

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
Academic Session 2008/2009

November 2008

**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 TWO pages of Appendix before you begin the examination.

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

**Instructions:** Answer **FOUR** (4) questions. Answer **TWO** (2) questions from Section A. Answer **TWO** (2) questions from Section B.

**Arahan:** Jawab **EMPAT** (4) soalan. Jawab **DUA** (2) soalan dari Bahagian A. Jawab **DUA** (2) soalan dari Bahagian B.]

You may answer the question either in Bahasa Malaysia or in English.

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

Section A : Answer any TWO questions.

Bahagian A : Jawab mana-mana DUA soalan.

1. A grain material stored in an enclosure undergoes drying in a stream of air blowing over it. The drying occurs under falling rate conditions. Data on drying rates under constant temperature conditions but under different air velocities ( $V$ ) are shown in Table Q.1.

*Suatu bahan bijirin yang tersimpan dalam penutup melalui pengeringan dalam suatu aliran udara yang bertiup di atasnya. Pengeringan berlaku di bawah keadaan kadar menurun. Data mengenai kadar pengeringan di bawah keadaan suhu malar tetapi dengan halaju udara yang berbeza-beza ditunjukkan dalam Jadual S.1.*

- [a] Estimate the constant rates of drying for different air velocities.

*Anggarkan kadar-kadar malar pengeringan bagi halaju udara yang berbeza-beza.*

[7 marks/markah]

- [b] If the mass transfer coefficient ( $k_g$ ) for evaporation under constant rate conditions could be expressed as  $k_g \propto V^\gamma$ , find the value of  $\gamma$ .

*Jika pekali pemindahan jisim ( $k_g$ ) untuk sejatan di bawah keadaan kadar malar boleh diungkapkan sebagai  $k_g \propto V^\gamma$ , carikan nilai  $\gamma$ .*

[6 marks/markah]

- [c] Draw the falling rate curve when air flow velocity is 0.2 m/s

*Lukiskan lengkungan kadar menurun apabila halaju aliran udara ialah 0.2 m/s*

[4 marks/markah]

- [d] Estimate the moisture loss in 10 minutes from the time of storing grain of moisture content  $X_0 = 0.15$  when the velocity of air is 0.2 m/s.

*Anggarkan kehilangan lembapan dalam 10 minit dari masa penyimpanan bijirin dengan kandungan lembapan  $X_0 = 0.15$  apabila halaju udara ialah 0.2 m/s.*

[8 marks/markah]

The critical moisture content ( $X_c$ ) and the equilibrium moisture content ( $X_e$ ) are 0.265 and 0.02 respectively which can be assumed to be constant and independent of air velocity  $V$ .

*Kandungan lembapan genting ( $X_c$ ) dan kandungan lembapan keseimbangan ( $X_e$ ) ialah masing-masing 0.265 dan 0.02 yang boleh diandaikan sebagai malar dan tidak bersandar dengan halaju udara  $V$ .*

Table Q.1: Rates of drying vs. moisture content for different air velocities

Jadual S.1: Kadar pengeringan melawan kandungan lembapan bagi halaju udara berbeza

Moisture Content (Kg moisture/Kg dry matter) Kandungan lembapan (Kg lembapan/Kg jujuk kering)	Drying Rate [Kg moisture/(Kg dry material · hour)] Kadar Pengeringan [Kg lembapan/(Kg bahan kering · jam)]			
	Velocity of air flow (m/s) Halaju aliran udara (m/s)			
	0.5	0.75	1.0	1.25
0.25	0.0074	0.0091	0.0105	0.0121
0.225	0.0067	0.0082	0.0093	0.0105
0.2	0.0055	0.007	0.0082	0.0092
0.175	0.0047	0.006	0.007	0.0074
0.15	0.0041	0.0047	0.0057	0.0063
0.125	0.0031	0.0038	0.0044	0.005

2. In a process shown in Figure Q.2, heat from a stream (A) of hot air at 90°C (dry bulb) and 40°C (wet bulb) is recovered using an indirect heat exchanger (HE) where the air is cooled down to 50°C (dry bulb). The stream (B) of air at 50°C is contacted in a tower where water (C) is fed at the top. The cooling tower is operated so that the temperature of water at the inlet is 80°C and outlet (D) is 60°C.

