

---

# UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
Academic Session 2009/2010

November 2009

**EBP 306/3 – Properties of Polymer Materials Engineering**  
***[Sifat-sifat Kejuruteraan Bahan Polimer]***

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

---

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

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

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

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

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

***[Arahan:*** Jawab **TIGA** soalan dari BAHAGIAN A dan **DUA** soalan dari BAHAGIAN B. *Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima 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.]*

**PART A / BAHAGIAN A**

1. Which is the best to describe the response of a viscoelastic material in a creep test, Maxwell or Voight-Kelvin model? Provide justifications for your choice of model.

*Model manakah yang terbaik bagi menerangkan kelakuan suatu bahan viskoelastik semasa ujian krip, model Maxwell atau model Voight-Kelvin? Beri justifikasi bagi model pilihan anda.*

(100 marks/markah)

2. [a] Write short notes on ONE of the following topics:
- (i) Brittle-ductile transition.
  - (ii) Yielding phenomena in polymers.

*Tulis nota ringkas tentang SATU daripada topik berikut:*

- (i) *Peralihan rapuh-mulur.*
- (ii) *Fenomena alah dalam polimer.*

(30 marks/markah)

- [b] Table 1 below shows the data obtained from a Charpy impact test conducted on polypropylene at  $-40^{\circ}\text{C}$ .

*Jadual 1 menunjukkan data yang diperolehi daripada ujian hentaman Charpy ke atas polipropilena pada  $-40^{\circ}\text{C}$ .*

Table 1: Fracture energy of PP obtained from the impact test  
*Jadual 1: Tenaga rekahan PP yang diperolehi daripada ujian hentaman*

Sample / <i>Sampel</i>	Fracture Energy / <i>Tenaga Rekahan</i> (mJ)	Notch Length / <i>Panjang Retak</i> (mm)	$\phi$
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) Explain why values of fracture parameters obtained under plane 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 merencanakan produk polimer terhadap kegagalan?*

- (iii) How the toughness of PP samples can be improved at such a low temperature?

*Bagaimanakah ketahanan sampel PP dapat diperbaiki pada suhu tersebut?*

Given / *Diberi:*

Length of sample / *Panjang sampel* = 90 mm

Width of sample / *Lebar sampel* = 6 mm

Thickness of sample / *Tebal sampel* = 6 mm

Span length / *Panjang span* = 72 mm

Shear modulus at / *Modulus ricih* -40°C = 1.14 GPa

(70 marks/markah)

...4/-

3. [a] Explain how the long chain nature of the molecules in rubber gives rise to the characteristic elastic properties of the material.

*Terangkan bagaimana rantaian panjang semulajadi molekul di dalam getah dapat menghasilkan pencirian sifat-sifat keelastikan sesuatu bahan.*

(60 marks/markah)

- [b] What is the effect of strain induced crystallization in rubber on its:
- (i) stress strain curve and
  - (ii) tear properties?

*Apakah kesan penghabluran teraruh terikan dalam getah ke atas:*

- (i) *lengkungan tegasan-terikan dan*
- (ii) *sifat-sifat pencabikan?*

(20 marks/markah)

- [c] The natural rubber band has a much higher tear resistance than a similar band made in SBR gum. Explain in molecular terms why this is so.

*Gegelang getah asli mempunyai ketahanan pencabikan yang lebih tinggi daripada gelang yang sama yang diperbuat daripada gam SBR. Jelaskan dari segi molekul bagaimana keadaan ini berlaku.*

(20 marks/markah)

**PART B / BAHAGIAN B**

4. [a] What is Boltzman superposition principal?

*Apakah prinsip superposisi Boltzman?*

(10 marks/markah)

- [b] The creep compliance of a thermoplastic at 25 °C is described by:

*Krip komplians bagi suatu termoplastik pada 25 °C di ungkapkan sebagai:*

$$J_{c25}(t) = 1.2 \times 10^{-3} t^{0.10} \quad (\text{m}^2 / \text{N with } t \text{ in s})$$

- (i) This material has  $T_g = 0$  °C. Assume that its temperature shift factors are given by the WLF equation with the 'universal' constant. Obtain an equation that gives its creep compliance at 35 °C,  $J_{c35}(t)$ .

*Bahan ini mempunyai  $T_g = 0$  °C. Dengan anggapan faktor anjakan suhunya boleh diperolehi dari persamaan WLF menggunakan pemalar 'universal', tentukan ungkapan bagi krip komplians pada 35 °C,  $J_{c35}(t)$ .*

(30 marks/markah)

- (ii) The same material is subjected to the following stress history at 25 °C.

*Bahan yang sama dikenakan sejarah tegasan seperti yang berikut pada 25 °C.*

$t \leq 0 \text{ s}$	$\tau = 0 \text{ N / m}^2$
$0 \leq t \leq 1000 \text{ s}$	$\tau = 1000 \text{ N / m}^2$
$1000 \leq t \leq 2000 \text{ s}$	$\tau = 1500 \text{ N / m}^2$
$2000 \leq t \text{ s}$	$\tau = 0 \text{ N / m}^2$

Calculate the shear strain at 500, 1500, and 2500 s.

