

---

# UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
Academic Session 2010/2011

April/May 2011

## EBP 207/2 – Transport Phenomena In Polymers *[Fenomena Pengangkutan Dalam Polimer]*

Duration : 2 hours  
*[Masa : 2 jam]*

---

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

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

This paper consists of THREE questions from PART A and THREE questions from PART B.

*[Kertas soalan ini mengandungi TIGA soalan dari BAHAGIAN A dan TIGA soalan dari BAHAGIAN B.]*

**Instruction:** Answer TWO questions from PART A and TWO questions from PART B. If candidate answers more than four questions only the first four questions answered in the answer script would be examined.

**[Arahan:** 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.]

The answers to all questions must start on a new page.

*[Mulakan jawapan anda untuk semua 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.]*

In the event of any discrepancies, the English version must be used.

*[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai.]*

**PART A / BAHAGIAN A**

1. [a] Describe all the factors contributing to transport process in polymeric materials. Support your explanations with suitable examples.

*Jelaskan faktor-faktor yang menyumbang kepada proses pengangkutan dalam bahan-bahan polimer. Sokong penjelasan anda dengan contoh-contoh yang sesuai.*

(60 marks/markah)

- [b] Derive the mass flux of a penetrant diffusing through a polymer membrane as a function of the penetrant mass fraction. Start with the definition of the mass flux with respect to the mass average velocity.

*Terbitkan fluks jisim bagi satu agen penyelinapan yang meresap penyerakan melalui membran polimer sebagai satu fungsi pecahan jisim agen penyelinapan. Mulakan dengan definisi fluks jisim ke atas purata kelajuan jisim.*

(40 marks/markah)

2. [a] Explain the fundamental concept of Fick's law of diffusion. Support your explanations with suitable diagram.

*Jelaskan konsep asas hukum penyerapan Fick's. Sokong penjelasan anda dengan gambarajah yang sesuai.*

(50 marks/markah)

- [b] An infinite slab of polypropylene (PP) is exposed to high-pressure nitrogen at time equal to zero. Calculate the exposure time required for the nitrogen concentration at the slab's axis to reach 90% of its equilibrium value. The slab thickness is 0.318 cm, and the diffusivity of nitrogen in PP is  $3.87 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$  at room temperature.

...3/-

*Satu kepingan polipropilena (PP) infiniti telah terdedah kepada tekanan tinggi gas nitrogen pada masa sifar. Kirakan masa pendedahan yang diperlukan untuk kepekatan nitrogen pada paksi kepingan mencecah 90% nilai keseimbangan. Ketebalan kepingan ialah 0.318 cm, dan penyerapan nitrogen dalam PP ialah  $3.87 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$  pada suhu bilik.*

(50 marks/markah)

3. Polypropylene (PP) is extruded and pelletized into small cylindrical pellets. Pellets can be produced with three different sizes as shown in Table 1. Thus, pellets I have the same surface area characteristic and larger volume than pellets III, and same volume and larger surface area than pellets II. These PP pellets should be saturated with nitrogen gas and then processed. Which type of pellets will have a concentration closer to equilibrium saturation after 86,400 s (24 hrs) exposure to nitrogen? Diffusivity for nitrogen in PP at room temperature is  $3.87 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ .

Table 1: Sizes of the PP pellets

Pellets	Diameter	Length
I	$2R = 3$	$2b = 3 \text{ mm}$
II	2	6.75 mm
III	2	5.75 mm

Polipropilina (PP) telah diekstrudkan dan dibutirkan kepada butir-butir kecil. Butir-butir ini telah dihasilkan kepada tiga jenis saiz seperti ditunjukkan dalam Jadual 1. Kemudian, butir I mempunyai ciri-ciri luas permukaan yang sama dan isipadu yang lebih besar daripada butir III, isipadu yang sama dan luas permukaan yang lebih besar daripada butir II. Butir-butir PP tersebut sepatutnya tepu dengan gas nitrogen dan diproses. Butir yang mana akan mempunyai kepekatan yang hampir dengan ketepuan keseimbangan selepas 86,400 s (24 jam) terdedah kepada nitrogen? Penyerapan untuk nitrogen dalam PP pada suhu bilik ialah  $3.87 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ .

Jadual 1: Saiz butir-butir PP

<i>Butir</i>	<i>Diameter</i>	<i>Panjang</i>
<i>I</i>	$2R = 3$	$2b = 3 \text{ mm}$
<i>II</i>	2	6.75 mm
<i>III</i>	2	5.75 mm

(100 marks/markah)

**PART B / BAHAGIAN B**

4. [a] Consider the following moulding scenario;

