

**PART A / BAHAGIAN A**

- (1). (a). Define polymer rheology and explain the importance of polymer rheology in the success of polymer product fabrication.

*Takrifkan reologi polimer dan terangkan kepentingan reologi dalam kejayaan fabrikasi produk polimer.*

(5 marks/markah)

- (b). With the aid of a suitable diagram, derive a rheological equation for a laminar flow of the Newtonian fluid at steady state and sketch a graph to illustrate the effect of increasing shear rate towards viscosity and shear stress.

*Dengan bantuan gambarajah yang sesuai, terbitkan persamaan reologi untuk aliran bendalir laminar Newtonian pada keadaan mantap dan lakarkan graf untuk menunjukkan peningkatan kesan kadar ricih kepada kelikatan dan tegasan ricih.*

(10 marks/markah)

...3/-

- (c). Sketch apparent viscosity ( $\eta$ ) and shear stress ( $\tau$ ) versus shear rate ( $\dot{\gamma}$ ) for all types of time-independent fluid behaviours and discuss structural molecular changes of the fluids at rest and increasing shear rate.

*Lakarkan kelikatan semasa ( $\eta$ ) dan tegasan ricih ( $\tau$ ) melawan kadar ricih ( $\dot{\gamma}$ ) untuk semua jenis kelakuan bendalir tak bersandarkan masa dan bincangkan perubahan struktur molekul pada keadaan rehat dan peningkatan tegasan ricih.*

(10 marks/markah)

- (2). (a). A few forms of defects occur during extrusion due to viscoelastic properties of polymer melt such as die swell.

*Beberapa bentuk kecacatan yang berlaku semasa proses pengekstrudan disebabkan sifat likatkenyal leburan polimer seperti pembengkakan dai.*

- (i). Describe what is die swell and schematically explain the cause of die swell to occur at molecular level.

*Perihalkan pembengkakan dai dan jelaskan secara skematik punca bagi pembengkakan dai pada peringkat molekul.*

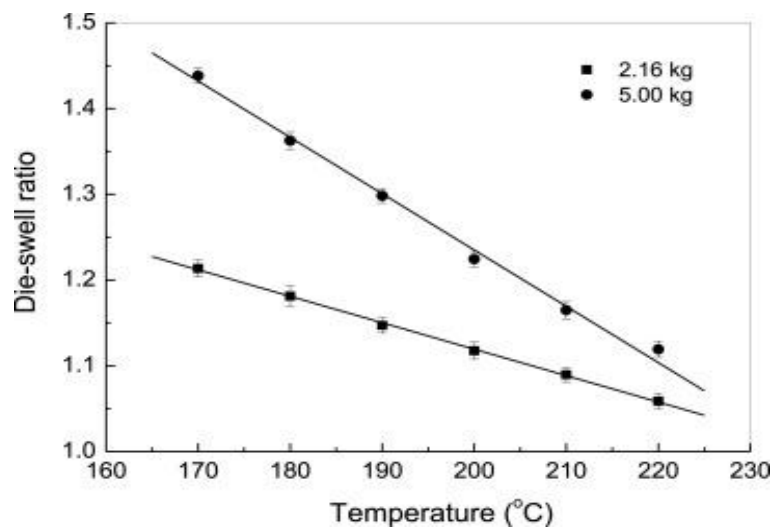
(6 marks/markah)

...4/-

- (ii). After conducting a die swell study, the obtained results as in **Figure 1**. Discuss your findings.

*Selepas melakukan penyelidikan berkaitan pembengkakan dai, kamu mendapatkan keputusan seperti dalam **Rajah 1**. Bincangkan pemerhatian anda.*

(6 marks/markah)



**Figure 1:** Variation of die swell with temperature

***Rajah 1:** Perubahan pembengkakan dai dengan suhu*

- (b). One of the basic problems normally faced during extrusion process of polymer melt is flow instability.

*Satu daripada masalah asas yang biasanya dihadapi semasa proses penyemperitan leburan polimer adalah ketidakstabilan aliran.*

...5/-

- (i). Describe flow instability and give **TWO (2)** examples of flow instabilities normally found in extrusion sample.

*Huraikan ketidakstabilan aliran dan berikan **DUA (2)** contoh ketidakstabilan aliran yang biasanya ditemui pada sampel penyemperitan.*

(4 marks/markah)

- (ii). Using a sketch of the flow curve, explain how these phenomena occur.

