

---

# UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
Academic Session 2008/2009

November 2008

## **EBP 306/3 - Properties and Testing of Polymers** **[Sifat-sifat dan Pengujian Polimer]**

Duration : 3 hours  
[Masa : 3 jam]

---

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

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

This paper contains SEVEN questions.

*[Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan.]*

**Instructions:** Answer FIVE questions. If a candidate answers more than five questions only the first five questions in the answer sheet will be graded.

**[Arahan:** Jawab LIMA soalan. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima 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.]*

1. [a] From statistical theory, strain energy  $W$ , of an elastomer can be given as:

$$W = \frac{1}{2} G (\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 - 3)$$

Derive an equation for the stress-strain relationship in:

- (i) uniaxial tension
- (ii) biaxial tension and
- (iii) simple shear modes

Discuss the theoretical and experimental behaviors for uniaxial tension and simple shear modes of deformation.

*Daripada teori statistik, tenaga terikan  $W$ , bagi satu elastomer dapat di berikan sebagai:*

$$W = \frac{1}{2} G (\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 - 3)$$

*Terbitkan persamaan tegasan-terikan:*

- (i) *tegangan unipaksi*
- (ii) *tegangan bipaksi dan*
- (iii) *ricih mudah*

*Bincangkan hubungkait di antara pemerhatian teori dan eksperimen bagi mod canggaan tegangan unipaksi dan ricih mudah.*

(70 marks/markah)

[b] Give your critical comments on the following statements:

*Berikan komen yang kritik tentang kenyataan berikut:*

- (i) When a cross-linked rubber sample is deformed, the stress-strain behaviour is predominantly determined by the entropic contribution.

*Apabila sampel getah tersambung-silang tercangga, kelakuan tegasan-terikannya adalah ditentukan secara keseluruhannya oleh sumbangan entropi.*

- (ii) The discrepancies between the experimental and theoretical values can be attributed to the network defects presence in the rubber.

*Seringkali perbezaan di antara nilai eksperimen dan teori dapat dikaitkan dengan kewujudan kecacatan rangkaian yang terdapat di dalam getah.*

(30 marks/markah)

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

- (a) Environmental stress cracking of polymers
- (b) The application of linear elastic fracture mechanic theory in characterizing the fracture behaviour of polymers
- (c) Griffith theory
- (d) Crazing phenomena in polymers

*Tulis nota ringkas tentang TIGA daripada topik berikut:*

- (a) *Retakan tegasan persekitaran bagi polimer*
- (b) *Penggunaan teori mekanik kenyal linear dalam mencirikan sifat rekahan polimer*
- (c) *Teori Griffith*
- (d) *Fenomena retak halus dalam polimer*

(100 marks/markah)

3. [a] A sample of cross-linked polyisoprene is tested at 27°C. Given that the molecular weight between cross-link points is 5000 g mol<sup>-1</sup>, calculate the tensile and shear moduli.

A sheet of the same rubber was subjected to a biaxial tensile test at 27°C. Axes X and Y is chosen parallel to the edges of the sheet. Forces  $F_x$  and  $F_y$  are applied in X and Y directions respectively to stretch the sheet homogeneously, to bring both the X- and Y- dimensions to 300 mm. Calculate the values of both forces.

States clearly any assumption made in your calculation.

*Satu sampel poliisoprena yang tersambung silang telah diuji pada 27°C. Sekiranya berat molekul di antara titik sambung-silang ialah 5000 g mol<sup>-1</sup>, tentukan nilai modulus tensil dan modulus ricih.*

*Satu ujian tensil bipaksi telah dijalankan ke atas kepingan sampel getah yang sama pada 27°C. Paksi X dan Y adalah selari dengan sisi kepingan tersebut. Daya  $F_x$  dan  $F_y$  dikenakan dalam arah X dan Y untuk memanjangkan kepingan tersebut secara seragam hingga menjadikan kedua-dua dimensi X dan Y kepada 300 mm. Tentukan nilai kedua-dua daya tersebut.*

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

Given:

Sample length	= 200 mm
Sample width	= 200 mm
Sample thickness	= 10 mm
Density of rubber	= 900 kgm <sup>-3</sup>
Gas constant	= 8.31 J/mol/K
Boltzmann's constant	= 1.38 x 10 <sup>-23</sup> J/K
Avogadro's number	= 6.023 x 10 <sup>23</sup> /mol

*Diberi:*

<i>Panjang sampel</i>	= 200 mm
<i>Lebar sampel</i>	= 200 mm
<i>Tebal sampel</i>	= 10 mm
<i>Ketumpatan getah</i>	= 900 kgm <sup>-3</sup>
<i>Pemalar Gas</i>	= 8.31 J/mol/K
<i>Pemalar Boltzmann</i>	= 1.38 x 10 <sup>-23</sup> JK <sup>-1</sup>
<i>Number Avogadro</i>	= 6.023 x 10 <sup>23</sup> mol <sup>-1</sup>

(70 marks/markah)

[b] Discuss factors that influence the yield behaviour of polymers.

*Bincangkan faktor yang mempengaruhi kelakuan alah polimer.*

(30 marks/markah)

4. [a] Samples of polycarbonate undergo plane strain fracture in three-point bending tests that were conducted at 25°C. Calculate:

- (i) the fracture energy
- (ii) the force required to fracture the bars when the notch length is 3 mm
- (iii) the radius of plastic zone
- (iv) the minimum value of notch length to initiate brittle fracture before the first yield

Given:

Specimen width	= 10 mm
Specimen thickness	= 5 mm
Ratio of span length to width	= 8
Shear Modulus	= 1.14 GPa
Compression yield stress	= 71 MPa
Surface energy	= 0.75 kJm <sup>-2</sup>
Poisson's ratio	= 0.40
Material's constant	= 0.05

$$Y = 1.11 - 1.55(a/W) + 7.71(a/W)^2 - 13.5(a/W)^3 + 14.2(a/W)^4$$

State clearly any assumptions made in your calculation.

*Sampel polikarbonat telah mengalami rekahan di bawah keadaan terikan satah dalam ujian pembengkokan tiga titik pada 25°C. Tentukan:*

- (i) *tenaga rekahan*
- (ii) *daya yang diperlukan untuk mematahkan sampel apabila panjang retak ialah 3 mm*
- (iii) *jejari zon plastik*
- (iv) *nilai minimum panjang retak untuk memulakan rekahan rapuh sebelum berlakunya alah.*

Diberi:

Lebar spesimen	= 10 mm
Tebal spesimen	= 5 mm
Nisbah span ke lebar	= 8
Modulus ricih	= 1.14 GPa
Tegasan alah mampatan	= 71 MPa
Tenaga permukaan	= 0.75 kJm <sup>-2</sup>
Nisbah Poisson	= 0.4
Pemalar bahan	= 0.05

Faktor pembetulan geometri spesimen diberikan oleh

$$Y = 1.11 - 1.55 (a/W) + 7.71 (a/W)^2 - 13.5 (a/W)^3 + 14.2 (a/W)^4$$

Terangkan dengan jelas sebarang anggapan yang dibuat dalam pengiraan anda.

(80 marks/markah)

- [b]. Explain why the values of fracture toughness and fracture energy obtained under plane strain are of more relevance in designing of polymeric products against failure?

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

(20 marks/markah)

5. [a] A fatigue test was conducted on polymethyl methacrylate (PMMA) in the form of compact tension at 25°C. If the maximum dan minimum forces were fixed at 100 N and 50 N, respectively,
- (i) Determine the values for the amplitude stress and stress ratio.
  - (ii) Calculate the value of crack propagation rate,  $da/dN$  of the sample. You may assume that the test followed Paris relationship.
  - (iii) What are other factors that may influence the value of  $da/dN$ ?

