

---

# UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
2012/2013 Academic Session

June 2013

## EBB 220/3 – Engineering Polymers *[Polimer Kejuruteraan]*

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

---

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

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

This paper consists of SEVEN questions. TWO questions in PART A, THREE questions in PART B and TWO questions in PART C.

*[Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan. DUA soalan di BAHAGIAN A, TIGA soalan di BAHAGIAN B dan DUA soalan di BAHAGIAN C.]*

**Instruction:** Answer FIVE questions. Answer ALL questions from PART A, ONE question from PART B, ONE question from PART C and ONE question from any parts. If a candidate answers more than five questions only the first five questions answered in the answer script would be examined.

**Arahan:** Jawab LIMA soalan. Jawab SEMUA soalan dari BAHAGIAN A, SATU soalan dari BAHAGIAN B, SATU soalan dari BAHAGIAN C dan SATU soalan dari mana-mana bahagian. 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 digunapakai.]*

**PART A / BAHAGIAN A**

1. [a] For each of the following polymer pairs (a-c) listed in Table 1, comment on each of them based on the ability to crystallize and outline your reasons.

*Untuk setiap pasangan polimer (a-c) yang disenaraikan di dalam Jadual 1, komen untuk setiap satu berdasarkan kepada kebolehabluran dan nyatakan alasan-alasan anda.*

**Table 1****Jadual 1**

<b>Group</b> <i>Kumpulan</i>	<b>Polymer pair</b> <i>Pasangan polimer</i>
a	Isotactic Polypropylene (iPP) and atactic Polyvinyl Chloride (PVC) <i>Polipropilena isotaktik (iPP) dan Polivinil Klorida Ataktik (PVC)</i>
b	Syndiotactic Polypropylene (PP) and Crosslinked Cis-Isoprene <i>Polipropilena sindiotaktik (PP) dan Cis-Isoprena tersambung silang</i>
c	Isotactic Polystyrene and network phenol-formaldehyde <i>Polistirena Isotaktik (iPS) dan Fenol-formaldehida jaringan</i>

(30 marks/markah)

- [b] Chain entanglement, summation of intermolecular forces and time scale motion in polymer make polymer unique in comparison with other materials. Discuss how these factors influence the properties of polymers.

*Penggumpalan ikatan, jumlah daya ikatan antara molekul dan skala pergerakan di dalam polimer menjadikan polimer unik berbanding bahan lain. Bincangkan bagaimana faktor-faktor tersebut mempengaruhi sifat-sifat polimer.*

(40 marks/markah)

- [c] Addition and condensation polymerizations are two main groups of polymerization technique in synthesizing polymers. Differentiate each type of the polymerization techniques using suitable examples. Consequently, describe the main differences between the two.

*Pempolimeran penambahan dan pempolimeran kondensasi adalah dua jenis pempolimeran yang utama di dalam penghasilan polimer. Bezakan antara kedua-dua pempolimeran ini dengan contoh-contoh yang bersesuaian. Seterusnya, perihalkan perbezaan-perbezaan di antara kedua-dua pempolimeran ini.*

(30 marks/markah)

2. [a] Briefly explain two (2) function of additives in polymeric materials.

*Terangkan secara ringkas dua (2) fungsi penambah dalam bahan polimer.*

(20 marks/markah)

- [b] How does rheological behaviour influences the mechanical properties of finished products?

*Bagaimanakah kelakuan reologi mempengaruhi sifat-sifat mekanik bagi sesuatu produk siap?*

(30 marks/markah)

- [c] One manufacturing company specialized in producing rear indicator lights for cars that consist of three different colours, i.e. red, yellow and clear (colourless)
- (i) Recommend the type of polymer that can be used. Give your reason.
  - (ii) Recommend what type of machine can be employed for the processing. Give your reason.
  - (iii) Sketch the schematic diagram of the machine in (ii) and label at least five of its main components.
  - (iv) Give the main function(s) of the components in (iii).
  - (v) Briefly describe, one cycle of operation in processing using this machine.