*Pertimbangkan senario pengacuanan berikut;*

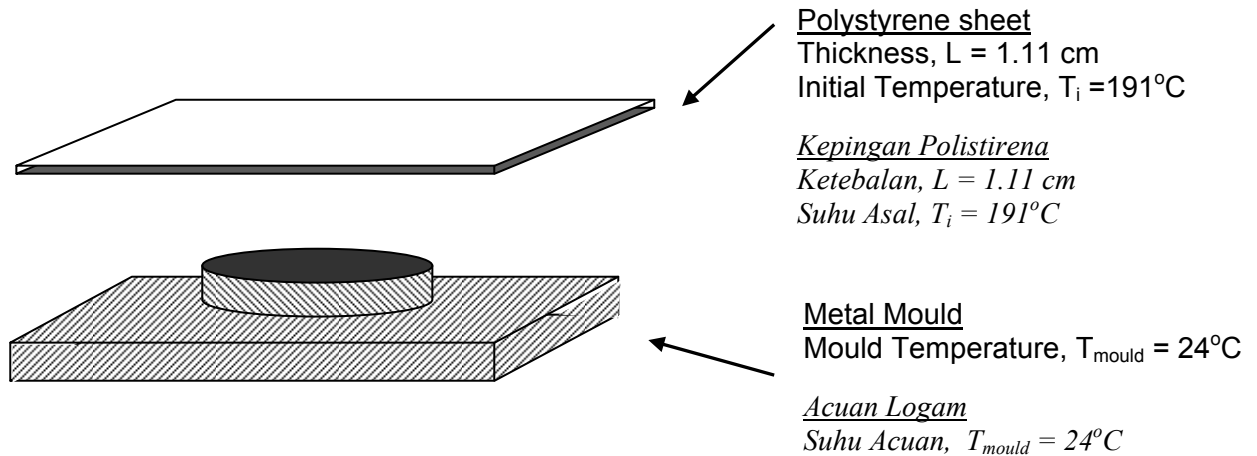


Figure 1: Schematic diagram for cold-press moulding of a polystyrene sheet

*Rajah 1: Gambarajah skema proses pengacuanan secara tekan-sejuk bagi suatu kepingan polistirena*

A polystyrene (PS) sheet is cooled by pressing against a metal mould as shown in Figure 1.

Given that the PS sheet has the following thermal and physical properties;

Thermal conductivity, $k$	$= 0.12 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
Specific heat, $C_p$	$= 1.20 \text{ kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
Density, $\rho$	$= 1.05 \text{ gcm}^{-3}$

Assume that the free surface exposed to the ambient air is an insulated surface where heat transfer due to convection is negligible or the convection heat transfer coefficient,  $h$ , is equal to zero.

By considering the above information and with the aid of information in Figure 2, determine the time required to cool the sheet to an average temperature of  $79^\circ\text{C}$ .

...6/-

*Satu kepingan polistirena (PS) disejukkan secara menekannya ke atas acuan logam.*

*Diberikan bahawa kepingan PS itu mempunyai sifat terma dan fizikal seperti berikut;*

$$\begin{aligned} \text{Pemalar kekonduksian terma, } k &= 0.12 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1} \\ \text{Haba tentu, } C_p &= 1.20 \text{ kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1} \\ \text{Ketumpatan, } \rho &= 1.05 \text{ gcm}^{-3} \end{aligned}$$

*Anggapkan bahawa permukaan bebas yang terdedah kepada udara persekitaran sebagai suatu permukaan tertebat dengan pemindahan haba secara perolakan boleh diabaikan atau pekali pemindahan haba perolakan,  $h$ , adalah bersamaan dengan sifar.*

*Dengan mempertimbangkan maklumat di atas dan dengan bantuan maklumat di dalam Rajah 2, tentukan masa yang diperlukan untuk menyejukkan kepingan tersebut ke suhu purata  $79^\circ\text{C}$ .*

