
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
Academic Session 2007/2008

April 2008

EKC 215 – Mass Transfer
[Pemindahan Jisim]

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

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

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

Instructions: Answer any **FOUR** (4) questions.

Arahan: Jawab mana-mana **EMPAT** (4) soalan.]

You may answer your questions either in Bahasa Malaysia or in English.

[Anda dibenarkan menjawab soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]

Answer any FOUR questions.

Jawab mana-mana EMPAT soalan.

1. [a] Explain the term "Gas film controlled mass transfer" in liquid/gas mass transfer operations.

Terangkan istilah "Pemindahan jisim saput gas terkawal" dalam operasi pemindahan jisim cecair/gas.

[3 marks/markah]

- [b] The level of water in a well is measured to be 4.1 m below the mouth of the well. When wind blows over the well, water vapour from inside diffuses through the well tube from the surface of water upto the top of the well and gets completely wiped away by the wind. The temperature of water and the surroundings is 30°C. The pressure is 101.33 kPa. Diffusion may be assumed to be under stagnant conditions of air. The moisture evaporation rate is found to be 2.9×10^{-6} kg/m².s. Estimate:

Paras air di dalam sebuah telaga telah diukur sebagai berada 4.1 m di bawah mulut telaga. Apabila angin bertiup melepasi telaga, wap air dari dalam meresap menerusi tiub telaga dari permukaan air ke bahagian atas telaga dan di bawa sepenuhnya oleh angin. Suhu air dan persekitaran ialah 30°C. Tekanan ialah 101.33 kPa. Resapan boleh diandaikan berlaku di bawah keadaan genang udara. Kadar sejatan lembapan didapati bernilai 2.9×10^{-6} kg/m².s. Anggarkan:

- [i] the diffusion coefficient of water vapour in air and pekali resapan wap air dalam udara

- [ii] the partial pressure of water vapour at a point 1m above the water surface in the well.
tekanan separa wap air pada kedudukan 1 m dari permukaan air dalam telaga.

The saturation vapor pressure of water vapour at 30°C = 4.241 kPa and $R = 8.314 \text{ m}^3 \text{ Pa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Tekanan wap tepu bagi wap air pada 30°C = 4.241 kPa dan $R = 8.314 \text{ m}^3 \text{ Pa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

[11 marks/markah]

- [c] Using the above estimated diffusion coefficient, estimate the rate of evaporation in kg water/m².s from a pond of water having a large surface under the same surrounding temperature and pressure conditions as given in [b]. The evaporation from the pond can be assumed to be by film diffusion and gas film controlled. The average gas film thickness may be assumed to be 2.1×10^{-3} m.

Dengan menggunakan pekali resapan yang dianggarkan di atas, anggarkan kadar sejatan dalam kg air/m².s dari sebuah kolam air yang mempunyai permukaan besar di bawah suhu persekitaran dan keadaan tekanan yang sama di [b]. Sejatan dari kolam boleh diandaikan berlaku menerusi resapan saput dan oleh saput gas terkawal. Ketebalan purata saput gas boleh diandaikan sebagai 2.1×10^{-3} m.

[11 marks/markah]

...3/-

2. [a] Define the terms

- [i] Volatility
- [ii] Relative volatility

Takrifkan istilah

- [i] *Kemeruwapan*
- [ii] *Kemeruwapan relatif*

[4 marks/markah]

[b] A mixture of 65 kmol of benzene and 35 kmol of toluene is fractionated batch-wise in a column having four plates. The distillate composition is kept constant at 0.95 by means of controls which regulate the reflux ratio. The relative volatility of benzene/toluene may be taken as 2.4. Estimate the:

Suatu campuran 65 kmol benzena dan 35 kmol toluena melalui pemeringkatan secara kelompok di dalam sebuah turus dengan empat plat. Komposisi sulingan dikekalkan malar pada 0.95 melalui kawalan yang mengatur nisbah refluks. Kemeruwapan relatif benzena/toluena boleh diambil sebagai 2.4. Anggarkan:

- [i] values of the bottom product compositions for reflux ratios of 2 and 4.
nilai-nilai komposisi produk bawah bagi nisbah refluks 2 dan 4.

