

HADIAH

SIFAT KIMIA FIZIK
BAGI
ESTER ASID LEMAK

LAPORAN PROJEK PENYELIDIKAN KUE 400

OLEH
OH LAY LENG

PUSAT PENGAJIAN SAINS KIMIA
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA
PULAU PINANG

1989

PENGHARGAAN

Saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada penyelia projek saya, Dr. Seng Chye Eng. Beliau telah banyak memberi tunjuk ajar, bimbingan, nasihat dan sokongan moral kepada saya sepanjang kursus projek penyelidikan ini.

Saya juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Dr. Liew Kong Yong kerana sumbangan beliau dari segi pandangan serta kritikan yang membina amat berbantu untuk menjayakan projek ini.

ABSTRAK

Kelikatan dan ketumpatan bagi ester metil asid lemak ($C_6 - C_{18}$) pada suhu yang berlainan telah diukurkan. Keputusan eksperimen telah dibincangkan berasaskan persamaan Hildebrand yang diubahsuaikan serta persamaan Arrhenius. Isipadu molar untuk siri homolog ester metil asid lemak telah dikirakan dan didapati bahawa ia merupakan fungsi linear terhadap bilangan atom karbon di dalam rantai. Tenaga pengaktifan untuk pengaliran likat berbeza sebanyak 7.5 kJ mol^{-1} di antara C_6 dan C_{18} .

ABSTRACT

The viscosities and densities of methyl esters of fatty acids ($C_6 - C_{18}$) at various temperatures had been measured. The results of the measurements were discussed in connection with the modified Hildebrand equation and the Arrhenius equation. Molar volumes for the homologous series had been computed and shown to be linear with respect to the number of carbon atoms in the chain. The activation energy of viscous flow varies by 7.5 kJ mol^{-1} between C_6 and C_{18} .

KANDUNGAN

	muka surat
MUKA SURAT JUDUL	i
PENGHARGAAN	ii
ABSTRAK BAHASA MALAYSIA	iii
ABSTRAK BAHASA INGGERIS	iv
KANDUNGAN	v
SENARAI JADUAL	vii
SENARAI RAJAH	ix
1. PENGENALAN	1
2. TEORI	4
2.1 Persamaan Hildebrand	4
2.2 Tenaga pengaktifan untuk pengaliran.	5
2.3 Tujuan projek penyelidikan	7
3. EKSPERIMEN	8
3.1 Bahan kimia	8
3.2 Tatacara	8
4. DATA DAN PERKIRAAN	9
4.1 Perkiraan kelikatan, η dan kebendaliran, ϕ	9
4.2 Perkiraan ketumpatan, ρ dan isipadu molar, V	10
4.3 Tenaga pengaktifan	10
4.4 Data eksperimen	10
5. KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	19
5.1 Tenaga pengaktifan	35
5.2 Isipadu molar, V dan isipadu intrinsik, V_0	38

5.3 Faktor B	42
5.4 Pengubahsuaian persamaan Hildebrand	45
5.5 Kebendaliran ϕ bagi ester metil asid lemak tepu pada suhu yang lain	46
5.6 Perbandingan kebendaliran di antara asid lemak tepu, terbitan ester metil dan ester etilnya	50
6. KESIMPULAN	55
LAMPIRAN	56
RUJUKAN	60

SENARAI JADUAL

	muka surat
Jadual 4.1 : Kelikatan η , kebendaliran ϕ , ketumpatan serta isipadu molar V dari suhu 10-80 °C untuk metil heksanoat	11
Jadual 4.2 : Kelikatan η , kebendaliran ϕ , ketumpatan serta isipadu molar V dari suhu 10-80 °C untuk metil heptanoat	12
Jadual 4.3 : Kelikatan η , kebendaliran ϕ , ketumpatan serta isipadu molar V dari suhu 10-80 °C untuk metil oktanoat	13
Jadual 4.4 : Kelikatan η , kebendaliran ϕ , ketumpatan serta isipadu molar V dari suhu 10-80 °C untuk metil dekanat	14
Jadual 4.5 : Kelikatan η , kebendaliran ϕ , ketumpatan serta isipadu molar V dari suhu 10-80 °C untuk metil dodekanat	15
Jadual 4.6 : Kelikatan η , kebendaliran ϕ , ketumpatan serta isipadu molar V dari suhu 20-80 °C untuk metil tetradekanat	16
Jadual 4.7 : Kelikatan η , kebendaliran ϕ , ketumpatan serta isipadu molar V dari suhu 40-80 °C untuk metil oktadekanat	17
Jadual 4.8 : Log η dan $1/T$ untuk ester metil asid lemak tepu	18
Jadual 5.1 : Nilai tenaga pengaktifan, E bagi ester metil asid lemak tepu pada panjang rantai karbon, n	37
Jadual 5.2 : Isipadu intrinsik, V , bagi ester metil asid lemak tepu dengan bilangan atom karbon di dalam rantai, n	40