Dalam suatu proses yang ditunjukkan dalam Rajah S.2, haba daripada aliran (A) udara panas pada 90°C (bebuli kering) dan 40°C (bebuli basah) dipulihkan dengan menggunakan sebuah penukar haba tak langsung (HE) di mana udara tersebut disejukkan kepada 50°C (bebuli kering). Aliran (B) udara pada 50°C disentuh dalam sebuah menara di mana air (C) disuap di bahagian atas. Menara pendinginan beroperasi supaya suhu air di saluran masuk ialah 80°C dan saluran keluar (D) ialah 60°C.

- [a] Estimate the percentage humidity and the enthalpy of air at A and B.

Anggarkan peratus kelembapan dan entalpi udara di A dan B.

[6 marks/markah]

- [b] Using an enthalpy- temperature plot, estimate the maximum water flow rate if the dry air flow rate is 0.1 kg/s. Saturation Enthalpy data for air/water system may be assumed as follows. Specific heat of water may be assumed to be 4.2 kJ/(kg°C). (Table Q.2.[b])

Dengan menggunakan plot entalpi-suhu, anggarkan kadar aliran air maksimum jika kadar aliran udara kering ialah 0.1 kg/s. Data entalpi ketepuan untuk sistem udara/air boleh diandaikan sebagai yang berikut. (Jadual S.2.[b]). Haba tentu air boleh diandaikan sebagai 4.2 kJ/(kg°C)

Table Q.2.[b]

Jadual S.2.[b]

Temperature °C Suhu °C	60	65	70	75	80
Saturation Enthalpy kJ/kg dry air Entalpi ketepuan kJ/kg udara kering	500	620	900	1300	1600

[8 marks/markah]

...4/-

- [c] If the tower operates at 66.7% of the maximum water flow rate, estimate the number of transfer units.  
 Jika menara beroperasi pada 66.7% kadar aliran air maksimum, anggarkan bilangan unit pemindahan.

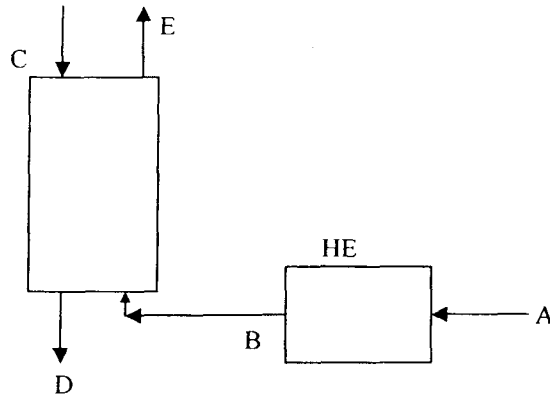


Figure Q.2.[c] Process set-up  
 Rajah S.2.[c] Gambarajah proses

[11 marks/markah]

3. [a] Adsorption of a methane contaminant in a stream of hydrogen is examined in a test adsorption bed of length 30 cm in a laboratory using activated carbon as the adsorbent. The feed gas with 4% methane (vol %) was fed at 30 cm/s. The breakthrough data are shown in Table Q.3.[a]. Estimate the fraction of bed unused

Penjerapan suatu bahan cemar metana dalam suatu aliran hidrogen telah diperiksa dalam sebuah lapisan ujian jerapan sepanjang 30 sm di sebuah makmal dengan menggunakan karbon teraktif sebagai bahan penjerap. Gas suapan dengan komposisi 4% metana (% isipadu) telah disuap pada 30 sm/s. Data bulus ditunjukkan di Jadual S.3.[a]. Anggarkan pecahan lapisan tak terpakai

[11 marks/markah]

- [b] A longer bed with the same cross sectional area is now required for the same gas flow rate. Fraction of bed to be used is 0.75. Estimate the length of the column required and the breakthrough time of the new bed. State any assumptions made.

