

SULIT



First Semester Examination
2024/2025 Academic Session

February 2025

EBP 201 – Polymer Synthesis and Reaction Engineering
[Sintesis Polimer dan Kejuruteraan Tindakbalas]

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please check that this examination paper consists of TWELVE (12) pages of printed material before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi DUA BELAS (12) muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]

Instructions : Answer **FIVE (5)** questions. Answer **ALL** questions from PART A, **ONE (1)** question from PART B and **ONE (1)** question from PART C. All questions carry the same marks.

[Arahan] : Jawab **LIMA (5)** soalan. Jawab **SEMUA** soalan daripada BAHAGIAN A, **SATU (1)** soalan daripada BAHAGIAN B dan **SATU (1)** soalan daripada BAHAGIAN C. Semua soalan membawa jumlah markah yang sama.]

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

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

...2/-

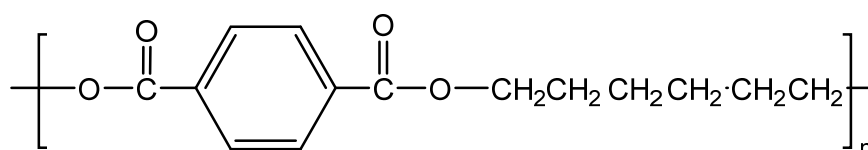
SULIT

PART A / BAHAGIAN A

- (1). (a). Write the chemical structures of the monomers used to produce each of the polymers shown in Figure 1.

Tuliskan struktur kimia monomer-monomer untuk menghasilkan setiap polimer yang ditunjukkan dalam Rajah 1.

i)



ii)

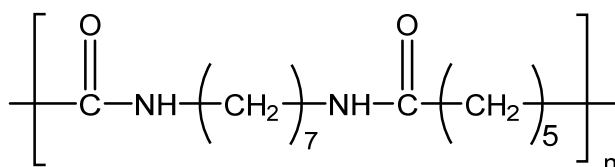


Figure 1: The repeat unit structures of two types of polymers.

Rajah 1: Struktur unit ulangan bagi dua jenis polimer.

(6 marks/markah)

- (b). Neglecting the contribution of end groups to polymer molecular weight, calculate the percentage conversion of functional groups required to obtain a polyester with a number-average molecular weight of $24,000 \text{ g mol}^{-1}$ from the monomer $\text{HO}(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$.

Dengan mengabaikan sumbangan kumpulan hujung kepada berat molekul polimer, hitungkan peratusan penukaran kumpulan fungsi yang diperlukan untuk memperoleh poliester dengan berat molekul purata nombor sebanyak $24,000 \text{ g mol}^{-1}$ daripada monomer $\text{HO}(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$.

(7 marks/markah)

...3/-

- (c). Calculate the concentration of benzoyl peroxide required to prepare polystyrene with a number-average molecular weight of 750,000 gmol^{-1} . Given the concentration of styrene is $8.38 \times 10^{-6} \text{ molL}^{-1}$. Assume that the initiator is 100% efficient, the termination is by disproportionation, and chain transfer to initiator and monomer are negligible. The chemical structure of polystyrene is shown in Figure 2. Relevant rate coefficients are:

Hitungkan kepekatan benzoyl peroksida yang diperlukan untuk menyediakan polistirena dengan berat molekul purata nombor sebanyak 750,000 gmol^{-1} . Diberikan kepekatan stirena ialah $8.38 \times 10^{-6} \text{ molL}^{-1}$. Anggapkan bahawa kecekapan pemula adalah 100%, penamatan berlaku melalui disproporsionasi, dan pemindahan rantai kepada pemula serta monomer boleh diabaikan. Struktur kimia polistirena ditunjukkan dalam Rajah 2. Pekali kadar yang berkaitan adalah:

Initiator dissociation / Pemecahan pemula, $k_i = 2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