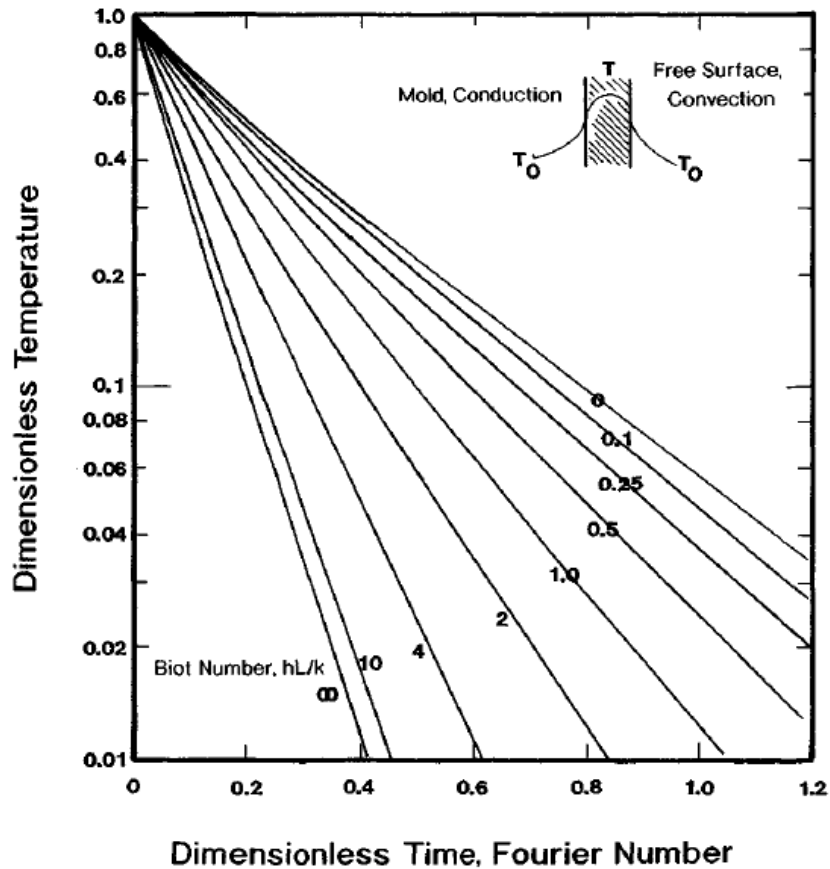


Figure 2: Time-dependent average sheet temperature as a function of the rate of heat loss from the free surface

Rajah 2: Suhu purata kepingan dengan kebergantungan masa sebagai fungsi kadar kehilangan haba dari permukaan bebas

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

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

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

$$F_o = \frac{\alpha t}{L^2}$$

(60 marks/markah)

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

*Apakah nombor Biot,  $Bi$ , dan bagaimanakah ia digunakan bagi menerangkan proses pemindahan haba perolakan dalam pemprosesan polimer?*

(40 marks/markah)

5. [a] List and explain factors that could contribute to the complexity in describing heat flow analyses in polymer processing. For each factor, give specific examples to support their existence in actual processing activities.

*Senarai dan terangkan faktor-faktor yang boleh menyumbang kepada kesulitan dalam menjelaskan analisa aliran haba dalam pemprosesan polimer. Untuk setiap faktor, berikan contoh-contoh spesifik bagi menyokong kewujudan mereka dalam aktiviti pemprosesan sebenar.*

(40 marks/markah)

- [b] Describe the importance of heat transfer in polymer processing operation with the assistance of a suitable diagram.

*Jelaskan kepentingan pemindahan haba dalam operasi pemprosesan polimer dengan bantuan rajah yang sesuai.*

(60 marks/markah)



6.

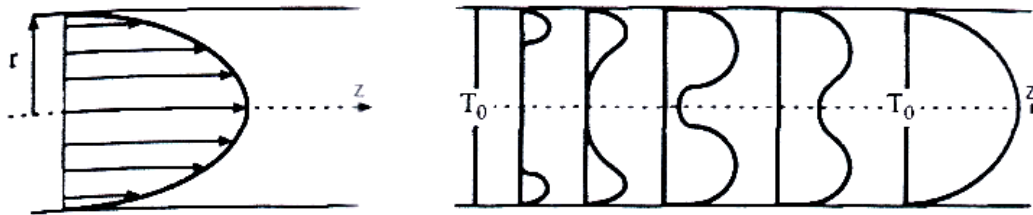


Figure 3: Development of velocity (left) and temperature (right) profile for a molten polymer flowing in a pipe

*Rajah 3: Perkembangan profil halaju (kiri) dan suhu (kanan) bagi suatu leburan polimer mengalir dalam suatu paip*

- [a] Based on Figure 3, elaborate the cause for the difference in the temperature profile in comparison to the velocity profile.

*Berdasarkan Rajah 3 di atas, huraikan punca perbezaan dalam profil suhu berbanding profil halaju.*

(50 marks/markah)

- [b] The average temperature rise caused by frictional heating (also called viscous dissipation) due to mechanical working can be calculated assuming that the process is adiabatic which is actually not such a bad assumption for flows through channels and dies.

Assuming that the mechanical work (due to the pressure pushing the molten plastic) is converted into heat, calculate the actual polymer melt temperature if the extrusion die is recording a pressure drop of  $27.58 \times 10^6$  Pa when a molten polymer ( $T = 180^\circ\text{C}$ ) having  $\rho = 780 \text{ kg/m}^3$  and  $C_p = 2300 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$  is flowing through the die.

*Peningkatan suhu purata disebabkan oleh pemanasan geseran (juga dipanggil pelepasan likat) akibat kerja mekanik boleh dikira dengan menganggap bahawa proses tersebut adalah adiabatik yang sebenarnya bukanlah suatu anggapan meleset untuk aliran melalui saluran dan dai.*

*Anggapkan bahawa kerja mekanik tersebut (hasil daripada tekanan yang menolak leburan polimer) ditukarkan kepada tenaga haba, kirakan suhu sebenar leburan polimer sekiranya dai pengekstrudan mencatat penurunan tekanan sebanyak  $27.58 \times 10^6$  Pa apabila suatu leburan polimer ( $T = 180^\circ\text{C}$ ) mempunyai ketumpatan  $\rho = 780 \text{ kg/m}^3$  dan  $C_p = 2300 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$  mengalir melalui dai tersebut.*

*(50 marks/markah)*