

- (a) Calculate the mol/h distillate and the mol/h bottoms.
- (b) Determine the number of ideal plates and the feed plate number.

$$X_A \quad 0.0 \quad 0.08 \quad 0.25 \quad 0.48 \quad 0.79 \quad 1.00$$

$$y_A \quad 0.0 \quad 0.23 \quad 0.51 \quad 0.73 \quad 0.90 \quad 1.00$$

(100 marks)

5. (a) For filtration through a clean filter cloth, the flowrate can be related proportionally to the pressure drop across the cloth and the face area of the cloth. The flowrate is also inversely proportional to the thickness of the cloth.

Derive the general filtration equation that can be used graphically to calculate the specific cake resistance and the medium resistance when the cloth is filtering a suspension in a plate and frame filter press.

Assume constant pressure filtration and the cake is incompressible.

(40 marks)

- (b) The equation derived in 5(a) has to be modified since the operating pressure has to be increased gradually until a truly constant pressure period is achieved. The new equation takes the form:

$$\frac{t - t_s}{V - V_s} = \frac{\alpha \mu C (V + V_s) + \mu R_m}{2A^2 \Delta P} \frac{\mu R_m}{A \Delta P}$$

where t_s and V_s are the actual starting time and starting volume respectively for constant pressure filtration. (All symbols represent the typical parameters for constant pressure filtration).

Filtration tests were carried out with a plate and frame filter press under the following conditions:

Solids: $\rho_s = 2710 \text{ kg/m}^3$

Liquid: water at 20°C

$\mu = 0.001 \text{ Ns/m}^2$

Suspension: concentration = 10 kg/m^3

Filter: plate and frame press, 1 frame, dimensions $430 \times 430 \times 30 \text{ mm}$ (the actual cake thickness can be bigger by 5 mm because of a recess in the plates).

Data for the filtration experiment

Table 1: Data from filtration experiment

$10^{-5} \Delta p, \text{N m}^{-2}$	t, s	V, m ³
0.4	447	0.04
0.5	851	0.07
0.7	1262	0.10
0.8	1516	0.13
1.1	1886	0.16
1.3	2167	0.19
1.3	2552	0.22
1.3	2909	0.25
1.5	3381	0.28
1.5	3686	0.30
1.5	4043	0.32
1.5	4398	0.34
1.5	4793	0.36
1.5	5190	0.38
1.5	5652	0.40
1.5	6117	0.42
1.5	6610	0.44
1.5	7100	0.46
1.5	7608	0.48
1.5	8136	0.50
1.5	8680	0.52
1.5	9256	0.54

The frame was full of cake at $V = 0.56\text{m}^3$

Use the information given to determine the specific cake resistance and the medium resistance.

(60 marks)

6. (a) Drying of different solids will often show in general two major parts of the drying rate curve, i.e. the constant-rate period and the falling-rate period.

Draw a typical plot of the rate of drying of a solid against the moisture content and briefly explain the plot.

(20 marks)

- (b) The drying rate, R , can be calculated using the following equation

$$R = \frac{-L_s}{A} \frac{dX}{dt}$$

where R is the drying rate (kg H₂O/h.m²)
 L_s weight of dry solid (kg)
 A exposed surface area for drying (m²)

Use this equation to derive an equation for calculating the time of drying for a constant rate period.

(20 marks)

- (c) A batch of wet solid whose drying rate curves are shown in Appendix 1, is to be dried from a free moisture content of $X_1 = 0.35$ kg H₂O/kg dry solid to $X_2 = 0.04$ kg H₂O/kg dry solid. The weight of the dry solid is $L_s = 400$ kg and surface area for drying is 20m². Calculate the drying time.

(60 marks)

1. Jawab sebarang DUA soalan di bawah:

(a) Bincangkan lima keadaan suap dalam proses penyulingan dan perhubungan mereka dengan garis-q di dalam gambarajah yx.

(50 markah)

(b) Bagi satu campuran udara-wap air pada suhu dan kelembapan tertentu, tunjukkan dengan menggunakan lakaran bagaimana anda dapatkan sifat-sifat berikut:

- (i) peratusan kelembapan
- (ii) takat embun
- (iii) kelembapan tepu
- (iv) haba lembab
- (v) isipadu lembab
- (vi) jumlah entalpi

(50 markah)

(c) Bincangkan mengenai keperluan am untuk rekabentuk satu sistem penyerapan gas-cecair.

