
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
Academic Session 2010/2011

November 2010

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 TWELVE printed pages before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi DUA BELAS 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 **ALL** 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 **SEMUA** 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.]

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai.]

...2/-

PART A / BAHAGIAN A

1. In your opinion which model is the best to describe the response of a viscoelastic material in a stress relaxation test, Maxwell or Voight-Kelvin model. Compare these 2 models and provide justifications for your choice of model.

Pada pendapat anda model manakah yang terbaik bagi menerangkan kelakuan suatu bahan viskoelastik semasa ujian pengenduran tegasan, model Maxwell atau model Voight-Kelvin. Bandingkan kedua-dua model ini dan beri justifikasi bagi model pilihan anda.

(100 marks/markah)

2. A rubber cube with shear modulus of 1.0 MPa is deformed by forces along the x and y axes.

Kiub getah dengan modulus ricih 1.0 MPa berubah disebabkan oleh daya sepanjang paksi x dan y.

- [a] Calculate the nominal stresses σ_x and σ_y required to deform it to $\lambda_x = 3/2$, $\lambda_y = 2/3$ with assumption of a Gaussian network.

Kirakan "nominal stresses" σ_x dan σ_y yang diperlukan untuk mengcangga kepada $\lambda_x = 3/2$, $\lambda_y = 2/3$ dengan anggapan jaringan Gaussian.

(60 marks/markah)

- [b] Calculate the nominal stresses σ_x and σ_y required to deform it to $\lambda_x = 3/2$, $\lambda_y = 2/3$ for a rubber obeying the Mooney equation with $C_1 = 0.20$ MPa and $C_2 = 0.10$ MPa.

Kirakan "nominal stresses" σ_x dan σ_y yang diperlukan untuk mengcangga kepada $\lambda_x = 3/2$, $\lambda_y = 2/3$ untuk getah yang mematuhi persamaan Mooney dengan $C_1 = 0.20$ MPa dan $C_2 = 0.10$ MPa.

(40 marks/markah)

3. Samples of poly(methylmethacrylate) (PMMA) in the form of rectangular bars were subjected to three point bending tests at 27°C. Assuming that PMMA has a fracture energy of 1.5 kJ m⁻² under plane stress condition, calculate:
- the fracture energy and fracture toughness under plane strain conditions.
 - the force needed to fracture the bar when the sample has a central edge crack of length of 5 mm.
 - the minimum crack length to initiate brittle fracture before yield.

Sampel poli(metilmetakrilat) (PMMA) berbentuk segi empat tepat telah dikenakan ujian pembengkokan 3-titik pada 27°C. Sekiranya PMMA mempunyai tenaga rekahan setinggi 1.5 kJ m⁻² di bawah keadaan tegasan satah, tentukan:

- tenaga rekahan dan ketahanan rekahan di bawah keadaan terikan satah.*
- daya yang diperlukan untuk mematahkan sampel yang mempunyai retak di tengah yang berukuran 5 mm.*
- nilai minimum panjang retak untuk memulakan rekahan rapuh sebelum berlakunya alah.*

What are the measures needed to increase the toughness of PMMA upon subjected to impact force at high speed? State the possible toughening mechanisms involved.

Apakah langkah yang boleh di ambil untuk meningkatkan ketahanan PMMA apabila dikenakan daya hentaman pada kelajuan yang tinggi? Nyatakan mekanisme penglihatan yang mungkin berlaku.

Given / Diberi:

Thickness of sample / Ketebalan sampel	= 5mm
Width of sample / Kelebaran sampel	= 10mm
Span to width ratio / Nisbah span ke lebar	= 8
Shear modulus at 27°C / Modulus ricih pada 27°C	= 1.14 G Nm ⁻²
Compression yield stress / Tegasan alah mampatan	= 72 MNm ⁻²
Poisson's ratio / Nisbah Poisson	= 0.4
Materials's constant / Pemalar bahan	= 0.05

Specimen geometrical correction factor is given by:

Faktor pembetulan geometri spesimen diberikan oleh:

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

(100 marks/markah)

PART B / BAHAGIAN B

4. [a] A rubber consists of a cross-linked network of chains each of relative molecular mass (RMM) = 2×10^4 with the density of the specimen is 900 kgm^{-3} at 0°C . Calculate the shear modulus.

