
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
Academic Session 2008/2009

April/Mei 2009

EBP 207/2 - Transport Phenomena In Polymers [Fenomena Pengangkutan Dalam Polimer]

Duration : 2 hours
[Masa : 2 jam]

Please ensure that this examination paper contains NINE printed pages before you begin the examination.

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

This paper contains SIX questions. THREE questions in PART A and THREE questions in PART B.

[Kertas soalan ini mengandungi ENAM soalan. TIGA soalan di BAHAGIAN A dan TIGA soalan di BAHAGIAN B.]

Instructions: Answer **FOUR** questions. Answer **TWO** questions from PART A and **TWO** questions from PART B. If a candidate answers more than four questions only the first four questions in the answer sheet will be graded.

[Arahan: Jawab **EMPAT** soalan. Jawab **DUA** soalan dari BAHAGIAN A dan **DUA** soalan dari BAHAGIAN B. Jika calon menjawab lebih daripada empat soalan hanya empat soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.]

Answer to any question must start on a new page.

[Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baru.]

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

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

PART A

BAHAGIAN A

1. Consider a long tube that contains liquid A and vapor B (Figure 1). The liquid starts evaporating, and it moves in the region initially filled with B. Calculate the velocity vectors v and v_B , for $x_A = 1/6$, $v^* = 12$, $v_A = 15$, and $M_A = 5 M_B$. How do v and v_B change if $M_A = M_B$?

Satu tiub panjang mengandungi cecair A dan gas B (Rajah 1). Cecair mula meruwap dan bergerak di dalam kawasan yang pada mulanya telah dipenuhi oleh B. Kirakan vektor halaju v dan v_B , di mana $x_A = 1/6$, $v^* = 12$, $v_A = 15$, dan $M_A = 5 M_B$. Bagaimana v dan v_B bertukar jika $M_A = M_B$?

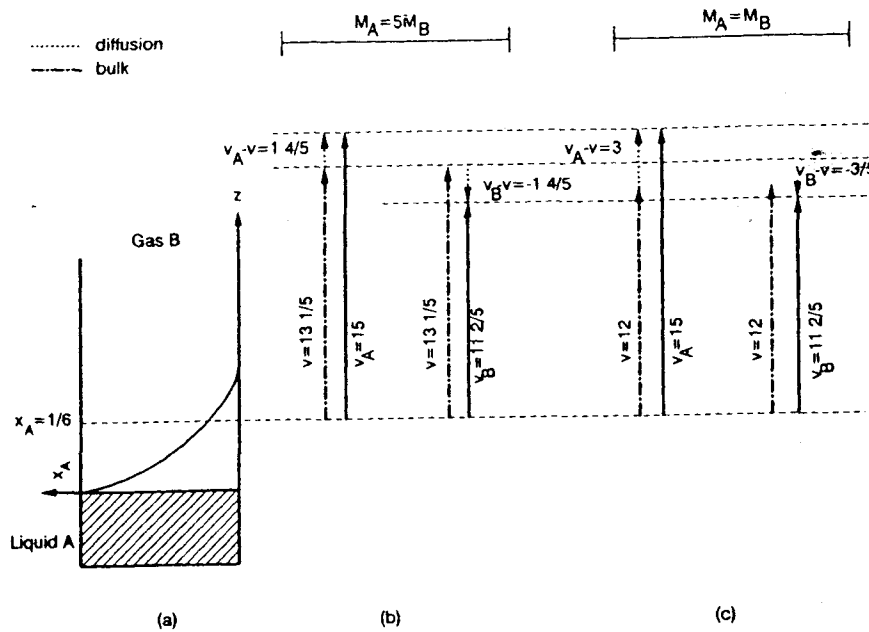


Figure 1 - (a) Long tube for diffusion experiment. (b) Velocity vectors for the case of $M_A/M_B = 5$. (c) Velocity vectors for the case of $M_A/M_B = 1$.

Rajah 1 - (a) Tiub panjang untuk ujikaji peserapan. (b) Vektor halaju untuk kes $M_A/M_B = 5$.

(c) Vektor halaju untuk kes $M_A/M_B = 1$.