*Satu syarikat pembuatan menghasilkan lampu penunjuk belakang untuk kereta yang terdiri daripada tiga warna berbeza iaitu merah, kuning dan tidak berwarna*

- (i) Cadangkan jenis polimer yang boleh digunakan. Berikan alasan anda.*
- (ii) Cadangkan apakah jenis mesin yang boleh digunakan untuk pemprosesan ini. Berikan alasan anda.*
- (iii) Lakarkan rajah skematik mesin dalam (ii) dan label sekurang-kurangnya lima komponen utamanya*
- (iv) Berikan fungsi utama komponen dalam (iii).*
- (v) Terangkan secara ringkas, satu kitaran operasi dalam pemprosesan menggunakan mesin ini.*

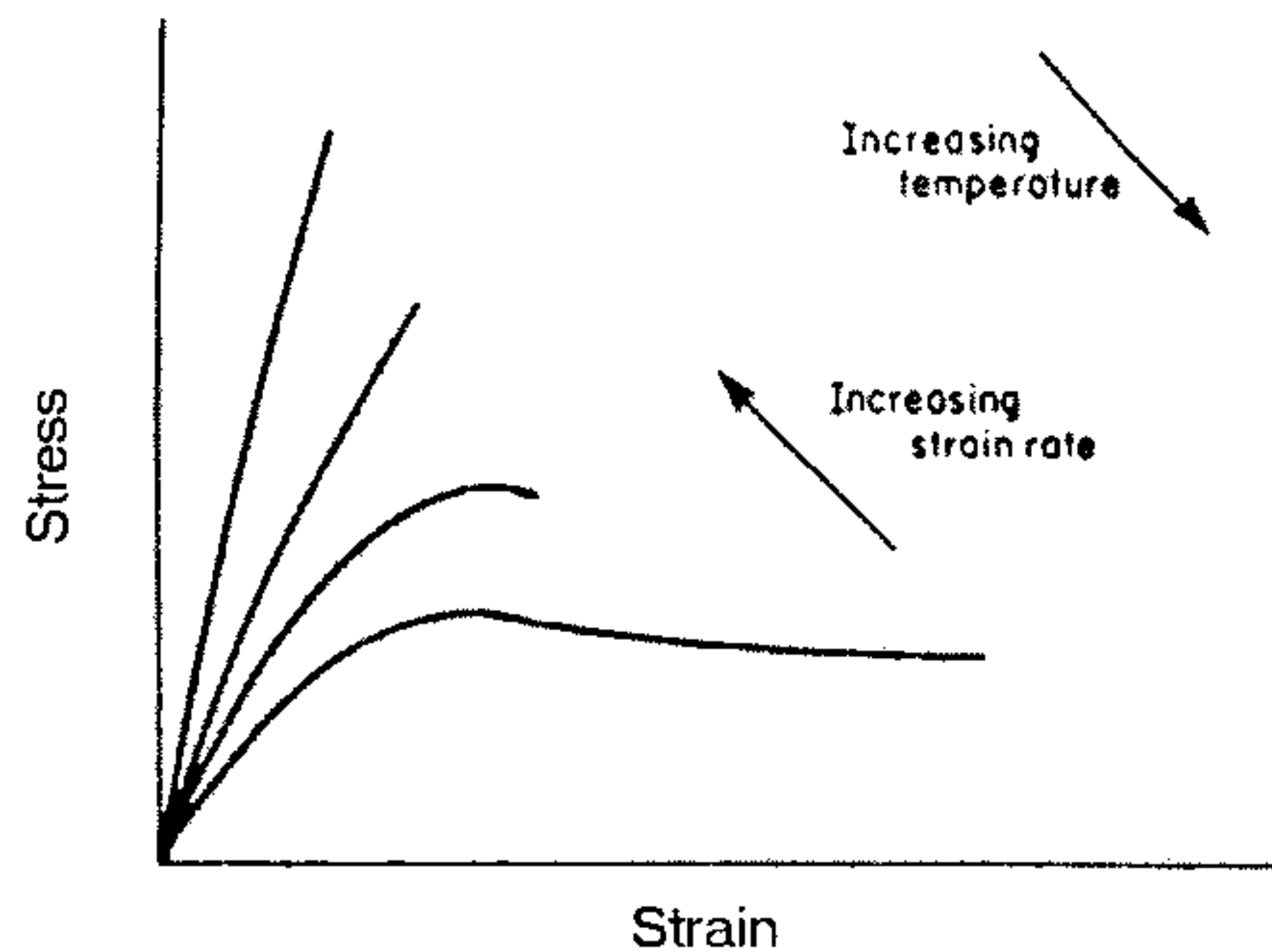
(50 marks/markah)