Sebuah lapisan yang lebih panjang dengan luas keratan rentas yang sama kini diperlukan untuk kadar aliran gas yang sama. Pecahan lapisan yang akan digunakan ialah 0.75. Anggarkan panjang turus yang diperlukan dan masa bulus lapisan baru tersebut. Nyatakan andaian-andaian yang telah dibuat.

[14 marks/markah]

Table Q.3.[a]  
 Jadual S.3.[a]

Time (seconds) Masa (saat)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
% volume of methane at exit of column % isipadu metana di keluaran turus	0	0	0	0	0.28	0.64	1.12	1.68	2.48	3.4	4	4	4

**Section B** : Answer any TWO questions.

**Bahagian B** : Jawab mana-mana DUA soalan.

4. [a] Define the following terms.

*Takrifkan terma-terma berikut.*

[i] Flux  
*Fluks*

[1 mark/markah]

[ii] Permeate  
*Telapan*

[1 mark/markah]

[iii] Retentate  
*Tahanan*

[1 mark/markah]

[b] A liquid containing dilute solute A at a concentration  $c_1 = 3 \times 10^{-2} \text{ kg mol/m}^3$  is flowing rapidly passing a membrane of thickness  $L = 3.0 \times 10^{-5} \text{ m}$ . The distribution coefficient  $K' = 1.5$  and Diffusivity of A =  $7.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  in the membrane. The solute diffuses through the membrane, and its concentration on the other side is  $c_2 = 0.5 \times 10^{-2} \text{ kg mol/m}^3$ . The mass transfer coefficient  $k_{c1}$  is large and can be considered infinite, and  $k_{c2} = 2.02 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ .

*Suatu cecair mengandungi bahan terlarut cair A pada kepekatan  $c_1 = 3 \times 10^{-2} \text{ kg mol/m}^3$  mengalir pantas menembusi satu membran berketebalan  $L = 3.0 \times 10^{-5} \text{ m}$ . Pemalar pengedaran  $K' = 1.5$  dan kemeresapan A dalam membran =  $7.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ . Bahan terlarut meresap menerusi membran dan kepekatan pada bahagian satu lagi ialah  $c_2 = 0.5 \times 10^{-2} \text{ kg mol/m}^3$ . Pemalar pemindahan jisim  $k_{c1}$  adalah besar dan boleh dianggap infiniti, dan  $k_{c2} = 2.02 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ .*

[i] Derive the equation to calculate the steady state flux  $N_A$ .

*Terbitkan persamaan untuk mengira fluks,  $N_A$  pada keadaan mantap.*

[4 marks/markah]

[ii] Calculate the flux  $N_A$  and the concentrations of A at the membrane interfaces.

*Kirakan fluks  $N_A$  dan kepekatan A pada antaramuka membran.*

[4 marks/markah]

[c] A membrane process is designed to recover solute A from dilute solution where  $c_1 = 2.0 \times 10^{-2} \text{ kg mol A/m}^3$  by dialysis through a membrane to a solution where  $c_2 = 0.3 \times 10^{-2}$ . The membrane thickness is  $1.59 \times 10^{-5} \text{ m}$ , the distribution coefficient  $K' = 0.75$ , diffusivity of A =  $3.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  in the membrane, the mass transfer coefficient in the dilute solution is  $k_{c1} = 3.5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  and  $k_{c2} = 2.1 \times 10^{-5}$ .

Satu proses membran direkabentuk untuk memulih bahan larut daripada larutan cair di mana  $c_1 = 2.0 \times 10^{-2}$  kg mol  $A/m^3$  dengan dialisis menerusi membran ke larutan di mana  $c_2 = 0.3 \times 10^{-2}$ . Ketebalan membran ialah  $1.59 \times 10^{-5}$  m, pemalar pengedaran  $K' = 0.75$ , kemeresapan  $A$  dalam membran adalah  $3.5 \times 10^{-11}$   $m^2/s$ , pemalar pemindahan jisim dalam larutan cair  $k_{c1} = 3.5 \times 10^{-5}$  m/s dan  $k_{c2} = 2.1 \times 10^{-5}$ .