Propagation / Perambatan, $k_p = 341 \text{ Lmol}^{-1}\text{s}^{-1}$

Termination / Penamatan, $k_t = 4 \times 10^7 \text{ Lmol}^{-1}\text{s}^{-1}$

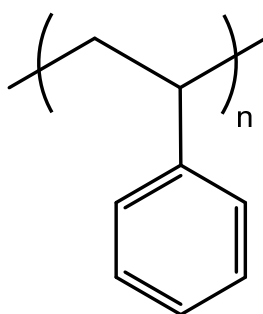


Figure 2: Chemical structure of polystyrene

Rajah 2: Struktur kimia polistirena

(7 marks/markah)

...4/-

SULIT

- (2). Table 1 shows the resonance stability (Q) and polarity (e) values for selected monomers based on Greenley's data.

Jadual 1 menunjukkan nilai-nilai kestabilan resonans (Q) dan kekutuban (e) bagi monomer-monomer terpilih berdasarkan Greenley data.

Table 1: Q and e values for selected monomers.

Table 1: Nilai-nilai Q dan e bagi monomer-monomer terpilih.

Selected Monomer / Monomer pilihan	Q	e
Butadiene / Butadiena	1.40	0.50
Acrylonitrile / Akrilonitril	1.50	-0.10
Styrene / Stirena	1.00	-0.80
Butyl acrylate / Butil akrilat	0.38	0.85

- (a). Prove whether butadiene is suitable or not for forming a copolymer with acrylonitrile based on the Q and e values in Table 1. Include the appropriate equation to support your answer

Buktikan sama ada butadiena sesuai atau tidak untuk membentuk kopolimer dengan akrilonitril berdasarkan nilai Q dan e dalam Jadual 1. Sertakan persamaan yang sesuai untuk menyokong jawapan anda.

(8 marks/markah)

- (b). An experiment on copolymerization involving styrene and butyl acrylate is being conducted. Describe how the reactivity ratios can be determined experimentally.

Satu eksperimen pengkopolimeran yang melibatkan stirena dan butil akrilat sedang dijalankan. Huraikan bagaimana nisbah kereaktifan boleh ditentukan secara eksperimen.

(6 marks/markah)

...5/-

- (c). An emulsion company aims to produce a copolymer with specific mechanical properties by copolymerizing styrene and butyl acrylate. Discuss how the Q and e scheme can assist in tailoring the properties of the copolymer.

Syarikat emulsi bertujuan untuk menghasilkan kopolimer dengan sifat mekanikal tertentu melalui pengkopolimeran stirena dan butil akrilat. Bincangkan bagaimana skema Q dan e dapat membantu dalam mengubahsui sifat kopolimer tersebut.

(6 marks/markah)

- (3). Figure 3(a) illustrates a polymerization reactor setup featuring a vessel with inlets for monomer, solvent, and initiator streams and an outlet for product removal. The process operates at 160°C for a total of 5 hours. However, the system experienced frequent temperature surges due to an uncontrolled exothermic reaction, posing risks of excessive thermal. To address this issue, a new setup has been proposed, as shown in Figure 3(b), utilizing a different type of reactor with some additional setup to regulate the temperature throughout the reaction process.

Rajah 3(a) menggambarkan satu susunan reaktor pempolimeran yang terdiri daripada sebuah bekas dengan saluran masuk bagi aliran monomer, pelarut, dan pemula, serta satu saluran keluar untuk penyingkiran produk. Proses ini beroperasi pada suhu 160°C selama 5 jam. Walau bagaimanapun, sistem ini sering mengalami lonjakan suhu akibat tindak balas eksotermik yang tidak terkawal, yang membawa risiko haba yang berlebihan. Bagi menangani isu ini, satu susunan baru telah dicadangkan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3(b), menggunakan jenis reaktor yang berbeza dengan beberapa tambahan pada susunan bagi mengawal suhu sepanjang proses tindak balas.