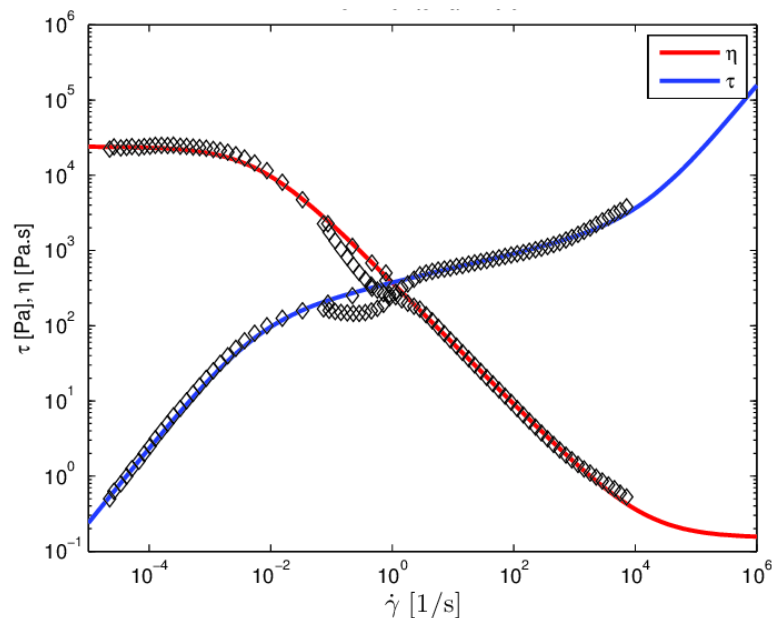
*Dengan menggunakan lakaran lengkung aliran, terangkan bagaimana fenomena ini berlaku.*

(9 marks/markah)

**PART B / BAHAGIAN B**

- (3). (a). Typically polymer melts display three characteristic regions of flow properties over a wide range of shear rates as shown in **Figure 2**. Write a short discussion on the observed results, identify the rheological flow regions of the tested polymer in **Figure 2** and explain the structural molecular changes of each region over a range of shear rates.

*Kebiasanya leburan polimer mempamerkan tiga ciri kawasan bagi sifat-sifat reologi pada julat tegasan ricih yang besar seperti dalam **Rajah 2**. Tuliskan perbincangan ringkas mengenai keputusan yang diperolehi, tentukan kawasan aliran untuk polimer yang diuji dalam **Rajah 2** dan terangkan perubahan struktur molekul pada setiap kawasan tersebut pada julat kadar ricih yang besar.*



**Figure 2** : Shear stress and apparent viscosity versus shear rate of a polymer melt

**Rajah 2:** Tegasan ricih dan kelikatan ketara melawan kadar ricih untuk satu leburan polimer

(8 marks/markah)

...7/-

- (b). Derive the relationship between viscosity to shear rate for a power-law fluid and explain the correlation between Power Law Index values to the viscosity versus shear rate curve shape. State the strength and weakness of the Power Law model to accurately represent pseudoplastic region of a polymeric material.

*Terbitkan hubungkait di antara kelikatan kepada kadar ricih untuk bendalir Hukum Kuasa dan jelaskan hubungkait nilai indeks Hukum Kuasa dengan keluk kelikatan melawan kadar ricih Nyatakan kekuatan dan kelemahan model Hukum Kuasa untuk menggambarkan secara tepat kawasan pseudoplastik bahan polimer.*

(9 marks/markah)

- (c). Suggest another model to rectify the weaknesses of the Power-Law model. Derive the equation for the model and sketch the flow curves of the suggested model and explain the advantages of the models over the power law model.

*Cadangkan satu model lain untuk mengatasi kelemahan Hukum kuasa. Terbitkan persamaan model tersebut dan lakarkan lengkung aliran model yang dicadangkan dan terangkan kelebihan model berbanding model Hukum Kuasa.*

(8 marks/markah)

...8/-

- (4). (a). Suggest **TWO (2)** characterization methods to investigate rheological behaviour of a polymer fluid and polymer melt. Discuss the important parameters that can be obtained and sketch the expected rheological properties of both states of polymer fluids.

*Cadangkan **DUA (2)** kaedah pencirian untuk mengkaji kelakuan reologi bagi bendalir polimer dan leburan polimer. Bincangkan parameter penting yang boleh diperolehi dan lakarkan sifat reologi yang dijangkakan bagi kedua-dua keadaan bendalir polimer.*

*(8 marks/markah)*

- (b). Derive the expression for shear stress and shear rate at the wall for a Newtonian fluid flowing within a capillary die. In your derivation, include assumptions that are made for the derivation to be valid.

*Terbitkan ungkapan kadar ricih pada dinding bagi suatu bendalir Newtonian yang mengalir di dalam dai kapilari. Dalam terbitan anda, ambil kira anggapan-anggapan yang dibuat agar terbitan tersebut adalah sah.*

*(12 marks/markah)*

**...9/-**

- (c). Calculate shear stress at the wall ( $\tau_w$ ) for Newtonian fluid at steady state flow in a cylindrical tube with 40 mm diameter and 120 mm length if the total pressure drop between the ends of the tube is 1445 Pa.