**PART B / BAHAGIAN B**

3. [a] Figure 1 shows the effect of temperature and strain rate on the stress-strain response of polymers. Explain the effects of temperature and strain rate on the tensile properties (i.e. tensile strength, tensile modulus and elongation at break) of polymers and provide the reasons for these effects.

*Rajah 1 menunjukkan kesan perubahan suhu dan kadar terikan terhadap kelakuan tegasan-terikan bagi polimer. Bincangkan bagaimana kesan-kesan suhu dan kadar terikan terhadap sifat tegangan (contohnya kekuatan tegangan, modulus tegangan and terikan putus) sesuatu polimer dan berikan alasan-alasan terhadap perubahan-perubahan ini.*

(30 marks/markah)



**Figure 1 - Effect of strain rate and temperature on the tensile stress-strain response of polymers**

*Rajah 1 - Kesan kadar terikan dan suhu ke atas tegasan-terikan tegangan polimer*

- [b] Explain why molecular weight of polymers is important? Describe three types of molecular weights and comment the differences between each of them. Using information given in Table 2, calculate the Number average molecular weight ( $M_n$ ) and weight average molecular weight ( $M_w$ ).

*Terangkan mengapa berat molekul polimer adalah penting? Terangkan tiga jenis berat molekul polimer dan komen perbezaan untuk setiap jenis berat polimer tersebut. Menggunakan maklumat di dalam jadual 2, kirakan berat molekul purata nombor dan berat molekul purata berat.*

(40 marks/markah)

**Table 2 - Number of molecules, its mass and weight fraction of polymer molecules.**

**Jadual 2 - Bilangan molekul, berat dan pecahan berat molekul polimer**

Number of Molecules ( $N_i$ )	Mass of Each Molecule ( $M_i$ )	Weight Fraction Type of Molecule ( $W_i$ )
1	800,000	0.016
3	750,000	0.045
5	700,000	0.070
8	650,000	0.104
10	600,000	0.120
13	550,000	0.143
20	500,000	0.200
13	450,000	0.117
10	400,000	0.080
8	350,000	0.056
5	300,000	0.030
3	250,000	0.015
1	200,000	0.004

