

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
Academic Session 2004/2005

October 2004

**EBP 306E – Properties And Testing Of Polymers**  
***[Sifat-Sifat Dan Pengujian Polimer]***

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

---

Please check that this examination paper consists of TWELVE pages of printed material and ONE page APPENDIX before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi DUA BELAS muka surat bercetak dan SATU muka surat LAMPIRAN sebelum anda memulakan peperiksaan].*

This paper contains SIX questions.

*[Kertas soalan ini mengandungi ENAM soalan].*

**Instructions:** Answer **FIVE** (5) questions. If a candidate answer more than five questions, only the first five answered will be examined and awarded marks.

**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].*

All questions must be answered in English. However, ONE question can be answered in bahasa Malaysia.

*[Jawab semua soalan dalam bahasa Inggeris. Walau bagaimanapun, SATU soalan dibenarkan dijawab dalam bahasa Malaysia].*

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 uniaxial tension and simple shear modes. Discuss the theoretical and experimental behaviors between the two types of modes of deformation.

(40 marks)

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

- (i) When a rubber molecule is deformed, the change in the free energy is predominantly determined by the entropic contribution.
- (ii) Frequently the discrepancies between the experimental and theoretical values can be attributed to the inherent defects presence in the materials.
- (iii) Brittle-ductile transition temperature is the same as the glass transition temperature.

(60 marks)

1. [a] *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 bagi mod tegangan unipaksi dan ricih mudah. Bincangkan hubungkait di antara pemerhatian teori dan eksperimen bagi kedua-dua mod canggaan tersebut.*

*(40 markah)*

- [b] *Berikan komen yang kritik tentang DUA daripada kenyataan berikut:*

- (i) Apabila molekul getah terancang, perubahan dalam tenaga bebas di tentukan secara keseluruhannya oleh sumbangan entropi.*
- (ii) Seringkali perbezaan di antara nilai eksperimen dan teori dapat dikaitkan dengan kewujudan kecacatan yang terdapat di dalam bahan.*
- (iii) Suhu peralihan rapuh-mulur adalah sama dengan suhu peralihan kaca.*

*(60 markah)*

2. [a] A notched rectangular bar of polyoxymethylene (POM) with dimensions  $a = 10$  mm,  $W = 20$  mm, and  $B = 8$  mm undergoes plane strain fracture in three-point bending at  $25^\circ\text{C}$  at an applied force of 390N. For this geometry, with  $S/W = 4$ ,  $Y$  is given by:

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

Calculate:

- (i) Fracture toughness
- (ii) Fracture energy
- (iii) The minimum specimen dimensions for plain-strain fracture

Find the applied force needed to fracture a compact tension POM specimen having  $a = 25$  mm,  $W = 50$  mm, and  $B = 10$  mm.

Given:

Shear Modulus = 1.14 GPa

Yield stress = 62 MPa

Poisson's ratio = 0.42

State clearly any assumption made in your calculation.

(70 marks)

- [b] Explain why values of fracture parameters obtained under plain strain is of more relevance in designing of polymeric products against failure?

(30 marks)

2. [a] Satu bar polioksimetilena (POM) yang bertakuk dengan dimensi  $a = 10$  mm,  $W = 20$  mm, dan  $B = 8$  mm telah mengalami rekahan di bawah keadaan terikan satah di bawah pembengkokan 3 titik pada  $25^\circ\text{C}$  apabila dikenakan daya 390N. Untuk geometri tersebut, dengan  $S/W = 4$ ,  $Y$  diberikan oleh:

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

Tentukan nilai:

- (i) Keliatan rekahan
- (ii) Tenaga rekahan
- (iii) Dimensi minimum spesimen untuk kegagalan di bawah keadaan terikan satah.

Tentukan daya gunaan yang diperlukan mengagalkan satu spesimen POM berbentuk tegangan padat dengan dimensi  $a = 25$  mm,  $W = 50$  mm, dan  $B = 10$  mm.

