

---

# UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
Academic Session of 2007/2008

October/November 2007

## **EBP 306 – Properties of Polymer Materials Engineering** ***[Sifat-sifat Kejuruteraan Bahan Polimer]***

Duration: 3 hours  
*[Masa: 3 jam]*

---

Please ensure that this paper consists of THIRTEEN printed pages before you proceed with the examination.

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

This paper contains FIVE questions from PART A and TWO questions from PART B.  
*[Kertas soalan ini mengandungi LIMA soalan dari BAHAGIAN A dan DUA soalan dari BAHAGIAN B.]*

**Instruction:** Answer **FIVE** (5) questions. Answer **THREE** (3) questions from PART A and PART B is **COMPULSORY**. If a candidate answers more than five questions, only the first five questions answered will be examined and awarded marks.

**[Arahan:** Jawab **LIMA** (5) soalan. Jawab **TIGA** (3) soalan dari BAHAGIAN A dan BAHAGIAN B adalah **WAJIB**. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.]

Answers 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. [a] A notched rectangular bar of polyamide 6 undergoes plane strain fracture in three-point bending at 25 °C at an applied force of 400N. For this geometry, with  $S/W = 4$ ,  $Y$  is given by:

*Satu kepingan poliamida 6.6 yang bertakuk telah mengalami rekahan di bawah keadaan terikan satah di bawah pembengkokan 3 titik pada 25<sup>o</sup> C apabila dikenakan daya 400N. Untuk geometri tersebut, dengan  $S/W = 4$ ,  $Y$  diberikan oleh:*

$$Y = 1.09 - 1.73(a/W) + 8.20(a/W)^2 - 14.17(a/W)^3 + 14.55(a/W)^4$$

Calculate / Tentukan nilai:

- (i) Fracture toughness / Keliatan rekahan
- (ii) Fracture energy / Tenaga rekahan
- (iii) The minimum specimen dimensions and also radius of plastic zone for plain-strain fracture

*Dimensi minimum spesimen dan juga jejari zon plastik untuk kegagalan di bawah keadaan terikan satah*

Explain why values of fracture parameters obtained under plain strain are of more relevance in designing of polymeric products against failure?

*Jelaskan kenapakah parameter rekahan yang diperolehi di bawah keadaan terikan satah adalah lebih relevan dalam merekabentuk produk polimer terhadap kegagalan?*

Given / Diberikan:

Notch length / Panjang retak	= 10mm
Specimen width / Lebar spesimen	= 20mm
Specimen thickness / Tebal spesimen	= 8 mm
Shear Modulus / Modulus ricih	= 1.14 GPa
Compression yield stress / Tegasan alah mampatan	= 88 MPa
Poisson's ratio / Nisbah Poisson	= 0.42
Material's constant / Pemalar bahan	= 0.05

State clearly any assumption made in your calculation.

*Terangkan dengan jelas sebarang anggapan yang di buat.*

(80 marks/markah)

- [b] Explain how Considere' Construction can be used to determine yield stress and cold drawing of polymers.

*Terangkan bagaimana Pembinaan Considere' dapat digunakan untuk menentukan tegasan alah dan penarikan sejuk polimer.*

(20 marks/markah)

2. Write short notes on THREE of the following topics:

- (i) Brittle-ductile transitions.
- (ii) The application of Eyring model in the understanding of yield behaviour of polymers.
- (iii) Thermo-elastic behaviour of rubbers.
- (iv) Factors affecting yield behaviour of polymers.

*Tulis nota ringkas tentang TIGA daripada topik berikut:*

- (i) *Peralihan rapuh mulur.*
- (ii) *Penggunaan model Eyring dalam memahami kelakuan alah polimer.*
- (iii) *Kelakuan termo-kenyal bagi getah.*
- (iv) *Faktor yang mempengaruhi kelakuan alah polimer.*

(100 marks/markah)

3. [a] A sample of cross-linked poly 1,4-butadiene in a form of a cube of side 100 mm has a density of  $1000 \text{ kgm}^{-3}$  at  $27^{\circ} \text{ C}$ . Given that the molecular weight between cross-link points is  $5000 \text{ g mol}^{-1}$ . Calculate the tangent modulus of the sample.