- [i] Calculate the individual resistances, total resistance and total percent resistance of the two films.

*Kira rintangan individu, jumlah rintangan dan peratus jumlah rintangan bagi kedua-dua selaput.*

[6 marks/markah]

- [ii] Calculate the flux at steady state and the total area in  $m^2$  for a transfer of 0.01 kg mol solute/h.

*Kira fluks pada keadaan mantap dan jumlah luas dalam  $m^2$  untuk memindahkan 0.01 kg mol bahan larut/jam.*

[4 marks/markah]

- [iii] Increasing the velocity of both liquid phases flowing past the surface of the membrane will increase the mass transfer coefficients, which are approximately proportional to  $v^{0.6}$ , where  $v$  is velocity. If the velocities are doubled, calculate the total percent resistance of the two films and the percent increase in flux.

*Menaikkan halaju kedua-dua fasa cecair mengalir merentasi permukaan membran akan meningkatkan pemalar pemindahan jisim, dianggarkan berkadaran dengan  $v^{0.6}$ , di mana  $v$  adalah halaju. Sekiranya halaju digandakan, kira jumlah peratus rintangan kedua-dua selaput dan peratus peningkatan fluks.*

[4 marks/markah]

5. [a] Briefly discuss the followings:

*Bincangkan secara ringkas yang berikut:*

- [i] Solubility and crystal size

*Keterlarutan dan saiz hablur*

[2 marks/markah]

- [ii] Homogenous nucleation

*Penukleusan homogen*

[2 marks/markah]

- [iii] Contact nucleation

*Penukleusan sentuh*

[2 marks/markah]

- [iv] Nucleation in a commercial crystallizer

*Penukleusan dalam penghablur komersil*

[2 marks/markah]

- [b] The solubility diagram (Figure Q.5.[b]) below describes the eutectic-forming system of ortho- and parachloro-nitrobenzene system suitable for melt crystallization.

Gambarajah keterlarutan di bawah (Rajah S.5.[b]) menerangkan sistem pembentukan-eutektik orto-dan parakhloro-nitrobenzena yang sesuai untuk penghabluran lebur.

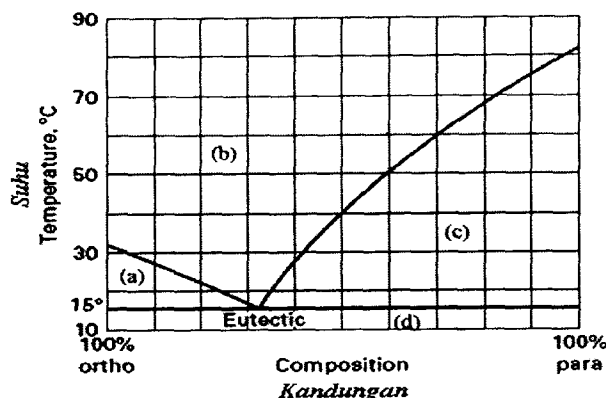


Figure Q.5.[b]  
Rajah S.5.[b]

- [i] Denote all the phases for area (a), (b), (c) and (d).  
Namakan fasa-fasa bagi kawasan (a), (b), (c) dan (d).  
[4 marks/markah]
- [ii] If the mixture of 70.0 wt% parachloro-nitrobenzene and 30.0 wt% ortho-nitrobenzene is cooled down to 13.8°C, what will happen to the mixture?  
Jika campuran 70.0% berat 'parakhloro-nitrobenzena' dan 30.0% berat 'orto-nitrobenzena' disejukkan ke 13.8°C, apa yang akan terjadi kepada campuran tersebut?  
[1 mark/markah]

