
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
2010/2011 Academic Session

November 2010

EKC 313 – Separation Process
[Proses Pemisahan]

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

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

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

Instruction: Answer **ALL** (5) questions.

Arahan: Jawab **SEMUA** (5) 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.]

(Steam tables are provided)
(Jadual stim disediakan)

...2/-

Answer ALL questions.

Jawab SEMUA soalan.

1. [a] Discuss the parameters which determine the rates of heat and mass transfer across a droplet/air interface in a spray humidification chamber with reference to a liquid film and gas film on both sides of the interface.

Bincangkan parameter-parameter yang menentukan kadar pemindahan haba dan kadar pemindahan jisim yang merentasi suatu antara muka titisan/udara dalam sebuah kebuk pelembapan semburan dengan berpandukan suatu saput cecair dan suatu saput gas di kedua-dua belah antara muka tersebut.

[5 marks/markah]

- [b] Explain what is meant by the “gas film controlling the mass transfer” in humidification equipment.

Terangkan apakah yang dimaksudkan dengan “saput gas mengawal pemindahan jisim” dalam peralatan pelembapan.

[4 marks/markah]

- [c] A counter current packed bed cooling tower is used to cool 100 kg/h of water from 45°C to 35°C using air of dry bulb 28°C and wet bulb 24°C. Conditions of air at outlet of the tower is 32.5°C and 85% humidity. Heat and mass transfer within the tower may be assumed to be gas film controlled. Estimate the number of transfer units for the tower. (A psychrometric chart is provided).

Sebuah menara pendinginan lapisan terpadat berlawanan arus digunakan untuk menyejukkan 100 kg/j air dari 45 °C ke 35 °C dengan menggunakan udara yang mempunyai bebuli kering 28 °C dan bebuli basah 24 °C. Keadaan udara di saluran keluar menara ialah 32.5 °C dan kelembapan 85%. Pemindahan haba dan pemindahan jisim dalam menara boleh diandaikan dikawal oleh saput gas. Anggarkan bilangan unit pemindahan bagi menara tersebut (sebuah carta psikrometri disediakan).

[5 marks/markah]

- [d] What is the minimum ratio of the mass flow rates of air and water if the air and the water temperatures of inlet and exit are kept constant.

Apakah nisbah minimum kadar aliran jisim udara dan kadar aliran jisim air jika suhu udara dan suhu air di saluran masuk dan saluran keluar dikekalkan malar.

[4 marks/markah]

2. A drum dryer (Figure Q.2.) is used to dry a slurry. This consist of a slowly rotating hollow steel drum. A thin layer of slurry is spread uniformly over the outer surface at location A. The drum rotates at an angular speed of ω rev/minute is heated internally by pressurised steam. The slurry layer on the surface of the drum reaches a temperature T_s rapidly. The dried product is scraped off at a location B by a 'knife edge' as shown.

The final moisture content (X_f kg moisture/kg of dry material) in the slurry on the drum surface depends on the time of exposure (t seconds) of the slurry from the time of initial spread. The vapour pressure at the layer at a temperature (T_s) outside the drum is p_s .

Sebuah pengering gelendong (Rajah S.2.) yang mengandungi sebuah gelendong keluli bergeronggang yang berputar secara perlahan digunakan untuk mengeringkan suatu buburan. Suatu lapisan nipis buburan tersebut tersebar secara seragam pada permukaan luaran di lokasi A. Gelendong tersebut berputar pada kelajuan sudut ω putaran/minit dan dipanaskan secara dalaman oleh stim bertekanan. Lapisan buburan pada permukaan gelendong tersebut mencapai suhu T_s dengan pantas. Produk kering dikikis di lokasi B oleh sebuah 'mata pisau' seperti yang ditunjukkan.

Kandungan lembapan akhir (X_f kg lembapan / kg bahan kering) dalam buburan pada permukaan gelendong bergantung kepada masa pendedahan (t saat) buburan dari masa penyebaran awal. Tekanan wap lapisan tersebut pada suhu (T_s) di luar gelendong ialah p_s .

The relationship between X_f , t and p_s has been evaluated as
Hubungan antara X_f , t dan p_s telah dinilai sebagai

$$X_o - X_f = \alpha (t^2 + 0.1t) \cdot (p_s - p_v)$$

where X_o is the original moisture content of the slurry, p_v is the vapour pressure of water of bulk air outside the drum surface.

di mana, X_o ialah kandungan lembapan asal buburan, p_v ialah tekanan wap udara pukal di luar permukaan gelendong.

- [a] A slurry having an initial moisture content of 1.5 (X_i dry basis) is dried to a final moisture content of 0.3 (X_f dry basis) on the drum dryer at an average layer temperature of 85 °C when the drum rotates at 1 rpm and knife edge is placed at $\theta = 120^\circ$.