*Satu sampel poli 1,4 butadiena berbentuk kiub dengan panjang tepi 100 mm yang tersambung-silang di dapati mempunyai ketumpatan  $1000 \text{ kgm}^{-3}$ , pada suhu  $27^{\circ} \text{ C}$ . Sekiranya berat molekul antara titik sambung-silang ialah  $5000 \text{ g mol}^{-1}$ . Tentukan modulus tangen untuk sampel tersebut.*

A displacement of 4.46mm was observed when a tangential force of 200N was applied to the sample. Determine the shear modulus of the sample. Explain for any difference between the shear modulus values obtained in both cases.

*Apabila sampel tersebut dikenakan daya tangen 200N, sesaran hasilan 4.46mm diperhatikan. Tentukan modulus ricih untuk sampel tersebut. Bagaimanakah anda jelaskan perbezaan nilai modulus ricih yang dihasilkan dalam kedua-dua kes tersebut.*

States clearly any assumption made in your calculation.

*Nyatakan dengan jelas sebarang anggapan yang di buat dalam pengiraan anda.*

Given / Diberi:

Gas constant / Pemalar gas	= $8.31 \text{ J/mol/K}$
Boltzmann's constant / Pemalar Boltzmann's	= $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Avogadro's number / Nombor Avogadro	= $6.023 \times 10^{23} \text{ /mol}$

(50 marks/markah)

...6/-

- [b] Describe the characteristic features that differentiate between brittle and ductile failures.

*Terangkan ciri utama yang membezakan di antara kegagalan rapuh dan kegagalan mulur.*

(25 marks/markah)

- [c] What is the main contribution of the theory proposed by Griffith and Inglis in understanding the fracture property of materials? What is the modification needed in order for the theory to predict the fracture behaviour of polymers accurately.

*Apakah sumbangan utama teori yang dikemukakan oleh Griffith dan Inglis dalam memahami sifat rekahan bahan? Apakah pengubahsuaian yang perlu dilakukan untuk membolehkan teori tersebut memberikan ramalan yang lebih tepat terhadap sifat rekahan polimer.*

(25 marks/markah)

4. [a] With reference to Tables 1 and 2 shown below, write a critical essay on "Microstructure-property relationships of polymers".

*Berpandukan Jadual 1 dan 2 yang diberikan di bawah, tulis satu esei kritikal berhubung "Hubungkait di antara mikrostruktur dan sifat bagi polimer".*

Table 1: Physical and mechanical properties of different grades of polyethylene  
*Jadual 1: Sifat fizikal dan mekanikal bagi pelbagai gred polietilena*

	LDPE	MDPE	HDPE
$\rho(\text{gcm}^{-3})$	0.91-0.925	0.926-0.94	0.941-0.965
$\chi$ (%)	60-70	70-80	80-95
Branch / Cabang ( $\text{CH}_3/1000\text{C}$ atoms)	15-30	5-15	1-5
$T_m$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	110-120	120-130	130-136
$E \times 10^8$ ( $\text{Nm}^{-2}$ )	0.97-2.6	1.7-3.8	4.1-12.4
$\sigma_b \times 10^7$ ( $\text{Nm}^{-2}$ )	0.41-1.6	0.83-2.4	2.1-3.8

Table 2: Physical and mechanical properties of polypropylene stereoisomers  
*Jadual 2: Sifat fizikal dan mekanikal bagi pelbagai stereoisomer polipropilena*

	Isotactic / Isotaktik	Syndiotactic / Sindiotaktik	Atactic / Ataktik
Appearance / Penampilan	Hard solid / Pepejal keras	Hard solid / Pepejal keras	Soft rubbery / Lembut bergetah
$T_m$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	175	131	< 100
$\rho(\text{gcm}^{-3})$	0.90-0.92	0.89-0.91	0.86-0.89
$\sigma_b \times 10^7$ ( $\text{Nm}^{-2}$ )	3.4	-	-
Solubility / Keterlarutan	Insoluble in most organic solvents / Tak larut dalam kebanyakan pelarut organik	Soluble in ether and aliphatic hydrocarbon / Larut dalam eter dan hidrokarbon alifatik	Soluble in common organic solvents / Larut dalam kebanyakan pelarut organik
$\chi$ (%)	< 70	-	-
$T_g$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	0 to / hingga -35	-	-11 to / hingga -35