...6/-

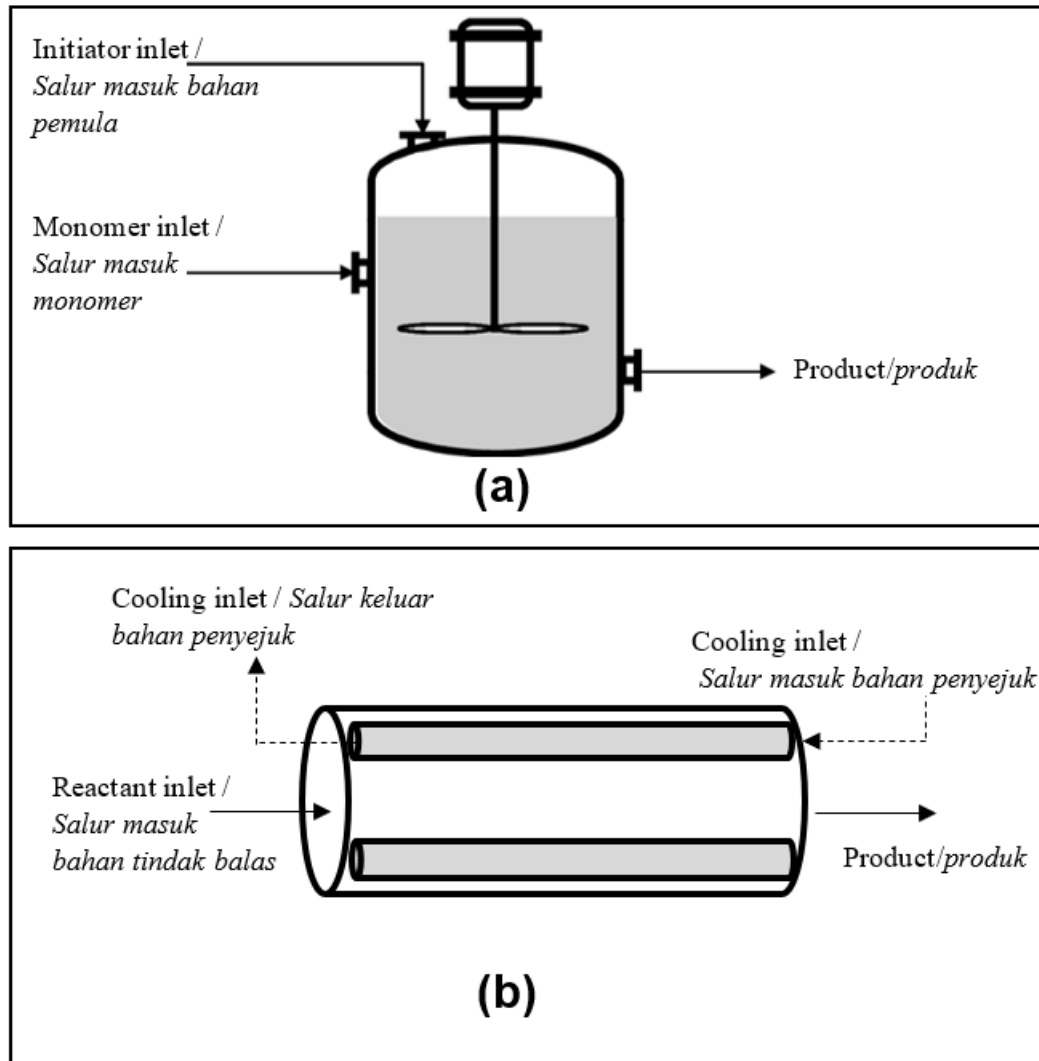


Figure 3: Polymerization reactors:(a) Current configuration, (b) Proposed configuration.

Rajah 3: Reaktor pempolimeran (a) Konfigurasi semasa (b) Konfigurasi yang dicadangkan.

- (a). Identify and define the types of reactors illustrated in Figures 3(a) and (b).

Kenal pasti dan definisikan jenis reaktor yang ditunjukkan dalam Rajah 3(a) dan (b).

(5 marks/markah)

- (b). Discuss the modifications made in the new setup shown in Figure 3(b) and explain how it could mitigate the risk of excessive exothermic reactions.