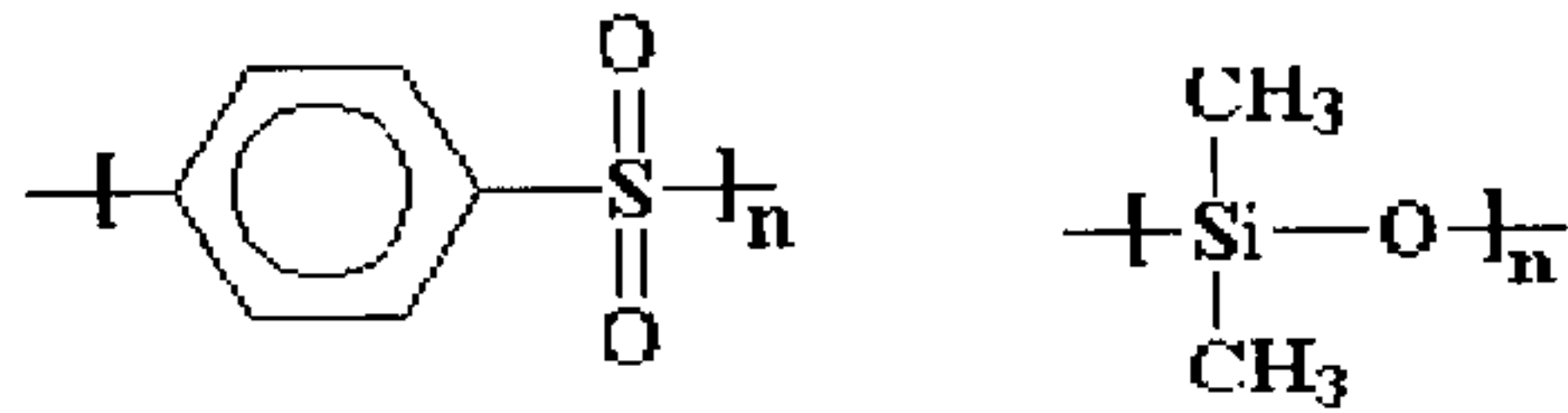
- [c] Crystallinity in polymers is affected by many factors such as polymer structure and intermolecular forces. Illustrate with a suitable example and discuss how the structure and intermolecular forces affect crystallinity in polymers.

*Kehabluran polimer dipengaruhi oleh pelbagai faktor antaranya struktur polimer dan daya tarikan antara molekul. Dengan menggunakan contoh yang sesuai bincangkan bagaimana struktur dan daya antara molekul mempengaruhi kehabluran sesuatu polimer.*

(30 marks/markah)

4. [a] You are given two polymers namely Polydimethylsiloxane (PDMS) and polyphenylene sulfone (PPS) with their molecular structures shown in Figure 2. (i) Comment and compare the glass transition temperature ( $T_g$ ) of both polymers that may result from their corresponding molecular structure. (ii) Which polymer do you think will have higher  $T_g$  value and give reasons for your choice. (iii) One of the polymer will have a processing issue as a result of their chain stiffness, propose the solution to ease the processability of the polymer of your choice.

*Anda diberikan dua jenis polimer iaitu Polidimetilsiloxana (PDMS) dan poliphenilinasulfona (PPS) dengan struktur molekul seperti Rajah 2. (i) Komen dan bandingkan suhu peralihan kaca ( $T_g$ ) untuk kedua-dua polimer berdasarkan kepada struktur molekul masing-masing. (ii) Polimer manakah dijangka mempunyai  $T_g$  yang lebih tinggi dan sertakan alasan-alasan untuk pilihan anda. (iii) Salah satu polimer tersebut akan menghadapi masalah pemprosesan kerana struktur molekulnya yang kaku, cadangkan penyelesaian bagi memudahkan pemprosesan polimer yang dicadangkan.*



poly(phenylene sulfone) polydimethylsiloxane

**Figure 2 - Chemical structure of PPS and PDMS**

*Rajah 2 - Struktur kimia PPS dan PDMS*

(40 marks/markah)

- [b] Explain how plasticizer could modify the properties of polyvinyl chloride (PVC) by comparing the properties of unplasticized PVC with plasticized PVC.

*Terangkan bagaimana bahan pemplastik dapat mengubah sifat-sifat polivinil klorida (PVC) dengan menbandingkan sifat-sifat tersebut terhadap PVC tanpa bahan pemplastik.*

(20 marks/markah)

- [c] Crystallization of polymers from solidification of polymer melt involved several stages starting from nucleation, formation of spherulite and then lamellar structure. Explain these processes using suitable example and schematic diagram. How does the heat treatment influence the size of spherulite and hence the degree of crystallinity in polymer.