(75 marks/markah)

- [b] From statistical theory, entropy of a polymer chain,  $S$  is given by:

*Daripada teori statistik, entropi suatu rantai polimer,  $S$ , diberikan sebagai:*

$$S = C - k \beta^2 r^2$$

Where  $C$ ,  $k$ ,  $\beta$  and  $r$  is an arbitrary constant, Boltzmann constant, Gaussian distribution parameter and end-to-end distance, respectively. Starting with the above equation, show clearly all the important steps that lead to the derivation of stress-strain relationship in rubber which is given by:

*Dengan  $C$ ,  $k$ ,  $\beta$  and  $r$  adalah masing-masing pemalar arbitrary, pemalar Boltzmann, parameter dalam taburan Gaussian dan jarak hujung-ke-hujung. Bermula dengan persamaan di atas, tunjukkan dengan jelas semua langkah utama yang akan membawa kepada penerbitan hubungkait di antara tegangan-terikan getah yang diberikan oleh:*

$$f = G \left( \lambda - \frac{1}{\lambda^2} \right)$$

(25 marks/markah)



5. [a] Table 3 below shows the data obtained from a Charpy impact test conducted on polypropylene at  $-40^{\circ}\text{C}$ .

*Jadual 3 menunjukkan data yang diperolehi daripada ujian hentaman Charpy ke atas polipropilena pada  $-40^{\circ}\text{C}$ .*

Table 3: Fracture energy of PP obtained from impact test  
*Jadual 3: Tenaga rekahan PP yang di perolehi daripada ujian hentaman.*

Sample / Sampel	Fracture energy (mJ) / Tenaga rekahan (mJ)	Notch length (mm) / Panjang retak	$\phi$
1	39.5	2.90	0.380
2	74.1	2.37	0.505
3	77.7	1.85	0.785
4	92.3	1.59	1.675
5	326.0	0.52	2.305

- (i) Calculate the values of fracture toughness under both plane strain and plane stress conditions.

*Tentukan nilai ketahanan rekahan di bawah keadaan terikan dan tegasan satah.*

- (ii) What would you expect to happen to the mode of failures and the fracture toughness if the impact test is conducted at  $-100^{\circ}\text{C}$ . How the toughness of PP samples can be improved at such a low temperature?

*Apakah yang anda jangkakan berlaku kepada mod kegagalan dan ketahanan rekahan sekiranya ujian hentaman dijalankan pada  $-100^{\circ}\text{C}$ . Bagaimanakah ketahanan sampel PP dapat diperbaiki pada suhu tersebut?*

Given / Diberi:

Length of sample / Panjang sampel	= 90mm
Width of sample / Lebar sampel	= 6 mm
Thickness of sample / Tebal sampel	= 6 mm
Span length / Panjang span	= 72 mm
Shear modulus at $-40^{\circ}\text{C}$ / Modulus ricih $-40^{\circ}\text{C}$	= 1.14GPa

(70 marks/markah)

- [b] Write a short essay on Mooney-Rivlin theory and its application in rubber elasticity.

*Tuliskan nota ringkas tentang teori Mooney-Rivlin dan kegunaannya dalam kekenyalan getah.*

(30 marks/markah)

**PART B.**  
**BAHAGIAN B.**

6. [a] Examine the responses of Maxwell and Voigt-Kelvin models for the following tests and give brief comments.
- (i) Creep.
  - (ii) Stress relaxation.
  - (iii) Tensile.

*Selidik reaksi model Maxwell and Voigt-Kelvin untuk ujian-ujian yang berikut dan berikan komen ringkas.*

- (i) *Krip*
- (ii) *Pengenduran tegasan*
- (iii) *Tegangan*

(90 marks/markah)

- [b] Consider the Maxwell model, write an expression for the creep compliance,  $J_c(t)$ .