*Hitungkan tegasan ricih pada dinding ( $\tau_w$ ) untuk cecair Newtonian pada aliran keadaan mantap dalam tiub silinder dengan garis pusat 40 mm dan panjang 150 mm jika jumlah penurunan tekanan antara hujung tiub ialah 1445 Pa.*

(5 marks/markah)

...10/-



**PART C / BAHAGIAN C**

- (5). (a). In order to obtain reliable capillary rheometer results, a few correction procedures need to be done. One of the procedures is Bagley correction.

*Bagi mendapat keputusan reometer kapilari yang memuaskan, beberapa kaedah pembedulan perlu dilakukan. Salah satu daripada kaedah tersebut adalah pembedulan Bagley.*

- (i). What error in capillary rheometry does the Bagley correction fix?

*Apakah ralat reometer kapilari yang dapat dibetulkan dengan menggunakan pembedulan Bagley?*

(4 marks/markah)

- (ii). When is this error most commonly observed?

*Bilakah ralat ini paling biasa diperhatikan?*

(2 marks/markah)

- (iii). If this error is to be corrected what parameters should be varied and how is the correction applied?

*Sekiranya ralat ini hendak dibetulkan, parameter-parameter apakah yang sepatutnya dipelbagaikan dan bagaimanakah pembedulan ini dilakukan.*

(6 marks/markah)

...11/-

- (b). The viscosity characteristics of a polymer melt are measured using a cone and plate rheometer. The angle between the cone and plate is  $3^\circ$  and the diameter of the base of the cone is 50 mm. When a torque of 1.15 Nm is applied to the cone, the steady rate of rotation reached is observed to be 0.052 rad/s. Calculate the shear rate, shear stress and viscosity of the sample. (Given  $2\pi$ rad is  $360^\circ$ )

*Ciri-ciri kelikatan leburan polimer diukur menggunakan reometer kon dan plat. Sudut antara kon dan plat adalah  $3^\circ$  dan diameter pangkal kon adalah 50 mm. Apabila tork 1.15 Nm yang dikenakan ke atas kon, kadar tetap putaran dicapai yang diperhatikan menjadi 0.052 rad/s. Kira kadar ricih, tegasan ricih dan kelikatan sampel. (Diberi  $2\pi$ rad ialah  $360^\circ$ ).*

(6 marks/markah)

- (c). Elongational rheometer is a less commonly used rheometer compared with shear rheometer.

*Reometer regangan adalah reometer yang jarang digunakan berbanding reometer ricih.*

- (i). What is elongational flow? Describe common difficulties in elongational flow measurement.

*Apakah aliran teregang? Perihalkan masalah-masalah yang biasanya dihadapi semasa pengukuran aliran teregang.*

(4 marks/markah)

- (ii). If you compare Low Density Polyethylene (LDPE) with high density polyethylene (HDPE), which one is more tension-thinning? Justify your selection.

*Jika kamu membandingkan polietilena berketumpatan rendah (LDPE) dan polietilena berketumpatan tinggi (HDPE), yang mana satukah lebih penipisan-tegangannya? Berikan justifikasi untuk pilihan anda.*

(3 marks/markah)

- (6). (a). You are required to examine the torque development during the processing of a polymer composite.

*Anda diminta memeriksa perkembangan tork semasa pemrosesan suatu polimer komposit.*

- (i). Which rheometer will you use and justify your selection?

*Reometer manakah yang kamu akan guna dan berikan justifikasi terhadap pemilihan anda?*

(5 marks/markah)

- (ii). If you conduct the test for two polymer compounds that respectively contained low and high amounts of non-reinforcing filler added on a similar minute of the mixing sequence, sketch the diagram of torque development with the time that you expected to get. Justify your expected variation of torque with time.

*Jika kamu melakukan ujian tersebut bagi dua sebatian polimer yang masing-masing mengandungi kandungan pengisi bukan penguat yang rendah dan tinggi yang ditambah pada minit turutan pencampuran yang sama, lakarkan gambarajah perkembangan tork dengan masa yang kamu jangka akan perolehi. Berikan justifikasi untuk perubahan tork dengan masa tersebut.*

(11 marks/markah)

- (b). Calculate the rheological parameters (i.e. shear stress, shear rate and viscosity) if MFI result gives a value of 16g/10min. The MFI test was conducted at 200°C using a standard 2.16 kg load.

Given,

Piston diameter = 2.2 cm

Polymer melt density = 0.86 g/cm<sup>3</sup>

Die diameter = 2 mm

L/D ratio of the die = 8

*Kirakan parameter-parameter reologi (iaitu tegasan ricih, kadar ricih dan kelikatan) sekiranya keputusan MFI memberikan nilai 16g/10min. Ujian MFI tersebut dilaksanakan pada suhu 200°C menggunakan suatu beban piawai seberat 2.16 kg.*

*Diberikan,*

*Diameter piston = 2.2 cm*

*Ketumpatan leburan polimer = 0.86 g/cm<sup>3</sup>*

*Diameter dai = 2 mm*

*Nisbah L/D dai = 8*

(9 marks/markah)

**-oooOooo -**