*Penghabluran polimer dari pemejalan leburan melibatkan beberapa tahap bermula dengan pengnukleusan, pembentukan spherulit dan pembentukan struktur lamelar. Terangkan proses-proses ini menggunakan contoh yang sesuai. Bagaimana rawatan haba memberi kesan terhadap saiz spherulite dan darjah penghabluran di dalam sesuatu polimer.*

(40 marks/markah)



5. [a] Polypropylene (PP), Polyvinyl Chloride (PVC) and Polyacrylonitrile (PAN) has a glass transition temperature ( $T_g$ ) of  $-15^\circ\text{C}$ ,  $90^\circ\text{C}$  and  $120^\circ\text{C}$  respectively. Explain why the  $T_g$  of each of the polymers above is different even though their backbone chain is identical. Use the information provided in Table 3 to discuss your answer.

*Polipropilena (PP), polivinil klorida (PVC) dan poliakrilonitril (PAN) masing-masing mempunyai suhu peralihan kaca ( $T_g$ ),  $-15^\circ\text{C}$ ,  $90^\circ\text{C}$  dan  $120^\circ\text{C}$ . Terangkan mengapa suhu peralihan kaca bagi setiap polimer tersebut berbeza walaupun mempunyai rantaian utama yang sama. Gunapakai maklumat yang diberikan di dalam Jadual 3 untuk menerangkan jawapan anda.*

**Table 3 - Chemical structures of PP, PVC and PAN**

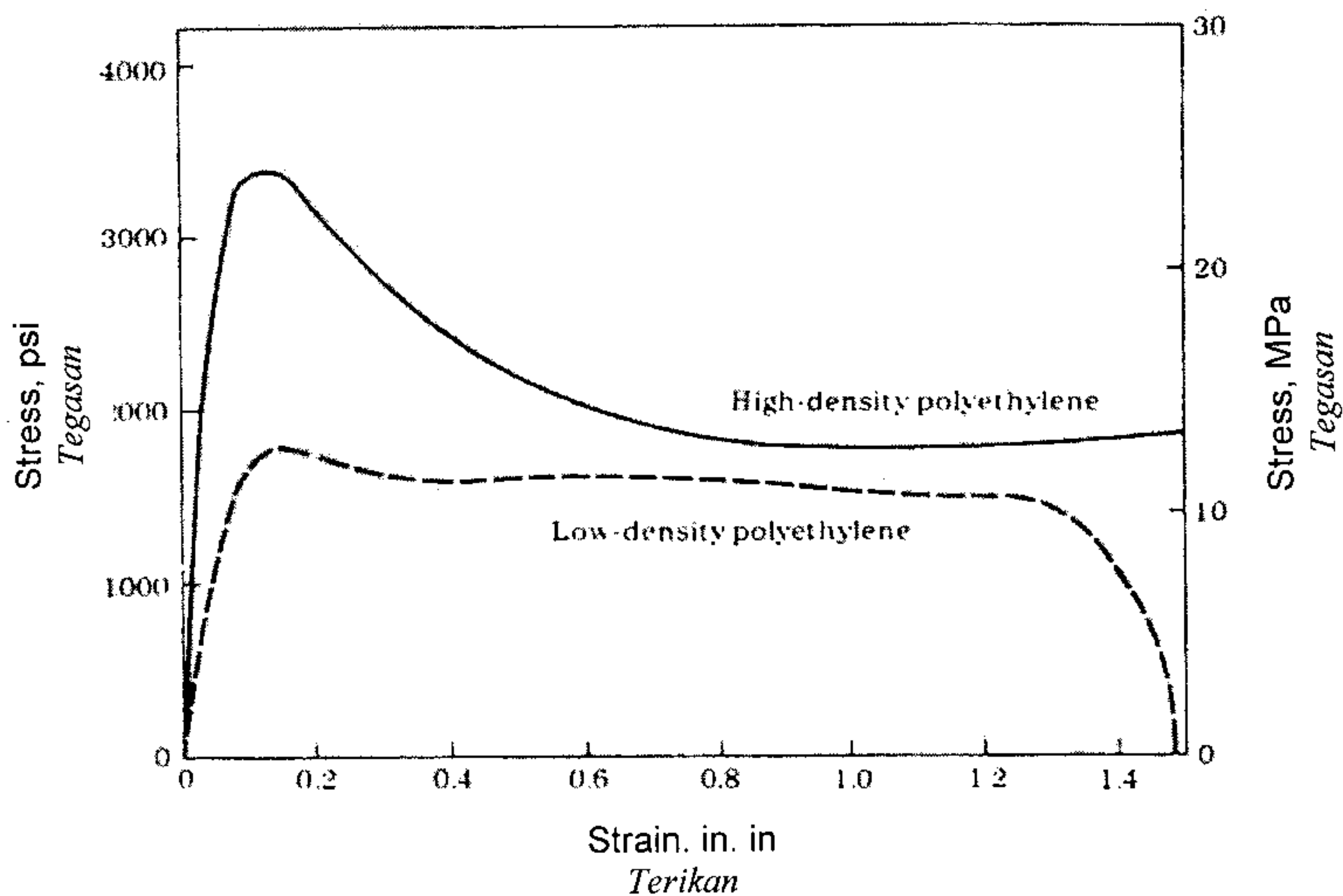
**Jadual 3 - Struktur kimia bagi PP, PVC dan PAN**