Given:

$$\text{Avogadro Number} = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$\text{Boltzmann's constant (k)} = 1.38 \times 10^{-23}$$

Getah mengandungi jaringan sambung silang rantaian untuk setiap jisim molekul relatif (RMM) = 2×10^4 dengan ketumpatan spesimen ialah 900 kgm^{-3} pada 0°C . Kirakan kekuatan ricihan.

Diberikan:

$$\text{Nombor Avogadro} = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$\text{Pemalar Boltzmann (k)} = 1.38 \times 10^{-23}$$

(40 marks/markah)

- [b] Based on your understanding, give your critical comments on the network defects and explain its influence on the mechanical properties of rubber.

Berdasarkan pemahaman anda, berikan komen kritikal terhadap kecacatan rantaian dan terangkan pengaruhnya ke atas sifat-sifat mekanikal getah.

(30 marks/markah)

- [c] Write a short notes on thermoelastic phenomena.

Tuliskan nota ringkas tentang fenomena kekenyalan terma.

(30 marks/markah)

5. [a] The creep behavior of polyethylene is given by the creep compliance data in the Table 1 below:

Sifat krip bagi polietilena diberikan sebagai data krip komplians seperti di dalam Jadual 1 di bawah.

Table 1: Creep compliance of Polyethylene

Jadual 1: Krip komplians bagi polietilena

t (hours)	J(t) (psi⁻¹)
0	0.600 x10 ⁻⁴
100	0.700 x10 ⁻⁴
200	0.720 x10 ⁻⁴
300	0.730 x10 ⁻⁴
400	0.740 x10 ⁻⁴
500	0.750 x10 ⁻⁴
600	0.760 x10 ⁻⁴
700	0.765 x10 ⁻⁴
800	0.770 x10 ⁻⁴

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

Suatu sampel polietilena yang sama dikenakan sejarah tegasan seperti Jadual 2 di bawah.

Table 2: Stress History for the Polyethylene Specimen

Jadual 2: Sejarah tegasan bagi sampel polietilena

Stress / tegasan (psi)	Duration / tempoh (hours/jam)
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 yang dialami oleh sampel pada masa, $t = 0, 300, 500$ dan 800 jam.

(40 marks/markah)

- [b] A master curve for polyisobutylene indicates that stress relaxes to a modulus of 10 dyn/cm^2 in about 10 h at 25°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°C .

Lengkungan induk bagi poliisobutilena menunjukkan tegasan mengendur ke suatu modulus 10 dyn / cm^2 dalam tempoh 10 jam pada 25°C . Dengan menggunakan persamaan WLF:

- (i) Tentukan suhu peralihan kaca bagi poliisobutilena. Pada T_g , modulus tersebut diperhatikan pada 2.0×10^{12} jam.
- (ii) Anggarkan masa yang diperlukan bagi memerhatikan modulus tersebut pada suhu -20°C .

(30 marks/markah)

[c] Stress relaxation modulus, $M(t)$, of a polymer at 30°C is expressed as

$$M(t) = 2 t^{-0.05}$$

where $M(t)$ is in GPa and t is in seconds. If the glass transition temperature of the polymer is 30°C , use the WLF equation and find the 1 year relaxation modulus of the polymer at 60°C .

$$\text{WLF equation: } \text{Log } a_t = \frac{-17.4 (T - T_g)}{51.6 + (T - T_g)}$$

Modulus pengenduran, $M(t)$, bagi suatu polimer pada 30°C boleh diungkapkan sebagai

$$M(t) = 2 t^{-0.05}$$

di mana $M(t)$ dalam unit GPa dan t dalam saat. Jika suhu peralihan kaca bagi polimer adalah 30°C , guna persamaan WLF dan tentukan modulus pengenduran bagi polimer tersebut pada suhu 60°C ketika 1 tahun.