Bincangkan pengubahsuaian yang dilakukan dalam susunan baru yang ditunjukkan dalam Rajah 3(b) dan terangkan bagaimana pengubahsuaian ini dapat mengurangkan risiko tindak balas eksotermik yang berlebihan.

(5 marks/markah)

- (c). Given that the polymerization process remains time-intensive, suggest an alternative polymerization reactor that could improve reaction efficiency and reduce polymerization time. Justify your recommendation with reference to reactor design and operational principles.

Memandangkan proses pempolimeran ini memerlukan masa yang panjang, cadangkan jenis reaktor pempolimeran alternatif yang dapat meningkatkan keberkesanan tindak balas dan mengurangkan masa pempolimeran. Berikan justifikasi cadangan anda dengan merujuk kepada reka bentuk reaktor dan prinsip operasi.

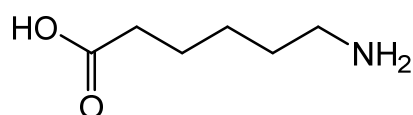
(10 marks/markah)

PART B / BAHAGIAN B

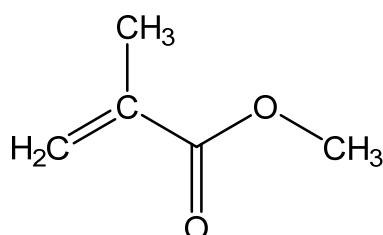
- (4). (a). Figure 4 shows the monomers that will be polymerized upon chemical reaction. Identify the type of polymerization and predict the polymer produced.

Rajah 4 menunjukkan monomer-monomer yang akan membentuk polimer melalui tindak balas kimia. Kenal pasti jenis pempolimeran dan ramalkan polimer yang terhasil.

i)



ii)



iii)

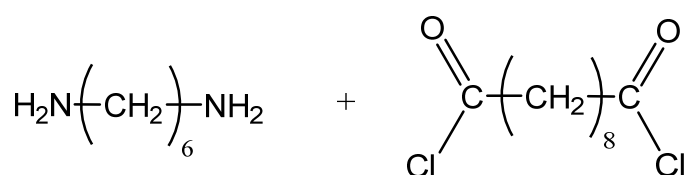


Figure 4: The monomers that will be polymerized upon chemical reaction.

Rajah 4: Monomer-monomer yang akan membentuk polimer melalui tindak balas kimia.

(6 marks/markah)

...9/-

- (b). Consider 1:1 stoichiometric polymerization of hexamethylene diamine (HMDA) with adipic acid (AA) to produce a polyamide. Using the Carothers equation, calculate the degree of conversion to produce this polymer with a number-average molecular weight, $M_n = 25.0 \text{ kg mol}^{-1}$. The chemical formula for HMDA = $\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2$, AA = $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$.

Pertimbangkan pempolimeran stoikiometrik 1:1 antara heksametilena diamina (HMDA) dengan asid adipik (AA) untuk menghasilkan poliamida. Dengan menggunakan persamaan Carothers, kira darjah penukaran untuk menghasilkan polimer ini dengan berat molekul purata nombor, $M_n = 25.0 \text{ kg mol}^{-1}$. Formula kimia bagi HMDA = $\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2$, AA = $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$.

(6 marks/markah)

- (c). Poly(methyl methacrylate) was prepared through polymerization of the methyl methacrylate (MMA) at a mass concentration of 200 gL^{-1} in toluene using azobisisobutyronitrile (AIBN) as the initiator at a mass concentration of $1.64 \times 10^{-2} \text{ gL}^{-1}$. Calculate the rate of polymerization for the polymer produced. The chemical formula for MMA = $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$, and AIBN = $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{N}_4$. Relevant rate coefficient:

Poli(metil metakrilat) disediakan melalui proses pempolimeran metil metakrilat (MMA) pada kepekatan jisim 200 gL^{-1} dalam toluena menggunakan azobisisobutironitril (AIBN) sebagai pemula pada kepekatan jisim $1.64 \times 10^{-2} \text{ gL}^{-1}$. Hitung kadar pempolimeran bagi polimer yang terhasil. Formula kimia bagi MMA = $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$, dan AIBN = $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{N}_4$. Pekali kadar yang berkaitan:

...10/-

Initiator dissociation / Pemecahan pemula, $k_i = 8.5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

Propagation / Perambatan, $k_p = 833 \text{ Lmol}^{-1}$

Termination / Penamatan, $k_t = 9.3 \times 10^6 \text{ Lmol}^{-1}$

(8 marks/markah)

- (5). You are a polymer engineer at a polymer emulsion factory, responsible for identifying the synthetic route that aligns with the desired chemical and physical properties. This effort aims to achieve high mechanical and thermal performance.

Anda ialah seorang jurutera polimer di sebuah kilang emulsi polimer yang bertanggungjawab untuk mengenal pasti laluan sintetik yang selaras dengan sifat kimia dan fizikal yang dikehendaki. Usaha ini bertujuan untuk mencapai prestasi mekanikal dan terma yang tinggi.

- (a). Elaborate on TWO (2) polymer modification techniques to achieve high mechanical and thermal performance. Include suggested illustrations to support your answer.

Huraikan DUA (2) teknik pengubahsuaian polimer untuk mencapai prestasi mekanikal dan terma yang tinggi. Sertakan ilustrasi yang dicadangkan untuk menyokong jawapan anda.

(10 marks/markah)

- (b). Define the term of copolymerization and give TWO (2) examples of copolymers. In addition, explain the significance of the monomer reactivity ratios r_1 and r_2 in copolymerization.

Takrifkan istilah pengkopolimeran dan berikan DUA (2) contoh kopolimer. Selain itu, terangkan kepentingan nisbah reaktiviti monomer r_1 dan r_2 dalam pengkopolimeran.

(10 marks/markah)

PART C / BAHAGIAN C

- (6). (a). Draw the catalytic reactor and explain the mechanism of the catalytic reactor in polymerization processes.

Lukiskan reaktor pemangkin dan terangkan mekanisme reaktor pemangkin dalam proses pempolimeran.

(10 marks/markah)

- (b). Discuss how the reaction rate in the catalytic reactor can be improved. Your answer should include the effects of temperature, pressure, catalyst surface area, and reactant concentration on the rate of polymerization.

Bincangkan bagaimana kadar tindak balas dalam reaktor pemangkin boleh ditingkatkan. Jawapan anda hendaklah merangkumi kesan suhu, tekanan, luas permukaan pemangkin, dan kepekatan reaktan terhadap kadar pempolimeran.

(10 marks/markah)

- (7). (a). Define batch reactor, continuous stirred tank reactor (CSTR), and plug flow reactor (PFR), highlighting the key operational principles of each type.

Tafsirkan reaktor kelompok (batch reactor), reaktor tangki kacau berterusan (CSTR), dan reaktor aliran palam (PFR), dengan menekankan prinsip operasi utama bagi setiap jenis.

(10 marks/markah)

- (b). Table 2 provides a set of reaction conditions for a polymerization process. Based on the conditions provided, determine the most suitable reactor type (batch, CSTR, or PFR) for the process. Justify your choice by applying the operational characteristics of the reactor.

Jadual 2 memberikan satu set syarat tindak balas untuk proses pempolimeran. Berdasarkan syarat yang diberikan, tentukan jenis reaktor yang paling sesuai (batch, CSTR, atau PFR) untuk proses ini. Berikan justifikasi pilihan anda dengan menggunakan ciri operasi reaktor tersebut.

Table 2: Reaction conditions/*Keadaan tindak balas*

Parameter/ Pemboleh ubah	Value/Nilai
Reaction Time Required <i>Masa Tindak Balas Diperlukan</i>	2 hours/ <i>jam</i>
Temperature Control <i>Kawalan Suhu</i>	Critical/ <i>kritikal</i>
Scalability <i>Kebolehsesuaian Skala</i>	High/ <i>tinggi</i>
Reaction Order <i>Tertib Tindak Balas</i>	Zero-order/ <i>tertib sifar</i>

(10 marks/*mark*)