- [c] Experimental data were obtained for a Mixed Suspension-Mixed Product Removal (MSMPR) crystallizer. The slurry density is 169 g/L, the crystal density is 1.65 g/cm<sup>3</sup>, the residence time is 6.57 h, and the crystal shape factor is 0.98. The screen analysis of the crystals is as shown in Table Q.5.[c]:

Data eksperimen diperolehi untuk penghablur Ampaian Bercampur-Penyinkiran Produk Bercampur (ABPPB). Ketumpatan buburan ialah 169 g/L, ketumpatan hablur ialah 1.65 g/cm<sup>3</sup>, masa mastautin ialah 6.57 jam, dan faktor bentuk hablur ialah 0.98. Analisa tapis hablur adalah seperti dalam Jadual S.5.[c]:

Table Q.5.[c]  
Jadual S.5.[c]

Mesh Jejaring	wt % % berat	Mesh Jejaring	wt % % berat
-14, +20	4.5	-48, +65	15.5
-20, +28	14.5	-65, +100	7.5
-28, +35	24.0	-100	2.5
-35, +48	31.5		

Using the data above, calculate  
*Menggunakan data di atas, kira*

- [i] Population density  
*Ketumpatan populasi*  
[4 marks/markah]
- [ii] Growth rate of the crystals  
*Kadar pertumbuhan hablur*  
[2 marks/markah]
- [iii] Nucleation rate  
*Kadar penukleusan*  
[2 marks/markah]
- [iv] Average size of the crystal,  $L_a$   
*Saiz purata hablur,  $L_a$*   
[2 marks/markah]
- [v] Predominant size of the crystal,  $L_D$   
*Saiz pre-dominan hablur,  $L_D$*   
[2 marks/markah]

6. [a] A supercritical fluid is characterized by physical and thermal properties that are between those of the pure liquid and gas when a substance is at a temperature and pressure above its thermodynamic critical point.

*Bendalir lampau kritikal dicirikan oleh sifat fizikal dan haba di antara cecair tulen dan gas apabila bahan tersebut berada pada suhu dan tekanan melebihi titik kritikal termodinamik.*

- [i] Sketch a general phase diagram of supercritical fluid.  
*Lakarkan diagram fasa bendalir lampau kritikal.*  
[3 marks/markah]
- [ii] Describe the formation of supercritical fluid based on your sketch  
*Terangkan pembentukan bendalir lampau kritikal berdasarkan lakaran anda*  
[2 marks/markah]
- [iii] Discuss the applications of supercritical fluid extraction in the industry  
*Bincangkan aplikasi pemisahan bendalir lampau kritikal dalam industri*  
[3 marks/markah]

[b] Data for the filtration of  $\text{CaCO}_3$  slurry in water at 298.2K are reported in Table Q.6.[b] at a constant pressure ( $-\Delta p$ ) of 46.2 kN/m<sup>2</sup>. The area of the plate-and-frame press was 0.0439 m<sup>2</sup> and the slurry concentration was 23.47 kg solid/m<sup>3</sup> filtrate. Data are given as  $t$  = time in s and  $V$  = volume of filtrate collected in m<sup>3</sup>.



Data untuk penurasan buburan  $\text{CaCO}_3$  di dalam air pada 298.2K dilaporkan di dalam Jadual S.6.[b] pada tekanan malar ( $-\Delta p$ )  $46.2 \text{ kN/m}^2$ . Luas penekan turas plat-dan-kerangka ialah  $0.0439 \text{ m}^2$  dan kepekatan buburan ialah  $23.47 \text{ kg pepejal/m}^3$  turasan. Data diberi sebagai  $t =$  masa dalam s dan  $V =$  isipadu turasan terkumpul dalam  $\text{m}^3$ .

