
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
Academic Session 2005/2006
*Peperiksaan Semester Pertama
Sidang Akademik 2005/2006*

November 2005

EBP 306E/3 - Properties and Testing of Polymers *EBP 306E/3 - Sifat-Sifat dan Pengujian Polimer*

Time : 3 hours
Masa : 3 jam

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

This paper contains SIX questions.

Answer FIVE questions. If the candidate answer more than five questions, only the first five questions in the answer script will be considered.

Answer to any question must start on a new page.

All questions must be answered in English. However, TWO questions can be answered in Bahasa Malaysia.

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi DUA BELAS muka surat beserta SATU muka surat (Lampiran) yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan.

Kertas soalan ini mengandungi ENAM soalan.

Jawab LIMA soalan. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.

Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baru.

Jawab semua soalan dalam Bahasa Inggeris. Walau bagaimanapun, DUA soalan dibenarkan dijawab dalam Bahasa Malaysia.

...2/-

1. [a] From statistical theory, strain energy W , for an elastomeric material is given by:

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

Derive an equation for the stress – strain relationship for:

- (i) Uniaxial stress
- (ii) Simple shear

Explain the relationship between experimental observation and theoretical prediction for both deformation modes.

Explain briefly how the derived equation for uniaxial stress can be expanded to take into account the effect of loose-ends found in elastomeric networks.

(50 marks)

- [b] Tensile test was done on cis-1,4 polyisoprene samples at 27°C. Based on the information given below, determine:

- (i) The number of chains per unit volume
- (ii) The modulus of sample
- (iii) The molecular weight of sample before crosslinking

Given:

Density	= 975 kg m ⁻³
Molecular weight at crosslink point	= 5 kg/mol
Gas constant	= 8.1 J/mol/K
Boltzman constant	= 1.38 x 10 ⁻²³ J/K

State the assumptions made for the calculations.

(50 marks)

...3/-

1. [a] Dari teori statistik, tenaga terikan W , untuk suatu bahan elastomer diberikan sebagai:

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

Terbitkan persamaan bagi perhubungan tegasan-terikan untuk:

- (i) Tegasan unipaksi
- (ii) Ricih mudah

Terangkan hubungkait di antara pemerhatian eksperimen dan ramalan teori bagi kedua-dua mod canggaan tersebut.

Terangkan secara ringkas bagaimanakah persamaan yang diterbitkan untuk tegasan unipaksi di atas dapat dikembangkan untuk mengambilkira kesan hujung-longgar yang terdapat dalam rangkaian elastomer.

(50 markah)

- [b] Ujian tensil telah dijalankan ke atas sampel poli(cis-1,4 isoprena) pada suhu 27°C. Berdasarkan kepada maklumat yang diberikan di bawah, tentukan:

- (i) Bilangan rantai per unit isipadu
- (ii) Modulus tegangan sampel
- (iii) Berat molekul bagi sampel sebelum sambung-silang

Diberi:

Ketumpatan	= 975 kgm ⁻³
Berat molekul pada titik sambung-silang	= 5 kg/mol
Pemalar gas	= 8.1 J/mol/K
Pemalar Boltzman	= 1.38 x 10 ⁻²³ J/K

Nyatakan anggapan yang perlu dibuat bagi pengiraan tersebut.

(50 markah)

...4/-

2. [a] Using a polymer material in the form of an infinite plate with thickness B and a notch of length $2a$ in the middle of the plate, show that the rate of release of critical strain energy can be given by:

$$G_c = P_c^2/2B \cdot dC/da$$

(50 marks)

- [b] "Environmental stress cracking plays an important role in determining the mode of polymer failure". Explain this statement by giving suitable examples and describe a method that can be used to improve material resistance towards such failure.

(30 marks)

- [b] "Brittle-ductile transition temperature is directly related to glass transition temperature". Give your comments on the accuracy of the statement.