*Pertimbangkan model Maxwell, tuliskan ungkapan bagi creep compliance,  $J_c(t)$ .*

(10 marks/markah)

7. [a] The damping peak for polymethyl methacrylate in Figure 1 is located at 130°C. The data were obtained with a torsion pendulum at about 1 cycle/s. At what temperature would the peak be located if measurements were made at 500 cycles/s? For polymethyl methacrylate,  $T_g = 105^\circ\text{C}$ .

*Puncak redaman (damping) bagi polimetil metakrilat di Rajah 1 berada pada suhu 130°C. Data ujikaji diperolehi menggunakan pendulum kilasan (torsion pendulum) pada 1 kitar/s. Pada suhu apakah puncak redaman akan diperhatikan sekiranya ujian dilakukan pada 500 kitar/s ialah  $T_g = 105^\circ\text{C}$  bagi polimetil metakrilat.*

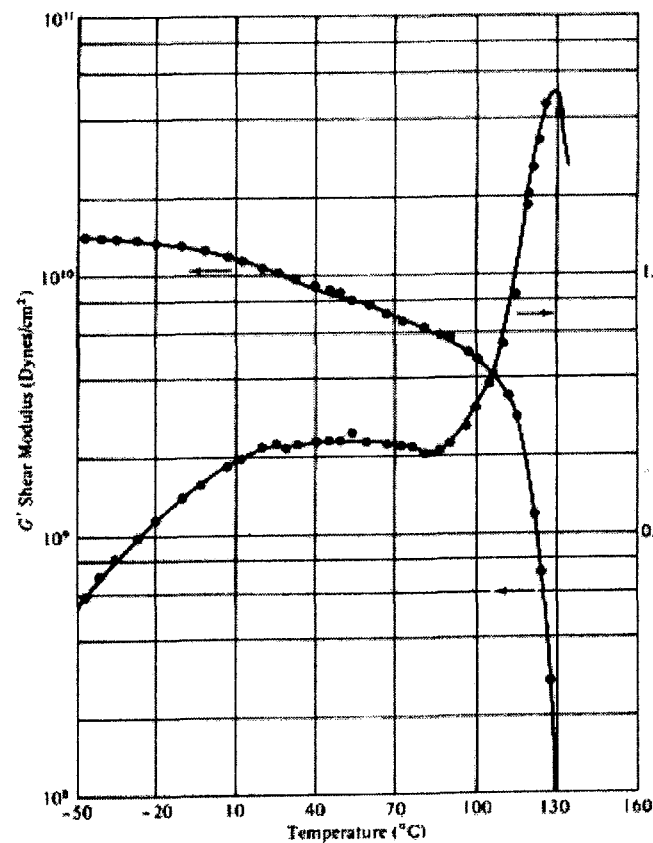


Figure 1: Dynamic mechanical properties of polymethyl methacrylate.

*Rajah 1: Sifat-sifat mekanik dinamik bagi polimetil metakrilat*

(50 marks/markah)

... 13/-

- [b] A master curve of polyisobutylene (PIB) indicates that stress relaxes to a modulus of  $10^6$  dyn/cm<sup>2</sup> in about 10 h at 25 °C. Estimate the time it will take to reach the same modulus at temperature of -20 °C. For PIB,  $T_g = -70$  °C.

Note:  $10$  dyn/cm<sup>2</sup> =  $1$  N/m<sup>2</sup>.

*Keluk induk bagi poliisobutilena (PIB) menunjukkan tegasan mengendur ke nilai modulus bersamaan  $10^6$  dyne/cm<sup>2</sup> dalam tempoh masa 10 jam pada 25°C. Anggarkan masa yang diperlukan untuk ia mempamerkan nilai modulus yang sama pada suhu -20°C. Bagi PIB,  $T_g = -70$ °C.*

*Nota:  $10$  dyn/cm<sup>2</sup> =  $1$  N/m<sup>2</sup>.*

(50 marks/markah)