Table Q.6. [b]

Jadual S.6. [b]

$V \times 10^3$	t	$V \times 10^3$	t	$V \times 10^3$	t
0.5	17.3	1.5	72.0	2.5	152.0
1.0	41.3	2.0	108.3	3.0	201.7

[i] Calculate the constants  $\alpha$  and  $R_m$

*Kira pemalar  $\alpha$  dan  $R_m$*

[8 marks/markah]

[ii] If the above slurry is to be filtered in a plate-and-frame press having 30 frames and  $0.873 \text{ m}^2$  area per frame at the same pressure of  $46.2 \text{ kN/m}^2$  (constant-pressure filtration), assume the same filter-cake properties and filter cloth, calculate the time to recover  $2.26 \text{ m}^3$  of filtrate.

*Jika buburan di atas dituras dalam penekan turas plat-dan-kerangka yang mempunyai 30 kerangka dan  $0.873 \text{ m}^2$  luas per kerangka pada tekanan sama  $46.2 \text{ kN/m}^2$  (penurasan tekanan-malar). Anggap sifat-sifat kek-turas dan kain turas yang sama, kira masa yang diperlukan untuk memulih  $2.26 \text{ m}^3$  turasan.*

[4 marks/markah]

[c] Briefly discuss the followings :

*Bincangkan secara ringkas yang berikut :*

[i] The phenomena of concentration polarization and fouling in the membrane processes.

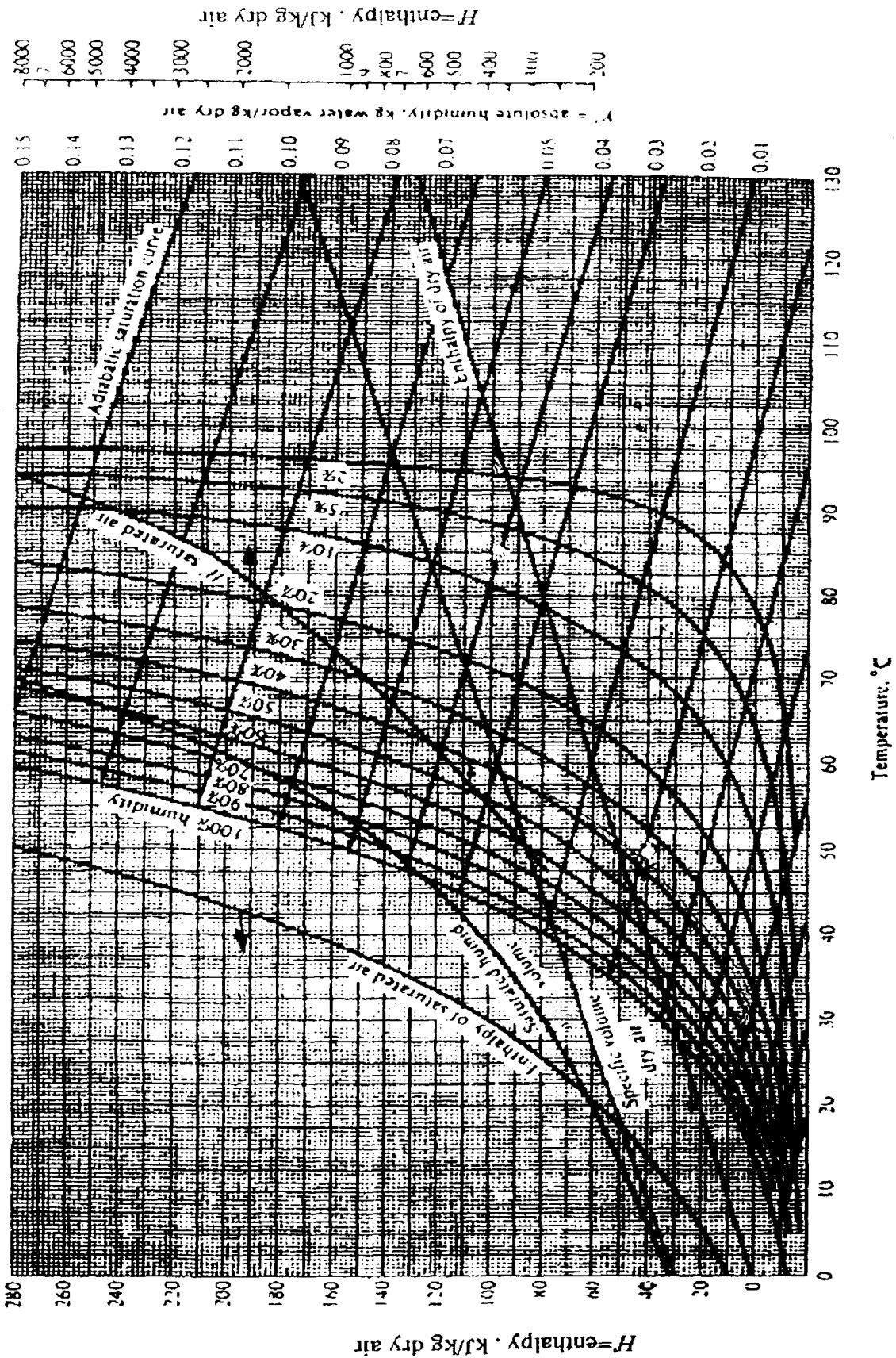
*Fenomena polarisasi kepekatan dan kotoran dalam proses membran.*