[12 marks/markah]

- [ii] number of moles at the bottom when its composition is 0.2 mole fraction of benzene.
bilangan mol di bawah apabila komposisi ialah 0.2 pecahan mol benzena.

[9 marks/markah]

3. ABC Corporation has a 4 stage tray tower that is designed to recover ethyl alcohol from an inert gas stream using water. The tower is designed to treat 100 kg-mol/h of inlet gas stream that contains 2.2 mol% alcohol. Ignoring the amount of alcohol in the liquid feed stream, it is desired to recover 80% of the total mol of ethyl alcohol in the feed gas stream. Based on the information given by the company that designed the tower (PQ Consulting Sdn. Bhd.), it was suggested to use recycle water containing 0.5 mol% alcohol as the solvent and the total amount of liquid stream should be set at 50 kg-mol/h. However, after running the absorption process for a few times, it was found that the recovery of the alcohol is always less than the desired value. As a chemical engineer working in ABC Corporation, your section manager has instructed you to:

Syarikat ABC mempunyai satu turus empat peringkat yang direkabentuk untuk memulihkan etil alkohol daripada aliran gas lengai dengan menggunakan air. Turus tersebut direkabentuk untuk merawat 100 kg-mol/jam aliran gas lengai yang mengandungi 2.2% mol alkohol. Dengan mengabaikan kuantiti alkohol dalam aliran cecair suapan, proses ini ingin memulihkan 80% daripada jumlah mol etil alkohol di dalam aliran gas suapan. Berdasarkan maklumat yang diberikan oleh syarikat yang merekabentuk turus tersebut (PQ Konsultansi Sdn. Bhd), adalah dicadangkan untuk menggunakan air kitar semula yang mengandungi 0.5% mol alkohol sebagai pelarut dan jumlah kuantiti aliran cecair harus ditetapkan pada 50 kg-mol/jam. Walaubagaimanapun, selepas menjalankan proses penyerapan tersebut untuk beberapa kali, didapati bahawa kuantiti alkohol yang dipulihkan adalah sentiasa kurang daripada nilai yang dikehendaki. Sebagai seorang jurutera kimia yang bekerja di Syarikat ABC, pengurus bahagian anda telah mengarahkan anda untuk:

- [a] Identify possible causes why the recovery of alcohol is always less than the desired value. Whenever possible, you have to support your reasoning with data.

Mengenalpasti sebab-sebab yang mungkin boleh menyebabkan kuantiti alkohol yang dipulihkan sentiasa kurang daripada nilai yang dikehendaki. Anda perlu menyokong sebab-sebab anda dengan data pengiraan sekiranya boleh.

[10 marks/markah]

- [b] Suggest 2 possible ways how you can overcome this problem if your company insist to use the 4 stage tray tower and without changing the inlet gas stream. Whenever possible, your suggestion should be supported with data. State clearly any assumptions made and discuss if your proposed solutions have any limitations or advantages over one another.

Cadangkan 2 cara yang mungkin boleh dilaksanakan bagi mengatasi masalah ini sekiranya syarikat anda masih ingin menggunakan turus 4 peringkat tersebut dan tanpa mengubah aliran gas suapan. Anda perlu menyokong cadangan anda dengan data pengiraan sekiranya boleh. Nyatakan dengan jelas sebarang anggapan yang dibuat dan bincangkan sama ada kedua-dua cadangan yang dibuat mempunyai kekurangan atau kelebihan di antara satu sama lain.

[15 marks/markah]

Assumption: The system can be assumed dilute and the equilibrium relationship can be taken as $y = 0.68x$.

Anggapan: Sistem tersebut boleh dianggap cair dan hubungan keseimbangan boleh diambil sebagai $y = 0.68x$.