(20 marks)

2. [a] *Dengan mempertimbangkan suatu bahan polimer dalam bentuk plat infinit dengan ketebalan B dan mempunyai takuk sepanjang $2a$ di tengah plat, tunjukkan bahawa kadar pembebasan tenaga terikan kritikal dapat diberikan sebagai:*

$$G_c = P_c^2/2B \cdot dC/da$$

(50 markah)

- [b] *"Rekahan tegasan persekitaran memainkan peranan yang penting dalam menentukan mod kegagalan bahan polimer". Jelaskan kenyataan ini dengan memberikan contoh yang sesuai dan terangkan kaedah yang boleh digunakan untuk meningkatkan ketahanan bahan terhadap kegagalan tersebut.*

(30 markah)

- [c] *"Suhu peralihan rapuh-mulur mempunyai kaitan yang langsung dengan suhu peralihan kaca". Berikan komen anda tentang ketepatan ayat tersebut.*

(20 markah)

...5/-

3. [a] According to Flory, the elastic property of an elastomeric network can be given by the following equation:

$$f = \rho RT/M_c (1 - 2M_c/M_n) (\lambda - 1/\lambda^2)$$

- (i) State the meaning for each term found in the equation above.
 (ii) Explain the significance of the equation.

(25 marks)

- [b] The following table shows data obtained from failure tests done on (polyamide 6,6) samples.

Sample No.	a/D	σ_Y (MPa)
1	0.1	70
2	0.2	50
3	0.3	42
4	0.4	40
5	0.5	32

- (i) Using the data given and a suitable plot determine the value of fracture toughness.
 (ii) Determine the value of fracture energy for the sample for failure in planar strain.
 (iii) What step needs to be taken to ensure that sample fails in planar strain?
 (iv) Determine the plastic zone radius under conditions of planar stress and strain. Why is there a difference between the two radii?
 (v) Explain the effect of adding EPDM elastomer on the value of fracture toughness.

...6/-

Given:

Sample thickness	= 10 mm
Ratio of span to thickness	= 4
Shear modulus	= 1.14 GPa
Poisson ratio	= 0.42
Breaking stress	= 80 MPa

$$Y = 1.93 - 3.07(a/D) + 14.53(a/D)^2 - 25.11(a/D)^3 + 25.80(a/D)^4$$

(75 marks)

3. [a] Menurut Flory, sifat kekenyalan suatu rangkaian elastomer dapat diberikan oleh persamaan berikut:

$$f = \rho RT/M_c (1 - 2M_c/M_n) (\lambda - 1/\lambda^2)$$

- (i) Nyatakan takrifan untuk setiap ungkapan yang terdapat dalam persamaan di atas.
- (ii) Terangkan apakah signifikan persamaan tersebut?

(25 markah)

- [b] Jadual berikut menunjukkan data yang diperolehi daripada ujian rekahan yang telah dijalankan ke atas sampel poliamida 6,6.

No. sampel	a/D	σY (MPa)
1	0.1	70
2	0.2	50
3	0.3	42
4	0.4	40
5	0.5	32

- (i) Dengan berpandukan data yang diberikan dan plot yang sesuai tentukan nilai keliatan rekahan.
- (ii) Tentukan nilai tenaga rekahan bagi sampel tersebut bagi kegagalan yang berlaku dalam keadaan terikan satah.
- (iii) Apakah langkah yang perlu diambil untuk memastikan sampel gagal di bawah keadaan terikan satah.
- (iv) Tentukan jejari zon plastik di bawah keadaan tegasan dan terikan satah. Kenapakah wujudnya perbezaan di antara kedua-dua jejari tersebut?
- (v) Terangkan apakah kesan penambahan elastomer EPDM ke atas nilai keliatan rekahan.