Jadual 5.3 : Nilai B dan n bagi ester metil asid lemak tepu pada suhu 75°C	43
Jadual 5.4 : Perbandingan di antara nilai kebendaliran kiraan dengan nilai kebendaliran eksperimen pada suhu 75°C	45
Jadual 5.5 : Perbandingan darjah pengembangan di antara asid lemak tepu dan terbitan ester metil serta ester etil	53

SENARAI RAJAH

	muka surat
Rajah 5.1 : Plot $\log \eta$ melawan $1/T$ bagi metil heksanoat	20
Rajah 5.2 : Plot $\log \eta$ melawan $1/T$ bagi metil heptanoat	21
Rajah 5.3 : Plot $\log \eta$ melawan $1/T$ bagi metil oktanoat	22
Rajah 5.4 : Plot $\log \eta$ melawan $1/T$ bagi metil dekanooat	23
Rajah 5.5 : Plot $\log \eta$ melawan $1/T$ bagi metil dodekanoat	24
Rajah 5.6 : Plot $\log \eta$ melawan $1/T$ bagi metil tetradekanoat	25
Rajah 5.7 : Plot $\log \eta$ melawan $1/T$ bagi metil oktadekanoat	26
Rajah 5.8 : Plot E melawan n bagi ester metil asid lemak tepu	27
Rajah 5.9 : Plot kebendaliran, ϕ melawan isipadu molar, V bagi metil heksanoat	28
Rajah 5.10: Plot kebendaliran, ϕ melawan isipadu molar, V bagi metil heptanoat	29
Rajah 5.11: Plot kebendaliran, ϕ melawan isipadu molar, V bagi metil oktanoat	30
Rajah 5.12: Plot kebendaliran, ϕ melawan isipadu molar, V bagi metil dekanooat	31
Rajah 5.13: Plot kebendaliran, ϕ melawan isipadu molar, V bagi metil dodekanoat	32
Rajah 5.14: Plot kebendaliran, ϕ melawan isipadu molar, V bagi metil tetradekanoat	33
Rajah 5.15: Plot kebendaliran, ϕ melawan isipadu molar, V bagi metil oktadekanoat	34
Rajah 5.16: Plot isipadu molar, V melawan bilangan karbon di dalam rantai ester metil asid lemak tepu pada suhu 75°C	39
Rajah 5.17: Plot isipadu intrinsik, V_e melawan bilangan karbon di dalam rantai ester metil asid lemak tepu	41

Rajah 5.18: Plot nilai B melawan bilangan karbon di dalam rantai ester metil asid lemak tepu pada suhu 75 °C	44
Rajah 5.19: Plot B' melawan suhu bagi ester metil asid lemak tepu	47
Rajah 5.20: Plot m_1 melawan suhu bagi ester metil asid lemak tepu	48
Rajah 5.21: Plot A_1 melawan suhu bagi ester metil asid lemak tepu	49
Rajah 5.22: Plot kebendaliran, ϕ melawan bilangan karbon, n menunjukkan perbandingan kebendaliran di antara asid lemak tepu, terbitan ester metil dan ester etilnya pada suhu 75 °C	54

1. PENGENALAN

Di dalam bidang bahan lemak dan minyak, kelikatan merupakan satu ciri fizik yang amat bermakna samada dari segi teori atau praktis. Kajian ciri kelikatan bagi berbagai jenis asid lemak dan terbitannya bukan sahaja dapat menerbitkan hubungan antara ciri kelikatan dengan struktur molekul, tetapi perhubungan ini juga boleh digunakan untuk memerhatikan perkembangan tindakbalas kimia seperti polimeran dan pengoksidaan. Kelikatan bagi asid lemak atau terbitannya juga merupakan faktor yang dapat menentukan kelakuan sesuatu hasilan sebagai suatu varnis atau pelincir, yang mana asid lemak atau terbitan esternya merupakan kandungan utama.