Estimate the value of α in the above equation.

Suatu buburan yang mempunyai kandungan lembapan awal 1.5 (X_i asas kering) dikeringkan kepada kandungan lembapan akhir 0.3 (X_f asas kering) dalam pengering gelendong pada suhu lapisan purata 85 °C apabila gelendong berputar pada 1 rpm dan mata pisau diletakkan pada $\theta = 120^\circ$.

Anggarkan nilai α dalam persamaan di atas.

[7 marks/markah]

...4/-

- [b] Estimate the position of the angle θ of the knife edge for the same initial and final moisture contents of the dried product if the average temperature of the drying film is changed to $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the rotation speed is increased to 1.1 rpm. An average partial pressure of 5 kPa moisture in air outside the drum may be assumed. (Standard steam tables are provided)

Anggarkan kedudukan sudut θ mata pisau untuk kandungan-kandungan lembapan awal dan akhir yang sama bagi produk kering jika suhu purata saput pengeringan ditukarkan ke $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan laju putaran ditingkatkan ke 1.1 rpm. Andaikan tekanan separa purata ialah 5 kPa kelembapan dalam udara di luar gelendong. (Jadual Stim Piawai disediakan)

[7 marks/markah]

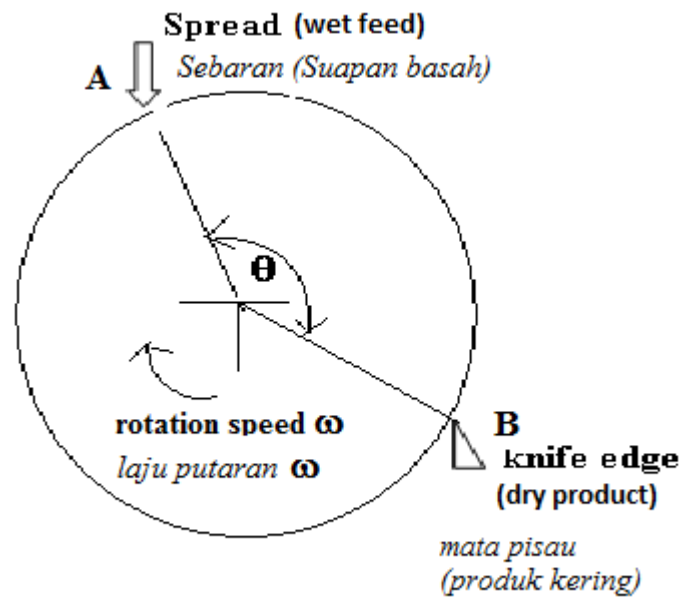


Figure Q.2.
Rajah S.2.

3. [a] In an industrial process, 10 m^3 of glucose solution of concentration 0.2 g/litre is to be treated in a two stage adsorber system in series in order to obtain a final product of concentration 0.05 g/litre . Each adsorber is using equal amounts of adsorbent. Estimate the adsorbent weight required in each stage.

Dalam sebuah proses industri, 10 m^3 larutan glukosa dengan kepekatan 0.2 g/liter akan dirawat dalam suatu sistem penjerap dua peringkat secara bersiri bagi memperoleh suatu produk akhir dengan kepekatan 0.05 g/liter . Setiap penjerap menggunakan jumlah bahan penjerap yang sama. Anggarkan berat bahan penjerap yang diperlukan pada setiap peringkat.

[8 marks/markah]

- [b] Due to a problem in the demand, each stage if the volume of the feed solution is changed to 20 m^3 in order to achieve the final concentration of $0.05 \text{ g glucose/litre}$ in the final product. Estimate the number of stages required for the same quantities of adsorbent in each stage.

Akibat daripada masalah permintaan, isipadu larutan suapan pada setiap peringkat ditukarkan kepada 20 m^3 bagi mencapai kepekatan akhir $0.05 \text{ g glukosa/liter}$ dalam produk akhir. Anggarkan bilangan peringkat yang diperlukan bagi kuantiti bahan penjerap yang sama untuk setiap peringkat.

Equilibrium data for glucose-water system on adsorbent is given in Table Q.3.[b].

Data keseimbangan untuk sistem glukosa-air pada bahan penjerap diberikan dalam Jadual S.3.[b].

Table Q.3.[b].

Jadual S.3.[b].