$$\text{Persamaan WLF: } \text{Log } a_t = \frac{-17.4 (T - T_g)}{51.6 + (T - T_g)}$$

(30 marks/markah)

6. [a] Eyring equation is given by:

Persamaan Eyring diberikan oleh:

$$\left(\frac{\sigma_y}{T}\right) = \left(\frac{2}{V^*}\right) \left[\left(\frac{\Delta H}{T}\right) + 2.303R \log\left(\frac{\epsilon_y}{\epsilon_0}\right) \right]$$

State all the terms in the above equation.

Nyatakan setiap ungkapan yang terdapat dalam persamaan di atas.

(20 marks/markah)

- [b] Table 3 shows the effects of temperature and strain rate on the yielding behavior of acrylobutadiene styrene (ABS).

Jadual 3 menunjukkan kesan suhu dan kadar cepat terikan ke atas kelakuan alah bagi akrilobutadiena stirena (ABS).

Temperature / Suhu (°C)	Strain rate / Kadar cepat terikan (s ⁻¹)	Yield stress / Tegasan alah (MNm ⁻²)
20	10 ⁻⁴	44.0
20	10 ⁻²	53.2
-60	10 ⁻²	75.7
-60	10 ⁻⁴	69.0

Calculate:

- (i) the activation enthalpy
- (ii) the activation volume
- (iii) the yield stress if the test is done at 0 °C using a strain rate of 10^{-1} s^{-1} .

Tentukan:

- (i) *entalpi pengaktifan*
- (ii) *isipadu pengaktifan*
- (iii) *tegasan alah sekiranya ujian di jalankan pada 0°C menggunakan kadar cepat terikan 10^{-1} s^{-1} .*

(60 marks/markah)

- [c] Describe other factors which will determine the yielding behaviour of polymeric materials.

Terangkan faktor lain yang mempengaruhi kelakuan alah bagi bahan polimer.

(20 marks/markah)

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

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

Derive stress-strain equations for uniaxial tension and simple shear. Discuss the relationships between theoretical predictions and the experimental data for both modes of deformation.

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 tegasan unipaksi dan ricih mudah. Terangkan hubungkait di antara pemerhatian eksperimen dan teori bagi kedua-dua mod canggaan tersebut.

(40 marks/markah)

- [b] A ring-shaped seal, made from a viscoelastic material, is used to seal a joint between two rigid pipes. When incorporated in the joint the seal is held at a fixed compressive strain of 0.2. Assuming that the seal can be treated as a Maxwell model, determine the time when the seal begins to leak under an internal fluid pressure of 0.3 MN m^{-2} . It can be assumed that the relaxation time λ of the material is 300 days and the short-term (instantaneous) modulus of the material is 3 MN m^{-2} .

Suatu kedap berbentuk gelang yang diperbuat dari bahan viskoelastik, digunakan sebagai kedap bagi cantuman dua paip tegar. Apabila digunakan pada bahagian cantuman paip tersebut, kedap mengalami terikan mampatan 0.2. Dengan menganggapkan kedap mematuhi model Maxwell, tentukan masa di mana kedap mengalami kebocoran akibat tekanan dalaman bendalir, 0.3 MN m^{-2} . Boleh dianggapkan masa pengenduran, λ , bahan tersebut ialah 300 hari dan modulus bahan sebagai 3 MN m^{-2} .

(30 marks/markah)

- [c] Write short notes on TWO of the following topics:
- (i) Brittle-ductile transitions.
 - (ii) Fatigue behaviour of polymers.
 - (iii) Crazing behaviour of glassy polymers.

Tulis nota ringkas tentang DUA daripada topik berikut:

- (i) *Peralihan rapuh mulur.*
- (ii) *Kelakuan lesu polimer.*
- (iii) *Kelakuan retak halus polimer berkaca.*

(30 marks/markah)