(100 marks/markah)

2. Figure 2 shows the process of production of solution-cast films. A polymer solution is cast onto a rotating roll, and the solvent is removed by air flowing in the opposite direction. Then, the dry film is removed from the roll and goes into the next processing step. Estimate the convective mass transfer coefficient of the solvent into the air and the time needed for 80% solvent removal. The air speed, V , is 1 m/s, the radius of the roll, R , is 30 cm, and the thicknesses of the film, L , and of the air duct, L' , are 2 mm. The polymer solution is in contact with the roll for $1/5$ of its periphery. At average air temperature of 50°C , a typical value for the diffusivity of the solvent into the air stream is $D_{A(\text{air})} = 1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$, and the diffusivity of the solvent in the solution is $D_{A(\text{liq})} = 1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$.

Rajah 2 menunjukkan proses penghasilan filem secara penuangan-larutan. Larutan polimer dituang ke atas penggulung yang berputar dan pelarut dikeluarkan melalui tiupan angin mengikut arah yang bertentangan. Kemudian, filem yang telah kering dikeluarkan daripada penggulung dan diikuti dengan proses seterusnya. Anggarkan koefisien pemindahan jisim perolakan pelarut ke udara dan masa diperlukan untuk mengeluarkan bahan pelarut. Kelajuan udara, V , ialah 1 m/s, jejari penggulung, R , 30 cm dan ketebalan filem, L , dan ketebalan tiub udara, L' , ialah 2 mm. Larutan polimer bersentuhan dengan $1/5$ daripada permukaan luar penggulung. Pada purata suhu 50°C , nilai penyerapan pelarut ke dalam aliran udara ialah $D_{A(\text{udara})} = 1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$, dan penyerapan pelarut ke dalam larutan ialah $D_{A(\text{liq})} = 1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$.

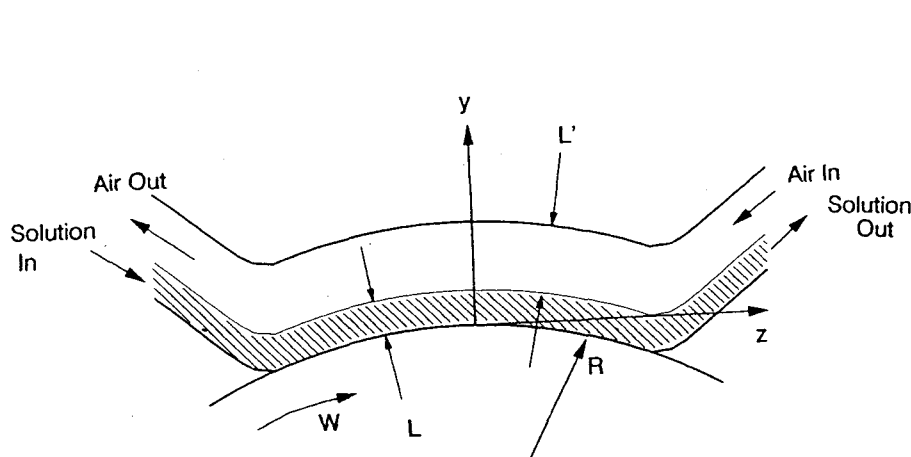


Figure 2 - Solution-cast film geometry

Rajah 2 - Geometri filem yang dihasilkan secara penuangan-larutan

(100 marks/markah)

3. Consider the sorption of a dye, A, into a thin polymer film as shown in Figure 3. Assume that the flow of the dye inside the polymer film is fully developed and laminar, the process is at steady-state conditions; the solubility of the dye in the polymer is low, and no chemical reaction is present. Derive the dye concentration profile in the polymer film as a function of time. (Given D is diffusion and W is width).

Bayangkan penyerapan suatu pewarna, A, ke dalam filem polimer yang nipis seperti ditunjukkan di dalam Rajah 3. Anggapkan aliran filem ini terbentuk sepenuhnya dan membentuk lapisan; proses ini di dalam keadaan 'steady-state', keterlarutan pewarna di dalam polimer ini rendah dan tiada tindakbalas kimia berlaku. Terbitkan ungkapan profil kepekatan pewarna di dalam filem polimer sebagai fungsi masa. (Diberikan D ialah penyerapan dan W ialah lebar).