Kelikatan merupakan satu rintangan dalaman bagi pengaliran sesuatu cecair. Ia merupakan salah satu daripada sifat fizik yang penting bagi cecair. Kelikatan sesuatu cecair dipengaruhi oleh beberapa faktor. Empat faktor yang utama adalah seperti berikut :

- (i) Suhu. Apabila sesuatu cecair dipanaskan, molekulnya akan memperolehi cukup tenaga supaya dapat mengatasi tenaga antarmolekul yang menghalang pengaliran. Jadi, kelikatan yang disebabkan oleh halangan dalaman akan menurun apabila suhu dinaikkan.
- (ii) Saiz dan berat molekul. Bagi sebatian-sebatian dalam suatu siri homolog, kelikatan adalah berkadar langsung dengan berat molekul. Sebagai contoh, alkohol yang mudah misalnya etanol adalah cecair yang mempunyai mobiliti yang tinggi manakala alkohol yang lebih tinggi adalah lebih likat.
- (iii) Bentuk molekul. Kelikatan akan bertambah bagi molekul yang mempunyai lebih banyak cabang. Kecenderungan sesuatu molekul untuk berada dalam bentuk lurus atau tergulung, tegar atau

terlentur akan mempengaruhi kelikatan juga.

(iv) Tenaga antaramolekul. Kelikatan yang amat tinggi bagi gliserol adalah disebabkan oleh tiga kumpulan hidroksil, $-OH$ dalam molekul gliserol yang sanggup membentuk ikatan hidrogen dengan molekul dan menjejaskan kebendaliran cecair gliserol. Molekul yang berkutub seperti asid lemak mempunyai kelikatan yang lebih tinggi berbanding dengan molekul hidrokarbon yang tak berkutub.

Di dalam bidang asid lemak serta terbitan esternya, banyak kajian telah dibuat untuk menghubungkan kelikatan dengan faktor saiz dan berat molekul dalam satu siri homolog samada asid lemak atau terbitan monoesternya iaitu ester metil dan ester etil. Di antaranya ialah Thorpe dan Rodger⁽¹⁾ yang telah membuat kajian tentang empat jenis asid lemak pertama di dalam siri asid lemak tepu. Dunston et al.⁽²⁾ telah menyukat kelikatan bagi berbagai jenis asid lemak sehingga asid stearik. Mereka telah memperolehi suatu kelok yang hampir linear apabila kelikatan diplotkan melawan jisim molekul. Gill dan Dexter⁽³⁾ telah menentukan kelikatan bagi ester metil, etil propil, butil dan amil bagi asid asetik sehingga asid kaproik, pada suhu $25^{\circ}C$. Mereka cuba mendapatkan satu hubungan di antara kelikatan dengan bilangan atom karbon dalam rantai karbon bagi ester. Walaubagaimanapun, mereka gagal untuk mendapatkan kesimpulan sebab titik-titik plot kelikatan melawan bilangan atom karbon tidak menunjukkan satu garis linear. Gros dan Feuge⁽⁴⁾ telah melaporkan kelikatan pada suhu $75^{\circ}C$ untuk siri homolog n-asid lemak yang tepu dan bilangan karbon genap dari C_2 sehingga C_{18} serta ester metil dan etilnya. Didapati bahawa dengan membandingkan kelikatan antara asid lemak, ester metil dan ester etil, asid lemak mempunyai kelikatan yang paling

tinggi, dan perubahan kelikatan dengan pertambahan panjang rantai adalah terbesar. Kelikatan bagi ester etil adalah sedikit lebih besar berbanding dengan ester metil dan perbezaan kelikatan antara kedua-dua jenis ester ini adalah hampir tetap pada kesemua panjang rantai yang dikaji. Bonhorst et al.⁽⁵⁾ telah menentukan kelikatan bagi ester metil, n-propil dan isopropil asid lemak dari C₆ sehingga C₁₈ pada suhu 20 °C sehingga 100 °C.

Lau⁽⁶⁾ telah menjalankan penyelidikan ke atas kelikatan bagi siri homolog asid lemak tepu (C₈ - C₁₄) serta terbitan ester etilnya, dengan berasaskan teori kebendaliran yang dicadangkan oleh Hildebrand^(7,8). Dari kajian tersebut, dapat disimpulkan bahawa :

-- Isipadu molar serta isipadu intrinsik bagi asid lemak tepu dan ester etilnya merupakan fungsi-fungsi linear terhadap bilangan atom karbon di dalam rantai.

-- Nilai faktor B (dalam persamaan Hildebrand, $\phi = B(V - V_0)/V_0$) berkurang dengan bertambahnya bilangan atom karbon di dalam rantai, n mengikut persamaan

$$B = B' - Xn$$

-- Isipadu intrinsik, V₀ untuk siri homolog asid lemak tepu dan ester etilnya masing-masing didapati sebagai

$$V_0 = 17.3n + 13.2$$

$$V_0 = 17.3n + 48.8$$

-- Persamaan Hildebrand yang diubahsuakan dapat digunakan dengan memuaskan untuk meramalkan kebendaliran asid lemak tepu dan terbitan ester etilnya terutamanya pada suhu yang lebih tinggi.