$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$	PP, polypropylene, $T_g = -15^\circ\text{C}$
$-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$	PVC, polyvinylchloride, $T_g = 90^\circ\text{C}$
$-\text{CH}_2-\underset{\text{CN}}{\text{CH}}-$	PAN, polyacrylonitrile, $T_g = 120^\circ\text{C}$

(30 marks/markah)

- [b] Figure 3 shows the effect of degree of crystallinity on the stress-strain curve of high density polyethylene (HDPE) and low density polyethylene (LDPE) under tensile loading. Suggest how the degree of crystallinity affect the characteristics of the stress-strain curve and hence influence the tensile properties of both polymers.

*Rajah 3 menunjukkan kesan darjah penghabluran ke atas graf tegasan-terikan tegangan bagi polimer polietilena berketumpatan tinggi (HDPE) dan polietilena berketumpatan rendah (LDPE). Cadangkan bagaimana darjah kehabluran memberi kesan kepada kelakuan keluk tegasan-terikan dan sifat-sifat tegangan kedua-dua polimer.*



**Figure 3 - Effect of the degree of crystallinity on the stress-strain curve of high density polyethylene (HDPE) and low density polyethylene (LDPE)**

*Rajah 3 - Kesan darjah penghabluran ke atas graf tegasan-terikan tegangan bagi polimer polietilena berketumpatan tinggi (HDPE) dan polietilena berketumpatan rendah (LDPE)*

(30 marks/markah)

- [c] Deformation in semi crystalline polymers can be classified into several stages involving the deformation of amorphous and crystalline regions followed by necking formation and strain hardening processes. Propose the mechanism of each stage of deformation above during the tensile loading of typical semi-crystalline polymer. Consequently, sketch a typical tensile stress-strain curve for semi crystalline polymer under tensile loading.

*Ubah bentuk di dalam polimer separa hablur boleh diklasifikasikan kepada beberapa peringkat yang melibatkan ubah bentuk struktur amorfus dan hablur diikuti dengan proses-proses pembentukan leher dan pengerasan terikan. Cadangkan mekanisma untuk setiap peringkat ubah bentuk semasa pembebanan tegangan untuk polimer separa hablur tipikal. Seterusnya, lakarkan graf tegasan-terikan tipikal bagi polimer separa hablur di bawah bebanan tegangan.*

(40 marks/markah)

**PART C / BAHAGIAN C**

6. [a] What is meant by vulcanization of rubber? Give the differences between raw and vulcanized rubber?