(50 markah)

2. (a) Gas A meresap menerusi gas B yang takmeresap dalam keadaan mantap. Jumlah tekanan ialah 101.32 kN/m^2 . Suhu ialah 10°C . Tekanan separa gas A di dua satah yang jarak antaranya 2.5 mm ialah masing-masing $12,000$ dan $6,600 \text{ N/m}^2$. Pekali peresapan bagi campuran tersebut D_{AB} ialah $1.85 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Apakah kadar peresapan gas A menerusi setiap meter persegi kedua-dua satah tersebut dalam unit kmol/s ?

$$N_A = p_i D_{AB} (p_{A1} - p_{A2}) / (RTz p_{B,m}), \quad R = 8,314 \text{ N.m/kmol.K}$$

(50 markah)

(b) Satu saput genang yang dibentuk daripada dua cecair A dan B dan mempunyai ketebalan 3.0 mm pada 289 K adalah dalam sentuhan di satu permukaan dengan karbon tetraklorida dalam keadaan mantap di mana cecair A boleh melarut tetapi cecair B tidak boleh melarut. $N_A \neq 0$, $N_B = 0$. Di titik 1, kepekatan cecair A ialah 20.0% berat dan ketumpatan larutan ialah $\rho_1 = 970.0 \text{ kg/m}^3$. Di titik 2, kepekatan cecair A ialah 6.5% berat dan ketumpatan larutan ialah $\rho_2 = 989.0 \text{ kg/m}^3$. Pekali peresapan cecair A ialah $0.76 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Tentukan fluks N_A .

$$\text{Berat molekul bagi cecair A dan B: } M_A = 45.2, M_B = 18.02$$

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

(50 markah)

3. Satu campuran cecair benzena-toluena akan disuling pada 101.32 kPa. Suap pada 100 kmol/h adalah cecair yang mengandungi 45 %mol benzena (A) dan 55 %mol toluena (B) dan memasuki menara penyulingan pada 327.6 K. Takat didih suap ialah 366.7 K. Hasil atas yang mengandungi 95 %mol benzena dan hasil bawah yang mengandungi 10 %mol benzena akan didapati dengan menggunakan nisbah refluks 4:1.

(a) Hitungkan kmol/h hasil atas dan kmol/h hasil bawah.

(b) Tentukan bilangan dulang unggul dan kedudukan dulang suap.

$$C_{pL}(\text{suap}) = 159.0 \text{ kJ/kmol.K}, \quad \lambda(\text{suap}) = 32,099 \text{ kJ/kmol.}$$

$$x_A \quad 0.0 \quad 0.13 \quad 0.26 \quad 0.41 \quad 0.58 \quad 0.78 \quad 1.00$$

$$y_A \quad 0.0 \quad 0.26 \quad 0.46 \quad 0.63 \quad 0.78 \quad 0.90 \quad 1.00$$

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

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

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

(100 markah)

4. Satu suap cecair tepu yang pada 200 mol/h pada takat didih and mengandungi 42 %mol cecair A dan 58 %mol cecair B akan disuling pada 101.32 kPa dengan nisbah refluks 2.5:1 untuk mengeluarkan hasil atas yang mengandungi 97 %mol cecair A dan hasil bawah yang mengandungi 1.1 %mol cecair A.

(a) Hitungkan mol/h hasil atas dan mol/h hasil bawah.

(b) Tentukan bilangan plat unggul dan kedudukan plat suap.

$$x_A \quad 0.0 \quad 0.08 \quad 0.25 \quad 0.48 \quad 0.79 \quad 1.00$$

$$y_A \quad 0.0 \quad 0.23 \quad 0.51 \quad 0.73 \quad 0.90 \quad 1.00$$

(100 markah)

5. (a) Untuk penurasan melalui kain turas bersih, kadar aliran boleh dikaitkan secara berkadar terus dengan jatuhan tekanan merentasi kain dan juga dengan luas permukaan kain. Kadar aliran juga berkadar songsang dengan tebal kain.