*Kirakan terikan ricih pada 500, 1500, dan 2500 s.*

(60 marks/markah)

5. [a] A rectangular bar of polycarbonate (PC) undergoes plane strain fracture in three-point bending at 25°C at an applied force of 390 N. Calculate:
- (i) Fracture toughness.
  - (ii) Fracture energy.
  - (iii) The minimum specimen dimensions.
  - (iv) The radius of the plastic zone.

*Satu bar polikarbonat telah mengalami rekahan di bawah keadaan terikan satah di bawah pembengkokan 3 titik pada 25°C apabila dikenakan daya 390 N.*

*Tentukan:*

- (i) *Keliatan rekahan.*
- (ii) *Tenaga rekahan.*
- (iii) *Dimensi minimum spesimen.*
- (iv) *Jejari zon plastik.*

*Given / Diberi:*

Span length / <i>Panjang span</i>	= 80 mm
Specimen thickness / <i>Tebal spesimen</i>	= 8 mm
Notch length / <i>Panjang retak</i>	= 10 mm
Ratio of span length to width / <i>Nisbah span ke lebar</i>	= 4
Shear Modulus / <i>Modulus Ricih</i>	= 1.14 GPa
Yield stress / <i>Tegasan alah</i>	= 71 MPa
Poisson's ratio / <i>Nisbah Poisson</i>	= 0.42

Geometrical correction factor is given by:

*Faktor pembetulan geometri spesimen diberikan oleh:*

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

State clearly any assumption made in your calculation.

*Terangkan dengan jelas sebarang anggapan yang dibuat dalam pengiraan anda.*

(50 marks/markah)

...8/-

- [b] Write a short note on the application of linear elastic fracture mechanic theory in fatigue test.

*Tuliskan satu nota ringkas berhubung penggunaan teori rekahan kenyal linear dalam ujian fatigue.*

(30 marks/markah)

- [c] Explain how Considere' Construction can be used to determine yield stress of polymers.

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

(20 marks/markah)

6. [a] A sample of polyisoprene containing  $6 \times 10^{20}$  chains between cross-links is extended uniaxially at  $40^\circ\text{C}$  until its length is double the initial length. Calculate the heat gained or lost. Assume a Gaussian network and  $\langle r^2 \rangle_1 = \langle r^2 \rangle_0$ .

Given: the transverse extension ratios (which must be equal) are:

$$\gamma_x = \gamma_y = 1/\gamma_z^{1/2}$$

$$\gamma_z = 2 \text{ and Boltzmann's constant} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

*Satu sampel poliisoprene mengandungi  $6 \times 10^{20}$  rantaian di antara titik sambung silang yang telah dipanjangkan secara unipaksi pada  $40^\circ\text{C}$  sehingga panjangnya telah berubah menjadi dua kali ganda daripada panjang asal. Kirakan haba yang terkumpul ataupun hilang. Anggarkan rangkaian Gaussian dan  $\langle r^2 \rangle_1 = \langle r^2 \rangle_0$ .*

*Diberikan: ratio pemanjangan melintang (yang semestinya sama) adalah:*

$$\gamma_x = \gamma_y = 1/\gamma_z^{1/2}$$

$$\gamma_z = 2 \text{ dan pemalar Boltzmann's} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

(75 marks/markah)

- [b] The specimen of Question 6[a] is of initial length  $L_i = 0.01$  m. What is the force required to double its length?

*Sampel di dalam Soalan 6[a] mempunyai panjang asal  $L_i = 0.01$  m. Berapakah kekuatan yang diperlukan untuk menggandakan panjangnya?*

(25 marks/markah)

7. [a] A master curve for polyisobutylene indicates that stress relaxes to a modulus of  $10 \text{ dyn / cm}^2$  in about 10 h at  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Using the WLF equation;
- Calculate the glass transition temperature ( $T_g$ ) for polyisobutylene. It is given that at  $T_g$ , the modulus is observed at  $2.0 \times 10^{12} \text{ h}$ .
  - Estimate the time it will take to reach the same modulus at temperature of  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Keluk induk bagi poliisobutilena menunjukkan tegasan mengendur ke suatu modulus  $10 \text{ dyn / cm}^2$  dalam tempoh 10 jam pada  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dengan menggunakan persamaan WLF;*

- Tentukan suhu peralihan kaca bagi poliisobutilena. Pada  $T_g$ , modulus tersebut diperhatikan pada  $2.0 \times 10^{12} \text{ jam}$ .*
- Anggarkan masa yang diperlukan bagi memerhatikan modulus tersebut pada suhu  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ .*

(30 marks/markah)

- [b] With reference to Table 1 shown below, write a critical essay on "Microstructural-property relationships of polymers".

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

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

(40 marks/markah)

...11/-

- [c] Knowledge regarding network imperfections are important because it can effect the elasticity of the elastomer. Give your critical comments on three different types of 'network defects'.

*Pengetahuan berkenaan dengan ketidaksempurnaan jaringan amat penting kerana ia boleh menentukan keelastikan sesuatu elastomer. Berikan komen secara kritikal terhadap tiga jenis kecacatan jaringan yang berbeza.*

(30 marks/markah)