*Apakah yang dimaksudkan dengan pemvulkanan getah? Berikan perbezaan antara getah mentah dan getah tervulkan?*

(20 marks/markah)

- [b] Analog models are often used to describe viscoelastic behavior of polymers. The simplest classical Maxwell model consists of a spring of stiffness  $E$ , in series with a dashpot with viscosity  $\eta$ . Show that the differential equation governing the stress-strain behavior of this analog model is

$$d\varepsilon/dt = (1/E)d\sigma/dt + (1/\eta)\sigma$$

*Model analog sering digunakan untuk menerangkan tingkah laku viskoelastik polimer. Model klasik Maxwell terdiri daripada spring kekakuan  $E$ , dalam siri dengan daspot dengan kelikatan  $\eta$ . Tunjukkan bahawa persamaan kebezaan mempengaruhi kelakuan tegasan-terikan model analog ini adalah*

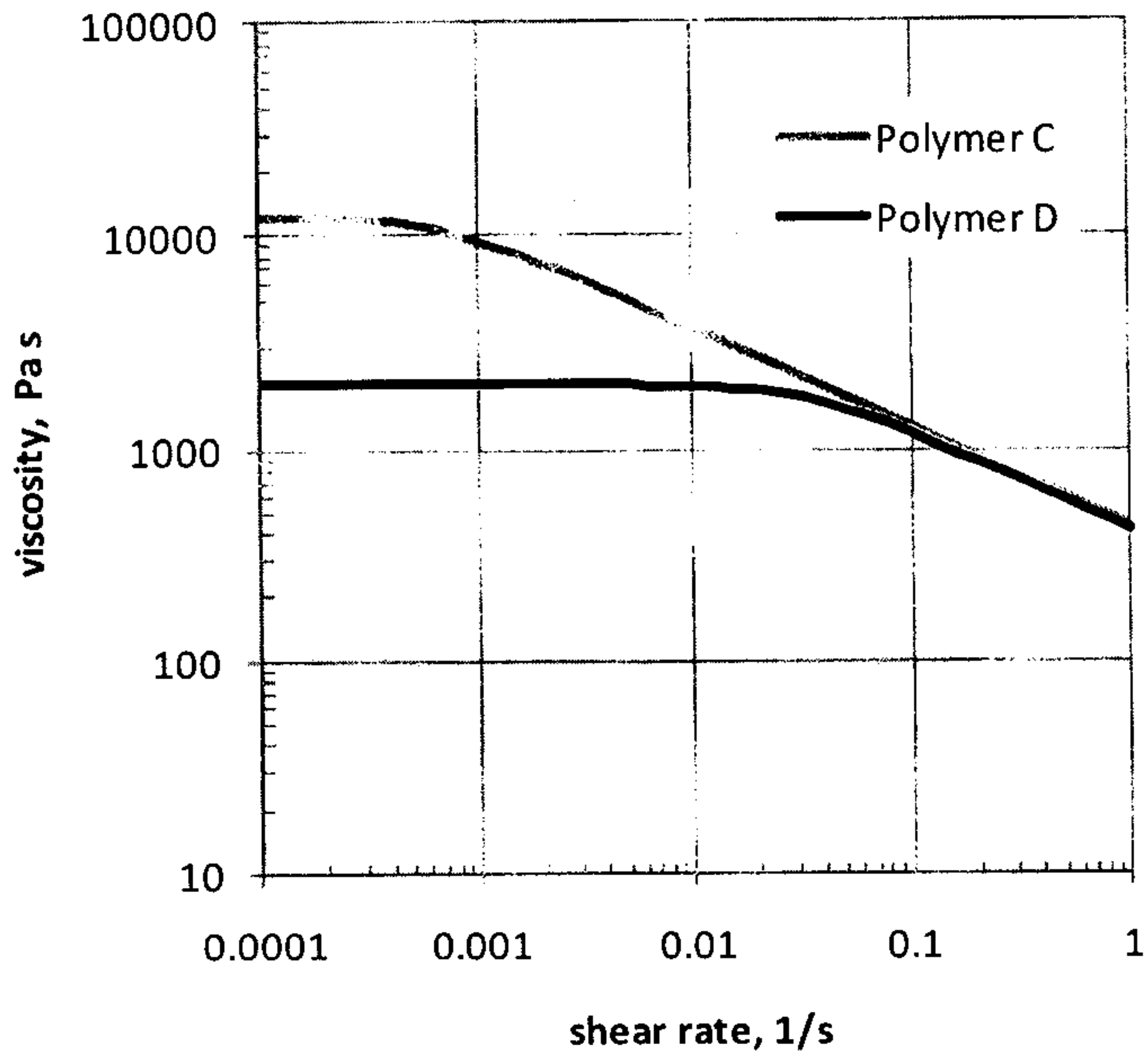
$$d\varepsilon/dt = (1/E)d\sigma/dt + (1/\eta)\sigma$$