Diberikan:

<i>Ketebalan sampel</i>	= 10 mm
<i>Nisbah span kepada ketebalan</i>	= 4
<i>Modulus ricih</i>	= 1.14 GPa
<i>Nisbah Poisson</i>	= 0.42
<i>Tegasan alah</i>	= 80 MPa

$$Y = 1.93 - 3.07(a/D) + 14.53(a/D)^2 - 25.11(a/D)^3 + 25.80(a/D)^4$$

(75 markah)

4. [a] What is creep test?
(10 marks)
- [b] Describe how you can do this test in the laboratory at room temperature. Sketch the graph you would obtain from this test.
(15 marks)
- [c] From the graph obtained through the test, show how you can generate an isochronous graph. Discuss another method to obtain isochronous graph.
(35 marks)
- [d] A polypropylene beam 100 mm long is supported at both ends and a load W is applied to its middle. If the service life of the beam is 1 year and the maximum strain is 2%, use creep curve (Figure 1) to determine the maximum load that can be applied so that beam deflection does not exceed 5 mm.

Given,

$$\delta = WL^3/48EI$$

$$\delta = \text{deflection}$$

$$E = \text{modulus}$$

$$I = 28 \text{ mm}^4$$

$$W = \text{load}$$

$$L = \text{length of beam}$$

(40 marks)

...9/-

4. [a] *Apakah ujikaji krip?* (10 markah)

[b] *Perihalkan bagaimana anda boleh melakukan ujikaji ini dalam makmal pada suhu bilik. Lakarkan graf yang anda perolehi.* (15 markah)

[c] *Daripada graf yang diperolehi melalui ujikaji, 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 1 tahun dan terikan maksimum adalah 2%, gunakan lengkungan krip (Rajah 1) untuk menentukan beban terbesar yang boleh dikenakan supaya pembengkokan rasuk tidak melebihi 5 mm.*

Diberi,

$$\delta = WL^3/48EI$$

$$\delta = \text{pembengkokan}$$

$$E = \text{modulus}$$

$$I = 28 \text{ mm}^4$$

$$W = \text{beban}$$

$$L = \text{panjang rasuk}$$

(40 markah)

...10/-

5. [a] Discuss briefly all the information that can be obtained from a stress-strain graph, for a semi-crystalline polymer which is stretched uniaxially. Sketch the graph.
- (25 marks)
- [b] What is Maxwell model? Using this model, derive the equation for strain in creep test.
- (25 marks)
- [c] With the aid of a graph of $\tan \delta$ versus temperature, show the effect of:
- (i) increase of crosslink
 - (ii) addition of plasticizer
- on the result of dynamic mechanical testing.
- (25 marks)
- [d] Write notes on hardness tests.
- (25 marks)

5. [a] *Bincangkan secara ringkas segala maklumat yang diperolehi daripada suatu graf tegasan-terikan bagi suatu polimer semihablur yang ditarik secara unipaksi. Lukiskan graf tersebut.*
(25 markah)
- [b] *Apakah model Maxwell? Menggunakan model ini, terbitkan persamaan bagi terikan dalam ujikaji krip.*
(25 markah)
- [c] *Dengan bantuan graf $\tan \delta$ melawan suhu, tunjukkan kesan:*
(i) *peningkatan sambung silang*
(ii) *penambahan pemplastik*
ke atas keputusan ujikaji mekanik dinamik.
(25 markah)
- [d] *Tuliskan nota berkenaan ujian kekerasan.*
(25 markah)

6. [a] What is Boltzmann Superposition Principle? For a viscoelastic material undergoing creep, derive the general equation for strain where stress is increased in series.

(25 marks)

- [b] Damping is maximum at the glass transition temperature of a polymeric material. Explain why this happens.

(25 marks)

- [c] Describe three standard methods of testing the impact strength of a polymeric material.

(50 marks)

6. [a] *Apakah Prinsip Superposisi Boltzmann? Bagi bahan likat-kenyal yang mengalami krip, terbitkan persamaan am untuk terikan di mana tegasan ditingkatkan secara bersiri.*

(25 markah)

- [b] *Pelematian maksimum pada suhu peralihan kaca sesuatu bahan polimer. Jelaskan kenapa ini berlaku.*

(25 markah)

- [c] *Perihalkan tiga cara piawai menguji kekuatan hentaman sesuatu bahan polimer.*

(50 markah)

LAMPIRAN

Rajah 1

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