[ii] Comparison of reverse osmosis to ultrafiltration and microfiltration.

*Perbandingan antara osmosis songsang dengan penurasan ultra dan penurasan mikro.*

[5 marks/markah]

Appendix  
Lampiran



Psychrometric chart for air-water vapor, 1 std atm abs, in SI units.

**Tyler Standard Screen Scale**

<i>Mesh</i>	<i>Sieve Clear Opening</i>		<i>Nominal Wire Diameter</i>	
	<i>in.</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>in.</i>
1.050 in.	1.050	26.67	3.76	0.148
0.833 in	0.833	22.43	3.43	0.135
0.742 in.	0.742	18.85	3.43	0.135
0.624 in	0.624	15.85	3.05	0.120
0.525 in.	0.525	13.33	2.67	0.105
0.441 in.	0.441	11.20	2.67	0.105
0.371 in.	0.371	9.423	2.34	0.092
2½ mesh	0.312	7.925	2.24	0.088
3 mesh	0.263	6.680	1.78	0.070
3½ mesh	0.221	5.613	1.65	0.065
4 mesh-	0.185	4.699	1.65	0.065
5 mesh	0.156	3.962	1.12	0.044
6 mesh	0.131	3.327	0.914	0.036
7 mesh	0.110	2.794	0.833	0.0328
8 mesh	0.093	2.362	0.813	0.032
9 mesh	0.078	1.981	0.838	0.033
10 mesh	0.065	1.651	0.889	0.035
12 mesh	0.055	1.397	0.711	0.028
14 mesh	0.046	1.168	0.635	0.025
16 mesh	0.0390	0.991	0.597	0.0235
20 mesh	0.0328	0.833	0.437	0.0172
24 mesh	0.0276	0.701	0.358	0.0141
28 mesh	0.0232	0.589	0.318	0.0125
32 mesh	0.0195	0.495	0.300	0.0118
35 mesh	0.0164	0.417	0.310	0.0122
42 mesh	0.0138	0.351	0.254	0.0100
48 mesh	0.0116	0.295	0.234	0.0092
60 mesh	0.0097	0.246	0.178	0.0070
65 mesh	0.0082	0.208	0.183	0.0072
80 mesh	0.0069	0.175	0.142	0.0056
100 mesh	0.0058	0.147	0.107	0.0042
115 mesh	0.0049	0.124	0.097	0.0038
150 mesh	0.0041	0.104	0.066	0.0026
170 mesh	0.0035	0.088	0.061	0.0024
200 mesh	0.0029	0.074	0.053	0.0021
250 mesh	0.0025	0.063	0.044	0.0017
270 mesh	0.0021	0.053	0.037	0.0015
325 mesh	0.0017	0.044	0.030	0.0012
400 mesh	0.0015	0.037	0.025	0.0010

Viscosity of water at 298.2 K =  $8.937 \times 10^{-4}$  kg/m·s