Given:

Sample thickness	= 6 mm
Sampel width	= 50 mm
Crack length	= 20 mm
Constant, $C_2$	= 0.035
Constant, $n$	= 2.4

$$Y = 16.70 - 104.7(a/W) + 369.9(a/W)^2 - 573.8(a/W)^3 + 360.5(a/W)^4$$

*Satu ujian fatig telah dijalankan ke atas sampel polimetil metakrilat (PMMA) dalam bentuk ketegangan padat pada 25°C. Sekiranya daya maksimum dan daya minimum ditetapkan masing-masing pada 100 N dan 50 N,*

- (i) *Tentukan nilai bagi amplitud tegasan dan nisbah tegasan*
- (ii) *Tentukan nilai kadar perambatan retak,  $da/dN$  bagi sampel tersebut. Anda boleh anggapan ujian tersebut mematuhi hubungkait Paris.*
- (iii) *Apakah faktor utama yang lain yang boleh mempengaruhi nilai  $da/dN$*

*Diberi:*

<i>Ketebalan sampel</i>	= 6 mm
<i>Kelebaran sampel</i>	= 50 mm
<i>Panjang retak</i>	= 20 mm
<i>Pemalar, <math>C_2</math></i>	= 0.035
<i>Pemalar, <math>n</math></i>	= 2.4

$$Y = 16.70 - 104.7(a/W) + 369.9(a/W)^2 - 573.8(a/W)^3 + 360.5(a/W)^4$$

(60 marks/markah)



- [b] By giving suitable examples, discuss the effect of microstructure on the mechanical properties of polymers.

*Dengan memberi contoh yang sesuai, bincangkan kesan mikrostruktur ke atas sifat mekanik polimer.*

(40 marks/markah)

6. [a] Examine the response Voight-Kelvin model in a creep test and determine the expression for creep compliance,  $J_c(t)$ .

*Selidik reaksi model Voight-Kelvin bagi ujian krip dan tentukan ungkapan bagi komplians krip,  $J_c(t)$ .*

(30 marks/markah)

- [b] The Voight-Kelvin model has a spring constant  $E = 1$  GPa and a dashpot viscosity  $\eta = 10^{13}$  Pa sec. The model is loaded under a constant stress of 10 MPa for 10 hours, followed by a constant stress of 30 MPa for 5 hours. The model is then unloaded. Calculate the strain in the element at time  $t = 20$  hours after the initial load first applied.

*Model Voight-Kelvin mempunyai pemalar spring  $E = 1$  GPa dan kelikatan daspot  $\eta = 10^{13}$  Pa saat. Model dikenakan tegasan malar 10 MPa selama 10 jam, ini diikuti dengan tegasan 30 MPa yang dikekalkan selama 5 jam. Tegasan kemudiannya dialihkan serta-merta dari model. Kirakan terikan dalam model pada  $t = 20$  jam selepas tegasan pertama dikenakan.*

(30 marks/markah)

- [c] The creep behavior of polyethylene is given by the creep compliance data in the Table 1 below.

*Kelakuan krip polietilena diberikan oleh data krip komplians seperti di Jadual 1 di bawah.*

**Table 1 - Creep compliance of polyethylene**

*Jadual 1 - Krip komplians bagi polietilena*

<b>t (hours)</b>	<b>J(t) (<math>\times 10^{-4}</math>) (psi<sup>-1</sup>)</b>
0	0.600
100	0.700
200	0.720
300	0.730
400	0.740
500	0.750
600	0.760
700	0.765
800	0.770

Another, similar specimen of polyethylene is subjected to the following stress history as in Table 2.

*Sampel polietilena yang serupa dikenakan sejarah pembebanan seperti di Jadual 2.*

**Table 2 - Stress history for the polyethylene specimen**

*Jadual 2 - Sejarah pembebanan spesimen polietilena*

<b>Stress (psi)</b>	<b>Duration (hours)</b>
50	100
30	100
50	200
0	200
40	100
unloaded	

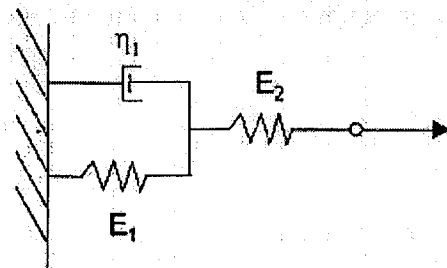
Calculate the strain in the specimen at times  $t = 0, 300, 500,$  and  $800$  hours.