Terbitkan persamaan umum penurasan yang boleh digunakan secara grafik untuk mengira rintangan kek khusus dan rintangan medium apabila berlaku penurasan suatu ampaiian dengan menggunakan penuras tekan jenis plat dan kerangka. Andaikan penurasan pada tekanan malar dan kek tak termampatkan.

(40 markah)

- (b) Persamaan yang diterbitkan dalam bahagian 5 (a) perlu diubahsuai kerana tekanan ketika operasi perlu ditingkatkan secara beransur-ansur sehingga tempoh tekanan mantap hakiki diperolehi. Persamaan baru itu ditulis seperti berikut:

$$\frac{t - t_s}{V - V_s} = \frac{\alpha \mu C (V + V_s) + \mu R_m}{2A^2 \Delta P} \frac{\mu R_m}{A \Delta P}$$

t_s dan V_s masing-masing merupakan masa mula dan isipadu mula sebenar untuk penurasan tekanan malar. (Semua simbol mewakili parameter-parameter yang lazim untuk penurasan tekanan malar).

Ujikaji penurasan telah dilaksanakan dengan menggunakan penuras tekan jenis plat dan kerangka menurut keadaan berikut:

Pepejal: $\rho_s = 2710 \text{ kg/m}^3$

Cecair: air pada 20°C

$$\mu = 0.001 \text{ Ns/m}^2$$

Ampaiian: kepekatan = 10 kg/m^3

Penuras: jenis tekan plat dan kerangka, 1 kerangka dimensi $430 \times 430 \times 30 \text{ mm}$ (tebal kek sebenar boleh lebih sehingga 5 mm kerana terdapat ruang pada plat).

Data untuk ujikaji tersebut dicatat seperti berikut.

Jadual 1: Data ujikaji penurasan

$10^{-5} \Delta p, N m^{-2}$	t, s	V, m^3
0.4	447	0.04
0.5	851	0.07
0.7	1262	0.10
0.8	1516	0.13
1.1	1886	0.16
1.3	2167	0.19
1.3	2552	0.22
1.3	2909	0.25
1.5	3381	0.28
1.5	3686	0.30
1.5	4043	0.32
1.5	4398	0.34
1.5	4793	0.36
1.5	5190	0.38
1.5	5652	0.40
1.5	6117	0.42
1.5	6610	0.44
1.5	7100	0.46
1.5	7608	0.48
1.5	8136	0.50
1.5	8680	0.52
1.5	9256	0.54

Kerangka penuh pada isipadu $V = 0.56m^3$

Guna maklumat yang telah diberi untuk menentukan nilai rintangan kek khusus dan rintangan medium.

(60 markah)

6. (a) Pengeringan pelbagai pepejal lazimnya akan menunjukkan secara am dua bahagian utama lengkung kadar pengeringan yakni tempoh kadar-malar dan tempoh kadar-jatuh.

Lakarkan suatu graf lazim bagi kadar pengeringan suatu pepejal melawan kandungan lembapan dan beri keterangan ringkas mengenai graf itu.

(20 markah)

- (b) *Kadar pengeringan, R , boleh dikira dengan menggunakan persamaan berikut:*

$$R = \frac{-L_s}{A} \frac{dX}{dt}$$

R ialah kadar pengeringan ($\text{kg H}_2\text{O}/\text{h.m}^2$)

L_s berat pepejal kering (kg)

A luas permukaan terdedah untuk pengeringan (m^2)

Gunakan persamaan ini untuk menerbitkan suatu persamaan bagi pengiraan masa pengeringan dalam tempoh kadar malar.

(20 markah)

- (c) *Sekelompok pepejal basah yang lengkung-lengkung pengeringannya ditunjukkan di dalam Apendik 1, perlu dikeringkan dari kandungan lembapan bebas $X_1 = 0.35 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{kg}$ pepejal kering sehingga $X_2 = 0.04 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg}$ pepejal kering. Berat pepejal kering ialah $L_s = 400 \text{ kg}$ dan luas permukaan untuk pengeringan ialah 20 m^2 . Kira masa pengeringan.*

(60 markah)