4. [a] "Black ash" containing 65% soluble BaS by weight, is to be leached with pure water. Black ash is fed to a continuous countercurrent extraction system at 100 ton/day. The strong solution overflowing from the first thickener is to contain 20% BaS by weight. Experiments show that for every 1 kg of insoluble solid, 1.5 kg of solution will be retained. The solution in the out-going overflow and that in the sludge leaving any thickener may be assumed to have the same BaS concentration. It is desired to keep the BaS lost with the final sludge to at most 1 kg/day. Calculate the number of thickeners required.

"Abu hitam" yang mengandung 65% (berat), BaS yang boleh larut, akan dikuraskan dengan air tulen. "Abu hitam" tersebut disuapkan ke dalam sistem penyarian berlawanan arus berterusan pada kadar 100 tan/hari. Larutan pekat yang melimpah keluar daripada pemekat pertama perlu mengandungi 20% (berat) BaS. Data eksperimen menunjukkan bahawa bagi setiap 1 kg pepejal yang tak larut, 1.5 kg larutan akan tertahan. Larutan di keluaran aliran atas dan di keluaran aliran enapcemar yang meninggalkan setiap pemekat boleh dianggap mempunyai kepekatan BaS yang sama. BaS yang hilang bersama-sama dengan aliran enapcemar pemekat terakhir haruslah tidak melebihi 1 kg/hari. Kirakan bilangan pemekat yang diperlukan.

[13 marks/markah]

- [b] A feed mixture weighing 200 kg of unknown composition containing water, acetic acid and isopropyl ether is contacted in a single stage with 280 kg of mixture containing 40 wt% acetic acid, 10 wt% water and 50 wt% isopropyl ether. The resulting raffinate layer weighs 320 kg and contains 29.5 wt% acetic acid, 66.5 wt% water and 4.0 wt% isopropyl ether. Determine the original composition of the feed mixture and the composition of the resulting extract layer. **The equilibrium data is given in the appendix.**

Suatu campuran suapan 200 kg yang tidak diketahui komposisinya yang mengandungi air, asid asitik dan isopropil eter dicampurkan dengan 280 kg larutan campuran yang mengandungi 40% berat asid asitik, 10% berat air dan 50% berat isopropil eter di dalam tangki satu peringkat. Berat lapisan rafinat yang terhasil adalah 320 kg dan mengandungi 29.5% berat asid asitik, 66.5% berat air dan 4.0% isopropil eter. Tentukan komposisi asal larutan campuran suapan dan komposisi lapisan ekstrak yang terhasil. Data keseimbangan diberikan di dalam lampiran.

[12 marks/markah]

5. [a] A mixture of acetone and water is fractionated in a continuous plate distillation column. Estimate the number of theoretical stages below the feed plate if a boiling feed of composition 0.4 mole fraction of acetone yields a top and bottom product compositions of 0.89 and 0.2. The equilibrium line may be assumed to be given by $y = 1.5x$. The reflux ratio is 3.0.

Suatu campuran aseton dan air melalui pemeringkatan dalam sebuah turus penyulingan plat selanjur. Anggarkan bilangan peringkat teori di bawah plat suapan jika suapan mendidih dengan komposisi 0.4 pecahan mol aseton menghasilkan komposisi-komposisi bagi produk atas dan bawah masing-masing sebanyak 0.89 dan 0.2. Garis keseimbangan boleh diwakili oleh $y = 1.5x$. Nisbah refluks ialah 3.0.