*Kirakan terikan pada sampel pada  $t = 0, 300, 500,$  dan  $800$  jam.*

(40 marks/markah)

7. [a] The retardation time,  $\tau$ , defined as  $\tau = \frac{\eta}{E}$  is often used to replace viscosity and Young's modulus. Consider the following expression for the total strain  $\epsilon$  as a function of time for the standard linear model shown below (Figure 1).

*Masa pengenduran,  $\tau$ , yang diberikan sebagai  $\tau = \frac{\eta}{E}$  biasa digunakan untuk menggantikan kelikatan dan modulus Young. Pertimbangkan ungkapan bagi jumlah terikan  $\epsilon$  sebagai fungsi masa  $t$  untuk model linear piawai berikut (Rajah 1).*



**Figure 1 - Standard linear model**

*Rajah 1 - Model linear piawai*

$$\epsilon(t) = \frac{\sigma}{E_2} + \frac{\sigma}{E_1} \left[ 1 - \exp \left[ -\frac{E_1}{\eta_1} t \right] \right]$$

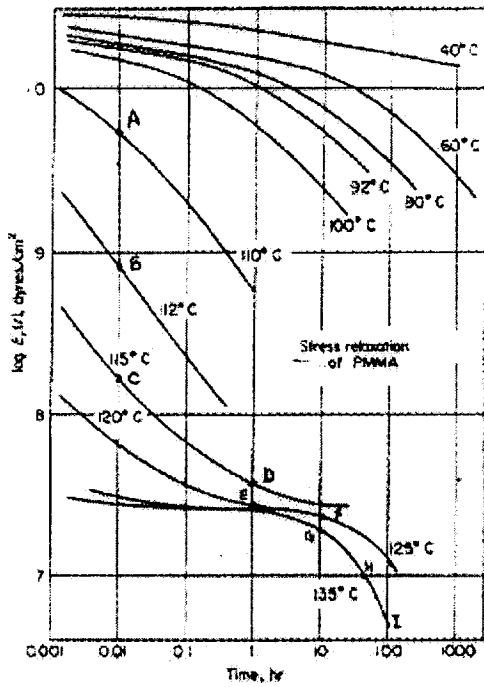
If immediately after applying the stress, the strain is 0.002; after 1000 seconds the strain is 0.004; and after very long time ( $\infty$ ) the strain tends to 0.006. Based on this information, calculate the retardation time.

*Apabila tegasan dikenakan serta merta, nilai terikan adalah 0.002; selepas 1000 saat terikan meningkat kepada 0.004 dan jika tegasan dikenakan untuk suatu tempoh yang lama terikan adalah 0.006. Berdasarkan maklumat ini tentukan masa pengenduran tersebut.*

(30 marks/markah)

- [b] For poly-methyl-methacrylate at different temperatures the variation of elastic modulus with time is shown in Figure 2. Use time-temperature-superposition principle for points A to I to construct the  $\log(E)$  v/s  $\log(t)$  curve at the glass-transition temperature  $T_g = 105^\circ\text{C}$ . Note that if the reference temperature is  $T_g$  then the universal values for the two constants in the WLF equations are  $C_1 = 17.44$  and  $C_2 = 51.6^\circ\text{C}$ .

*Modulus elastik bagi polimetil metakrilat pada suhu berbeza ditunjukkan pada Rajah 2. Dengan menggunakan prinsip superposisi masa suhu untuk titik A hingga I, bina kurva  $\log(E)$  lawan  $\log(t)$  pada suhu peralihan kaca  $T_g = 105^\circ\text{C}$ . Sekiranya suhu rujukan adalah suhu peralihan kaca maka pemalar universal bagi persamaan WLF ialah  $C_1 = 17.44$  and  $C_2 = 51.6^\circ\text{C}$ .*



Point	T (°C)	t (hr)	E (10 <sup>6</sup> dynes/cm <sup>2</sup> )
A	110	0.01	5128.6
B	112	0.01	837.76
C	115	0.01	168.3
D	115	1.0	36.3
E	120	1.0	27.54
F	125	10.0	23.49
G	135	10.0	18.62
H	135	45.1	10.0
I	135	100	4.75

**Figure 2**

**Rajah 2**

(70 marks/markah)

- oooOooo -