(35 marks/markah)

- [c] Viscosity vs shear rate plots for polymers C and D are shown in Figure 4. If both are chemically the same type of polymer, explain why polymers C and D show different viscosity trend with shear rate.

*Kelikatan vs kadar plot ricih bagi polimer C dan D yang ditunjukkan dalam Rajah 4. Jika kedua-dua polimer ini terdiri daripada polimer yang secara kimianya sama, terangkan mengapa polimer C dan D menunjukkan pola kelikatan berbeza dengan kadar ricih.*

(45 marks/markah)



**Figure 4 - Viscosity vs shear rate for polymers C and D**

**Rajah 4 - Kelikatan melawan kadar ricih bagi polimer C dan D**

7. [a] By referring to suitable examples, describe the influence of structure on the properties of polymer.

*Dengan merujuk kepada contoh-contoh yang bersesuaian, huraikan pengaruh struktur terhadap sifat-sifat polimer.*

(20 marks/markah)

- [b] Explain the importance and implication of viscoelasticity behaviors in designing engineering product from polymeric materials.

*Terangkan kepentingan dan implikasi kelakuan likat kenyal dalam pembentukan produk kejuruteraan daripada bahan polimer.*

(30 marks/markah)

- [c] Suppose we have a piece of rubber (e.g., polyisobutylene)  $2 \times 5 \times 25$  (mm) and a piece of plastic (e.g., polystyrene) of the same dimensions. Both materials were subjected to a tensile force of 150 N and the deformation (mm) with time is given in Table 3.

*Katakan kita mempunyai sekeping getah (contohnya, poliisobutilena)  $2 \times 5 \times 25$  (mm) dan sekeping plastik (contohnya, polistirena) dengan dimensi yang sama. Kedua-dua bahan-bahan ini telah dikenakan daya tegangan sebanyak 150 N dan ubah bentuk (mm) dengan masa diberikan dalam Jadual.*

**Table 3 - Deformation of rubber and plastic with time**

*Jadual 3 - Ubah bentuk getah dan plastik dengan masa*

Time (s) <i>Masa (s)</i>	0	10	50	100	200	300
Deformation of rubber (mm) <i>Ubah bentuk getah (mm)</i>	70	95	121	138	156	170
Deformation of plastic (mm) <i>Ubah bentuk plastik (mm)</i>	50	75	100	114	130	140

- (i) Explain why different deformation of these two materials are observed with time. Try to relate between structure of these two polymers and the property (deformation) in your answer.
- (ii) Predict the deformation of rubber and plastic if we carry out the test at liquid nitrogen temperature, justify your answer.
  
- (i) *Terangkan mengapa ubah bentuk kedua-dua bahan ini berbeza dengan masa. Cuba kaitkan di antara struktur kedua-dua polimer ini dengan sifat (ubah bentuk) dalam jawapan anda.*
- (ii) *Ramalkan ubah bentuk getah dan plastik jika kita jalankan pengujian pada suhu nitrogen cecair, beri justifikasi terhadap jawapan anda.*

(50 marks/markah)