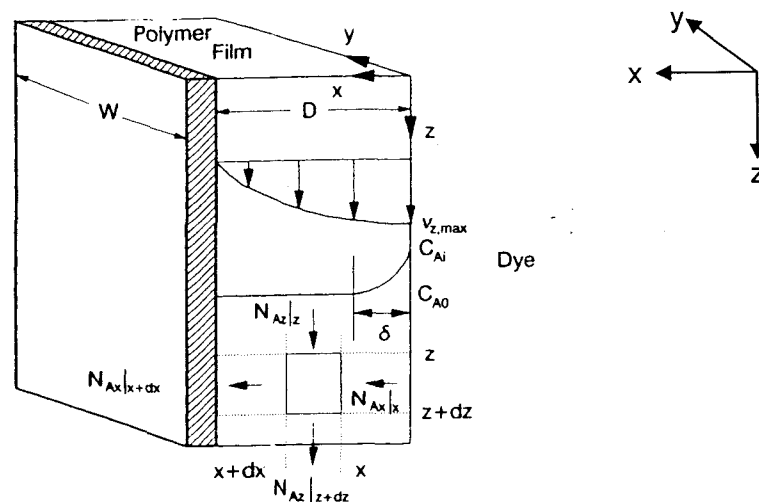


Figure 3 - Diffusion of dye into polymer film

Rajah 3 - Penyerapan pewarna ke dalam filem polimer

(100 marks/markah)

PART B**BAHAGIAN B**

4. [a] "Heat transfer processes are utilized in various different ways during thermoplastic and thermoset polymer processing. Nevertheless, all these processes have one ultimate goal, i.e. to assist transformation of polymeric raw material in whatever form (solid or liquid), into a product that is stable in shape".

Discuss the above statement giving emphasis on how heat transfer process operates in polymer processing and support your discussion with the aid of suitable diagram and example.

"Proses pemindahan haba digunakan dalam pelbagai cara semasa pemprosesan polimer termoplastik dan termoset. Walau bagaimanapun, kesemua proses tersebut mempunyai satu matlamat iaitu membantu proses transformasi bahan mentah polimer dalam pelbagai bentuk (pepejal atau cecair) menjadi satu produk yang stabil bentuknya".

Bincangkan pernyataan di atas dengan memberi penekanan tentang bagaimana proses pemindahan haba beroperasi dalam pemprosesan polimer dan sokong perbincangan anda dengan bantuan rajah dan contoh yang sesuai.

(60 marks/markah)

- [b] What is Biot number, B_i , and how it is used to explain convection heat transfer process in polymer processing?

Apakah nombor Biot, B_i , dan bagaimanakah ia digunakan untuk menerangkan proses pemindahan haba perolakan dalam pemprosesan polimer.

(40 marks/markah)

5. [a] Consider two polymer sheets heated in two different high-velocity forced air convection ovens.

Sample A in oven no.1

Thickness = 6 mm

$h = 56.8 \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-1}$

Thermal conductivity, $k = 0.17 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$

Sample B in oven no. 2

Thickness = 0.6 mm

Convection heat transfer coefficient, $h = 11 \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-1}$

Thermal conductivity, $k = 0.35 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$

Calculate the Biot number, B_i for both cases and determine whether the heating process is convection or conduction heat transfer.

Pertimbangkan dua kepingan polimer yang dipanaskan dalam dua oven udara-paksa berkelajuan tinggi yang berbeza.

Sampel A dalam oven no.1

Ketebalan = 6 mm

Pekali pemindahan haba perolakan, $h = 56.8 \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-1}$

Kekonduktifan terma, $k = 0.17 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$

Sampel B dalam oven no. 2

Ketebalan = 0.6 mm

Pekali pemindahan haba perolakan, $h = 11 \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-1}$

Kekonduktifan terma, $k = 0.35 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$

Kira nombor Biot, B_i bagi kedua-dua kes dan tentukan sama ada proses pemanasan tersebut dominan secara pemindahan haba konduksi atau perolakan.

(50 marks/markah)

- [b] What is viscous dissipation? Explain the advantage and disadvantage of having viscous dissipation during polymer processing procedure.

Apakah itu pelepasan likat? Terangkan kebaikan dan keburukan yang timbul sekiranya ia berlaku dalam langkah pemrosesan polimer.

(50 marks/markah)

6. [a] A high density polyethylene (HDPE) plate of 10-mm thickness initially at 230°C and is cooled in a mold. The mold surface temperature is 30°C.

Suatu plat polietilena berketumpatan tinggi (HDPE) dengan ketebalan 10 mm, pada asalnya mempunyai suhu 230°C, disejukkan dalam acuan. Suhu permukaan acuan tersebut ialah 30°C.