Diberikan:

$$\text{Modulus ricih} = 1.14 \text{ GPa}$$

$$\text{Tegasan alah} = 62 \text{ MPa}$$

$$\text{Nisbah Poisson} = 0.42$$

Terangkan dengan jelas sebarang anggapan yang dibuat.

(70 markah)

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

(30 markah)

3. [a] A sample of cross-linked poly 1,4-butadiene is found to have a Young's modulus and density of  $0.9 \text{ MNm}^{-2}$  and  $975 \text{ kgm}^{-3}$ , respectively at  $27^\circ\text{C}$ . Given that the molecular weight between cross-link point is  $5000 \text{ g mol}^{-1}$ , calculate:

- (i) molecular weight of the rubber before cross-linking
- (ii) shear modulus of the ideal rubber network
- (iii) shear modulus of the real rubber network

Explain for any difference between the values obtained in ii and iii.

A block of the cross-linked rubber, a cube of side 100 mm, is tested at a temperature of  $27^\circ\text{C}$ . Calculate what is the tension needed to result in a deflection of 4.46 mm in the sample?

States clearly any assumption made in your calculation.

Given:

Gas constant =  $8.31 \text{ J/mol/K}$

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

Avogadro's number =  $6.023 \times 10^{23} / \text{mol}$

(80 marks)

- [b] What do you understand by the term ductile and brittle failures?

(20 marks)

3. [a] Satu sampel poli 1,4 butadiena yang tersambung-silang di dapati masing-masing mempunyai modulus Young dan ketumpatan  $0.9 \text{ MNm}^2$  dan  $975 \text{ kgm}^{-3}$ , pada suhu  $27^\circ\text{C}$ . Sekiranya berat molekul antara titik sambung-silang ialah  $5000 \text{ g mol}^{-1}$ , tentukan:

- (i) berat molekul getah sebelum sambung-silang
- (ii) modulus ricih bagi rangkaian getah yang ideal
- (iii) modulus ricih bagi rangkaian getah yang sebenar

Jelaskan sekiranya terdapat sebarang perbezaan di antara nilai yang di perolehi dari ii dan iii.

Satu ujian telah dijalankan ke atas satu blok getah tersambung-silang yang berukuran  $100 \text{ mm}$  pada sisi pada suhu  $27^\circ\text{C}$ . Tentukan berapakah daya tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan sesaran sebanyak  $4.46 \text{ mm}$  ke atas sampel tersebut?

Nyatakan dengan jelas sebarang anggapan yang dibuat dalam pengiraan anda.

Diberi:

$$\text{Pemalar gas} = 8.31 \text{ J/mol/K}$$

$$\text{Pemalar Boltzmann's} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$\text{Nombor Avogadro's} = 6.023 \times 10^{23} / \text{mol}$$

(80 markah)

- [b] Apakah yang anda fahami dengan kegagalan mulur dan rapuh?

(20 markah)

4. [a] What do you understand by creep test?  
(10 marks)
- [b] Describe how you can carry out creep test in the laboratory at room temperature. Draw the graph which is usually obtained.  
(15 marks)
- [c] From the graph which was obtained from the creep test, show how you can generate an isochronous graph. Discuss how you can obtain the same graph by other means.  
(35 marks)
- [d] A polypropylene beam 100 mm long is supported at its two ends and a load  $W$  is applied to its middle. If the service life of the beam is one year and the maximum allowable strain is 2%, use a creep curve to determine the maximum load that can be applied so that bending does not exceed 5 mm.

$$\text{Given } \delta = WL^3/48EI$$

Where  $\delta$  = bending  
 $E$  = modulus  
 $I$  =  $28 \text{ mm}^4$   
 $W$  = load  
 $L$  = Length

(40 marks)