[12 marks/markah]

...6/-

- [b] A gas stream contains 5.0 mol% NH_3 and its ammonia content is reduced to 0.5 mol% in a packed absorption tower at 293 K and 1.013×10^5 Pa. The inlet pure water flow is 65.0 kg mol/h and the total inlet gas flow is 55.8 kg mol/h. The tower diameter is 0.745 m. The film mass-transfer coefficients are $k'_{ya} = 0.0739 \text{ kg mol/s.m}^3 \cdot \text{mol fraction}$ and $k'_{xa} = 0.169 \text{ kg mol/s.m}^3 \cdot \text{mol fraction}$. Calculate the height of the tower required for this process. **The equilibrium data are given in the appendix.** The following equations may be required:

*Suatu aliran gas mengandungi 5.0% mol NH_3 dan kandungan amonia tersebut perlu dikurangkan ke 0.5% mol dengan menggunakan turus penyerapan terpadat pada 293 K dan 1.013×10^5 Pa. Aliran suapan air tulen adalah 65.0 kg mol/jam dan jumlah aliran gas suapan adalah 55.8 kg mol/jam. Diameter turus adalah 0.745 m. Pemalar saput pemindahan-jisim adalah $k'_{ya} = 0.0739 \text{ kg mol/s.m}^3 \cdot \text{pecahan mol}$ dan $k'_{xa} = 0.169 \text{ kg mol/s.m}^3 \cdot \text{pecahan mol}$. Kirakan ketinggian turus yang diperlukan bagi proses ini. **Data keseimbangan diberikan di dalam lampiran.** Persamaan-persamaan berikut mungkin diperlukan:*

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

$$\frac{L}{S}(x_1 - x_2) = k'_x a z (x_1 - x)_M$$

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

$$(y - y^*)_M = \frac{(y_1 - y^*_{i1}) - (y_2 - y^*_{i2})}{\ln[(y_1 - y^*_{i1}) / (y_2 - y^*_{i2})]}$$

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

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

[13 marks/markah]

Appendix
Lampiran

**Acetic Acid–Water–Isopropyl Ether System, Liquid–Liquid
Equilibria at 293 K or 20°C**

| <i>Water Layer (wt %)</i> | | | <i>Isopropyl Ether Layer (wt %)</i> | | |
|---------------------------|--------------|------------------------|-------------------------------------|--------------|------------------------|
| <i>Acetic Acid</i> | <i>Water</i> | <i>Isopropyl Ether</i> | <i>Acetic Acid</i> | <i>Water</i> | <i>Isopropyl Ether</i> |
| 0 | 98.8 | 1.2 | 0 | 0.6 | 99.4 |
| 0.69 | 98.1 | 1.2 | 0.18 | 0.5 | 99.3 |
| 1.41 | 97.1 | 1.5 | 0.37 | 0.7 | 98.9 |
| 2.89 | 95.5 | 1.6 | 0.79 | 0.8 | 98.4 |
| 6.42 | 91.7 | 1.9 | 1.93 | 1.0 | 97.1 |
| 13.30 | 84.4 | 2.3 | 4.82 | 1.9 | 93.3 |
| 25.50 | 71.1 | 3.4 | 11.40 | 3.9 | 84.7 |
| 36.70 | 58.9 | 4.4 | 21.60 | 6.9 | 71.5 |
| 44.30 | 45.1 | 10.6 | 31.10 | 10.8 | 58.1 |
| 46.40 | 37.1 | 16.5 | 36.20 | 15.1 | 48.7 |

VAPOR-LIQUID EQUILIBRIUM DATA FOR AMMONIA-WATER SYSTEM

| Mole fraction of Ammonia in Liquid, x_a | Partial Pressure of ammonia in vapor, p_a (mm Hg) | |
|--|---|-------|
| | 293 K | 303 K |
| 0 | 0 | 0 |
| 0.0126 | - | 11.5 |
| 0.0167 | - | 15.3 |
| 0.0208 | 12.0 | 19.3 |
| 0.0258 | 15.0 | 24.4 |
| 0.0309 | 18.2 | 29.6 |
| 0.0405 | 24.9 | 40.1 |
| 0.0503 | 31.7 | 51.0 |
| 0.0737 | 50.0 | 79.7 |
| 0.0960 | 69.6 | 110 |
| 0.137 | 114 | 179 |
| 0.175 | 166 | 260 |
| 0.210 | 227 | 352 |
| 0.241 | 298 | 454 |
| 0.297 | 470 | 719 |