Given,

Diberi,

Thermal conductivity (k) = 0.25 W m⁻¹K⁻¹
Kekonduksian terma (k) = 0.25 W m⁻¹K⁻¹

Specific heat (C_p) = 2.3 kJ kg⁻¹ K⁻¹
Haba spesifik (C_p) = 2.3 kJ kg⁻¹ K⁻¹

Melt density (ρ) = 780 kg m⁻³
Ketumpatan leburan (ρ) = 780 kg m⁻³

Useful equations for non-steady heat transfer in one dimension:

Persamaan-persamaan berguna untuk pemindahan haba tak-mantap dalam satu dimensi:

$$\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\delta T}{\delta x} \quad \alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad F_o = \frac{\alpha t}{(0.5b)^2}$$

Determine the dimensionless temperature gradient, θ and Fourier number, F_o .

Also, with the aid of the following figure, calculate the time taken to cool the plate from the initial temperature to 90°C at the midplane (i.e. $b/2 = 5 \text{ mm}$).

Tentukan kecerunan suhu nir-dimensi, θ dan nombor Fourier, F_o .

Juga, dengan bantuan rajah berikut, kirakan masa yang diperlukan untuk menyejuk plat HDPE tersebut ke suhu 90°C di permukaan tengah (iaitu $b/2 = 5 \text{ mm}$).

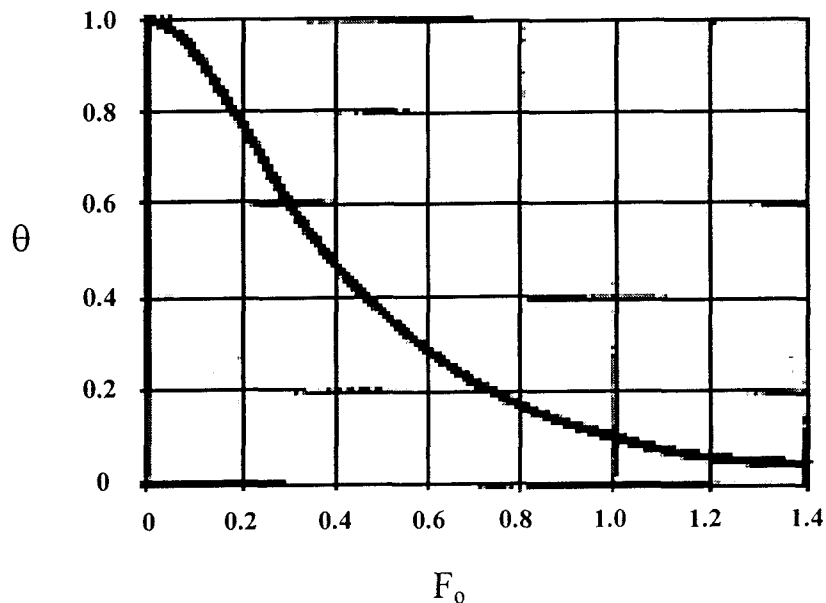


Figure 4 - A plot of θ versus F_o .

Rajah 4 - Plot θ melawan F_o

(60 marks/markah)

- [b] Referring to the following diagram, list heat transfer processes that can be found in a typical pipe extrusion line and state their mode of heat transfer.

Dengan menggunakan rajah di bawah sebagai rujukan, senaraikan proses-proses pemindahan haba yang boleh ditemui dalam suatu susunan pengestrudan paip lazim dan nyatakan mod pemindahan haba proses-proses tersebut.

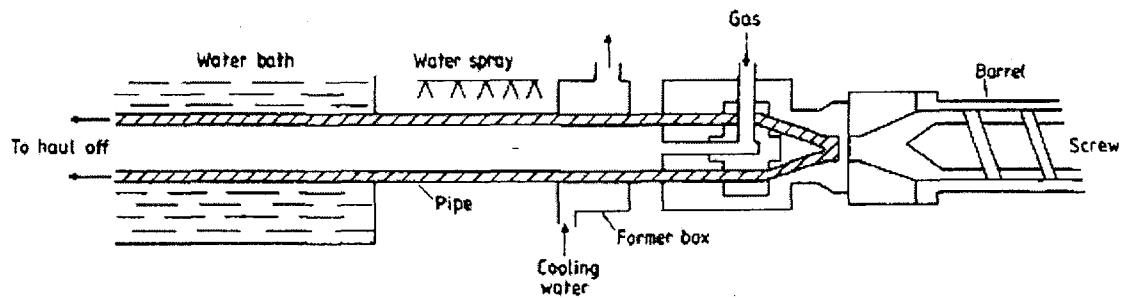


Figure 5

Rajah 5

(40 marks/markah)