4. [a] *Apakah yang anda fahami dengan ujikaji krip?*  
(10 markah)
- [b] *Perihalkan bagaimana anda boleh melakukan ujikaji krip dalam makmal pada suhu bilik. Lakarkan graf yang biasa diperolehi.*  
(15 markah)
- [c] *Daripada graf yang diperolehi melalui ujikaji krip, tunjukkan bagaimana anda boleh menjana graf isokronus. Bincangkan cara lain untuk memperolehi graf isokronus.*  
(35 markah)
- [d] *Satu rasuk polipropilena yang panjangnya 100 mm disokong pada dua hujungnya dan dikenakan beban  $W$  pada bahagian tengahnya. Jika hayat khidmat rasuk adalah satu tahun dan terikan maksimum adalah 2%, gunakan lengkungan krip untuk menentukan beban maksimum yang boleh dikenakan supaya pembengkokan rasuk tidak melebihi 5 mm.*

$$\text{Diberi } \delta = WL^3/48EI$$

di mana  $\delta$  = pembengkokan  
 $E$  = modulus  
 $I$  =  $28 \text{ mm}^4$   
 $W$  = beban  
 $L$  = panjang

(40 markah)

5. [a] Explain how tensile test can be done in the lab and draw the stress/strain graph usually obtained for a semi-crystalline polymer.

(25 marks)

- [b] Explain the following items and show how they are obtained from the graph:

- (i) yield point
- (ii) limit of proportionality
- (iii) elastic modulus
- (iv) secant modulus at 3%, and
- (v) toughness

(15 marks)

- [c] Describe the modulus, yield stress and elongation of materials displaying the following properties:

- (i) soft and weak
- (ii) soft and tough
- (iii) hard and brittle
- (iv) hard and strong, and
- (v) hard and tough.

Draw the schematic stress versus strain graphs for these materials.

(25 marks)

- [d] Discuss the experimental factors that can influence the results of tensile tests.

(35 marks)

5. [a] Bagaimanakah ujian tensil boleh dilakukan dalam makmal dan lakarkan graf tegasan/terikan yang biasa diperolehi bagi bahan polimer semihablur.  
(25 markah)

[b] Tafsirkan perkara berikut dan tunjukkan bagaimana ia diperolehi daripada graf di atas:

- (i) takat alah
- (ii) had perkadaran
- (iii) modulus kekenyalan
- (iv) modulus sekan 3%, dan
- (v) keliatan

(15 markah)

[c] Terangkan ciri modulus, tegasan alah dan pemanjangan bagi bahan yang mempamirkan sifat-sifat berikut:

- (i) lembut dan lemah
- (ii) lembut dan liat
- (iii) keras dan rapuh
- (iv) keras dan kuat, dan
- (v) keras dan liat.

Lakarkan graf skematik tegasan melawan terikan bahan tersebut.

(25 markah)

[d] Bincangkan faktor ujikaji yang boleh mempengaruhi keputusan ujian tensil.

(35 markah)

6. [a] What is Boltzmann Superposition Principle? For a visco-elastic material undergoing creep, obtain the general formula for strain where stress is increased in series.  
(25 marks)
- [b] Damping reaches a maximum at the glass transition temperature of a polymeric material. Explain why this happens.  
(25 marks)
- [c] What is Maxwell Model? Using this model, obtain the equation for strain in a creep experiment.  
(25 marks)
- [d] What is the application of time-temperature superposition and how can this application be achieved? Use the aid of graph in your explanation.  
(25 markah)
6. [a] *Apakah Prinsip Superposisi Boltzmann? Bagi bahan viskoelastik yang mengalami krip, dapatkan persamaan am untuk terikan di mana tegasan ditingkatkan secara bersiri.*  
(25 markah)
- [c] *Pelematan memuncak pada suhu peralihan kaca sesuatu bahan polimer. Jelaskan kenapa ini berlaku.*  
(25 markah)
- [c] *Apakah dia Model Maxwell? Menggunakan model ini, dapatkan persamaan bagi terikan dalam ujian krip.*  
(25 markah)
- [d] *Apakah penggunaan persamaan masa-suhu dan bagaimanakah penggunaan ini boleh dicapai? Gunakan bantuan graf dalam penjelasan anda.*  
(25 markah)

**Lampiran**

Creep curves for polypropylene at 20°C (density 909 kg)