Concentration of glucose in solution (g/litre) <i>Kepekatan glukosa dalam larutan (g/liter)</i>	0.004	0.0087	0.019	0.027	0.094	0.195
Weight of glucose adsorbed at equilibrium per unit weight of adsorbent (g glucose/g adsorbent) <i>Berat glukosa terjerap pada keseimbangan per unit berat bahan penjerap (g glukosa/g bahan penjerap)</i>	0.026	0.053	0.075	0.082	0.123	0.129

[10 marks/markah]

4. [a] JK is interested to use magnetic nanospheres with diameter around 25 nm to remove IgG (Immunoglobulin G) out from physiological media (viscosity ~ 3 cP) by a super strong externally applied magnetic field at 1.5 Tesla. Based on Reynolds number and Peclet number analysis.

JK tertarik untuk menggunakan nanospheres magnet dengan diameter sekitar 25 nm untuk memisahkan IgG (Immunoglobulin G) keluar daripada media fisiologi (kelekatatan ~ 3 cP) selepas terdedah kepada satu bekalan magnet luar yang sekuat 1.5 Tesla. Berdasarkan analisa nombor Reynolds dan Peclet, berikan hujahan anda secara kualitatif berkenaan.

- [i] what are the competing forces that are involved in those analysis?
apakah daya bersaing yang terlibat dalam analisis tersebut?
- [ii] how are the competing forces ensure the success/failure of the separation of IgG?
bagaimana daya-daya bersaing tersebut menentukan kejayaan/kegagalan pemisahan IgG?
- [iii] If the entire separation process is conducted within a microfluidic channel with width ~ 10 μm, is the flow of the nanospheres within the high Knudsen flow regime while the magnetic field is turned off? Explain your answer and why this finding is important.

Jika semua proses pemisahan dilakukan dalam saluran mikrobendalir dengan lebar saluran ~ 10 μm, adakah aliran nanosfera dalam rejim aliran Knudsen sementara medan magnet dimatikan? Jelaskan jawapan anda dan mengapa penemuan ini adalah penting.

Given:
Di beri:

$$\text{Re} = \frac{\rho v d}{\mu}, \quad \text{Pe} = \frac{v d}{D}, \quad \text{Kn} = \frac{k T}{\sqrt{2 \pi d^2} p L}$$

[10 marks/markah]

- [b] A porous-glass membrane, with an average pore diameter of 400 nm is to be used to separate light gases at 25 °C under conditions where Knudsen flow may be dominant. The downstream pressure is 15 psia, while the upstream pressure is not greater than 120 psia. The membrane has been calibrated with pure helium gas, giving a constant permeability of 117,000 barrer over the operating pressure range. Experiments with pure CO₂ over the pressure range give a permeability of 68,000 barrer.

Sebuah membran berliang-kaca, dengan diameter pori rata-rata 400 nm yang akan digunakan untuk memisahkan gas ringan pada 25 ° C dalam aliran Knudsen. Tekanan hilir adalah 15 psia, sementara tekanan hulu tidak lebih daripada 120 psia. Membran tersebut telah dikalibrasikan dengan gas helium dan didapati pemalar ketelapan ialah 117,000 Barrer dalam lingkungan tekanan operasi. Manakala percubaan dengan CO₂ dalam lingkungan tekanan yang sama memberikan pemalar ketelapan 68,000 Barrer.

Assuming that helium in Knudsen flow, predict the permeability of CO₂. Is the value in agreement with the experimental value? If not, suggest an explanation. (Molecular weight of He = 4.0 gmol and CO₂ = 44.01 gmol. 1 atm = 14.7 psia). Refer to the appendix for related equations.

Andaikan bahawa helium dalam aliran Knudsen, ramalkan ketelapan CO₂. Adakah nilai ini sama dengan nilai eksperimen? Jika tidak, bincangkan mengapa ini berlaku? (Berat molekul untuk He = 4.0 gmol dan CO₂ = 44.01 gmol. 1 atm = 14.7 psia)

[15 marks/markah]

5. [a] An experimental filter press having an area of 0.0414 m^2 is used to filter an aqueous CaCO_3 slurry at a constant pressure of 267 kPa. The filtration equation obtained was

Sebuah penapis penekan memiliki keluasan 0.0414 m^2 digunakan untuk menapis bubur cecair CaCO_3 pada tekanan 267 kPa. Hasil penapisan yang diperolehi boleh diterangkan dengan persamaan berikut:

$$\frac{t}{V} = 10.25 \times 10^6 V + 3.4 \times 10^3$$

where t is in sec and V in m^3

di mana t adalah dalam saat dan V dalam m^3 .

- [i] If the same slurry and conditions are used in a leaf press having an area of 6.97 m^2 , how long will it take to obtain 1 m^3 of filtrate?

Sekiranya penapis dedaun yang memiliki keluasan 6.97 m^2 digunakan untuk menjalankan proses yang sama, berapa lamakah diperlukan untuk menapis 1 m^3 bubur cecair CaCO_3 ?

- [ii] After filtration in [i], the cake is to be washed with 0.1 m^3 of water. Calculate the time of washing.

Selepas proses penapisan seperti yang dicadangkan dalam [i], tapisan yang tertinggal akan dicuci dengan 0.1 m^3 air. Kirakan masa pembersihan tersebut.

- [iii] Is that possible to apply the same working conditions of this unit to rotary drum filter? Explain why?

Bolehkah keadaan operasi ini digunakan untuk penapis gelendong berputar? Terangkan kenapa?

Given:

Di beri:

$$t = \frac{K_p}{2} V^2 + BV \text{ where, } K_p = \frac{\mu \alpha c_s}{A^2 (-\Delta p)} \text{ and } B = \frac{\mu}{A (-\Delta p)} R_m.$$

[10 marks/markah]

[b] The Kelvin equation $\left[\ln S = \ln\left(\frac{c}{c_s}\right) = \frac{4v_s\sigma_{s,L}}{vRTD} \right]$ predicts that solubility

increases to infinity as the crystal diameter decrease to zero. However for several inorganic salts in water, there are ample experimental evidences showing a maximum in the solubility curve and a solubility that approaches zero as crystal size is reduced to zero. The underlying explanation for this observation is that the surface energy of the crystals depends not only on interfacial tension, but also on surface electrical charge, given by $2q^2v_s / \pi\kappa RTD_p^4$

Persamaan Kelvin $\left[\ln S = \ln\left(\frac{c}{c_s}\right) = \frac{4v_s\sigma_{s,L}}{vRTD} \right]$ meramalkan kelarutan meningkat

tak terhingga apabila saiz hablur turun menjadi sifar. Namun demikian, untuk beberapa jenis garam bukan organik dalam air, ada banyak bukti eksperimen yang menunjukkan ukuran kelarutan sebenarnya mencapai maksimum semasa saiz hablur turun menjadi sifar. Sebab utama keadaan ini berlaku kerana tenaga permukaan hablur bukan sahaja bergantung kepada tegangan permukaan, tetapi juga kepada cas elektrik permukaan $2q^2v_s / \pi\kappa RTD_p^4$

where q is the electrical charge on the crystal and κ is the dielectric constant. Modify Kelvin equation to take into account electrical charge. Under this hypothesis the proposed electrostatic interactions would hinder the crystal formation. Make sure your equation predicts the maximum.

di mana q adalah cas elektrik pada hablur dan κ merupakan pemalar dielektrik. Sila ubahsuaikan persamaan Kelvin untuk mempertimbangkan sumbangan cas elektrik. Mengikut hipotesis ini, interaksi elektrostatik akan menghalang pembentukan hablur. Pastikan persamaan anda dapat meramal kelarutan maksimum.

[15 marks/markah]

AppendixExtra information provided

1. Stokes-Einstein Equation:

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta R}$$

2. For Knudsen diffusion

$$D_K = 4850d_p \left(\frac{T}{M} \right)^{1/2} \quad \frac{P_A}{P_B} = \left(\frac{M_A}{M_B} \right)^{1/2}$$

3. Molecular diffusion for gas mixture A and B

$$D_{A,B} = \frac{0.00143T^{1.75}}{PM_{A,B}^{1/2} (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \quad \text{in cm}^2/\text{sec}$$

$$M_{A,B} = \frac{2}{(1/M_A) + (1/M_B)}$$

M_i = molecular weight of i

V_i = diffusion volume of simple molecules

P = pressure in atm

T = temperature

4. For the combination diffusivity of Knudsen diffusion and Molecular diffusion

$$D_{comb} = \frac{1}{1/D_K + 1/D_{Molecule}}$$

Table 3.1 Diffusion Volumes from Fuller, Ensley, and Giddings [*J. Phys. Chem*, **73**, 3679–3685 (1969)] for Estimating Binary Gas Diffusivity by the Method of Fuller et al. [3]

Atomic Diffusion Volumes Atomic and Structural Diffusion-Volume Increments			
C	15.9	F	14.7
H	2.31	Cl	21.0
O	6.11	Br	21.9
N	4.54	I	29.8
Aromatic ring	-18.3	S	22.9
Heterocyclic ring	-18.3		
Diffusion Volumes of Simple Molecules			
He	2.67	CO	18.0
Ne	5.98	CO ₂	26.7
Ar	16.2	N ₂ O	35.9
Kr	24.5	NH ₃	20.7
Xe	32.7	H ₂ O	13.1
H ₂	6.12	SF ₆	71.3
D ₂	6.84	Cl ₂	38.4
N ₂	18.5	Br ₂	69.0
O ₂	16.3	SO ₂	41.8
Air	19.7		