2. TEORI

2.1 PERSAMAAN HILDEBRAND

Salingan kelikatan iaitu kebendaliran, ϕ bagi cecair yang tidak kompleks adalah bergantung kepada darjah pengembangan relatif cecair, $(V - V_0)/V_0$. Di sini, V merupakan isipadu molar cecair pada sesuatu suhu dan V_0 ialah isipadu bila mana molekul-molekul cecair terlalu terbimpit sehingga dapat menghalang swa-pembauran dan pengaliran likat. Perhubungan ini ditunjukkan oleh persamaan Hildebrand iaitu :

$$\phi = B(V - V_0)/V_0 \quad (2.1)$$

Unit untuk kebendaliran ialah cp^{-1} iaitu salingan bagi unit kelikatan, cp (sentipoise). Untuk cecair yang tidak kompleks, parameter B merupakan ukuran setakat mana momentum luaran yang menghasilkan pengaliran likat diserap oleh molekul-molekul cecair yang diakibatkan oleh jisim, keterlenturan, kelembikan dan inersia putaran molekul-molekul. Perhubungan di atas mempunyai batasannya. Perhubungan itu dipercayai tidak berguna untuk cecair yang bersekutu. Perhubungan linear di antara kebendaliran dan isipadu molar tidak dipatuhi pada sesuatu julat suhu atau tekanan tertentu. ⁽⁸⁾

Hildebrand dan Lamoreaux ⁽⁸⁾ telah menunjukkan bahawa untuk alkana berantai lurus, nilai B berkadar songsang dengan bilangan atom karbon di dalam rantai, n . Untuk cecair yang kompleks, saling tindakan kumpulan berfungsi memberi sumbangan yang besar terhadap faktor B .

Dorinson et al. ⁽⁹⁾ telah menunjukkan bahawa pada suhu tertentu, isipadu molar bagi cecair dalam suatu siri homolog merupakan fungsi linear terhadap panjang rantai hidrokarbon, n . Jadi isipadu intrinsik, V_0 juga dijangka mempunyai hubungan yang serupa.

Berasaskan kedua-dua pemerhatian di atas, Lau⁽⁶⁾ telah mengubahsuaikan persamaan Hildebrand untuk meramalkan kelikatan cecair-cecair di dalam siri homolog asid lemak tepu (C₈ - C₁₄) serta terbitan ester etilnya. Dari hasil kajian tersebut, kebendaliran, ϕ iaitu salingan kelikatan pada sesuatu suhu untuk cecair-cecair di dalam suatu siri homolog boleh dicari dengan menggunakan persamaan umum seperti berikut :

$$\phi = (B' - Xn) \left(\frac{m_1 n + A_1}{m_2 n + A_2} - 1 \right) \quad (2.2)$$

Di sini, B', A₁ dan A₂ masing-masing merupakan penggal pada paksi tegak bagi graf B melawan n, V melawan n dan V₀ melawan n pada sesuatu suhu. Pemalar X, m₁ dan m₂ masing-masing merupakan kecerunan bagi graf Bmelawan n, V melawan n dan V₀ melawan n pada sesuatu suhu.

2.2 TENAGA PENGAKTIFAN UNTUK PENGALIRAN LIKAT

Oleh sebab kelikatan dipengaruhi oleh struktur molekul, banyak usaha telah dilakukan untuk memunculkan satu teori kinetik am bagi cecair, yang berasaskan bahawa kelikatan pada sesuatu suhu dan pekali-pekali tekanan boleh dinyatakan sebagai fungsi bagi pembolehubah seperti daya antaramolekul dan darjah pemutaran bebas bagi molekul-molekul di dalam sesuatu cecair.^(10,11) Salah satu daripada keputusan bagi teori-teori itu ialah bahawa kelikatan, boleh dihubungkan dengan suhu, T di dalam persamaan

$$\eta = A \exp(E/RT) \quad (2.3)$$

Pemalar E merupakan tenaga pengaktifan bagi pengaliran likat. Ia merupakan tenaga minimum yang diperlukan untuk mengatasi daya penarikan antaramolekul yang menghalang pengaliran.

Walaupun, Hildebrand dan Lamoreaux⁽⁸⁾ menyatakan bahawa peranan suhu cuma untuk menentukan magnitud bagi (V - V₀).

Hildebrand dan Alder⁽¹²⁾ menyatakan bahawa purata lintasan bebas bagi molekul-molekul dalam cecair mudah adalah amat pendek berbanding dengan diameternya; pembauran yang berlaku adalah diakibatkan oleh kejayaan penyesaran yang kecil, dan bukan disebabkan oleh lompatan melalui halangan bila mana tenaga pengaktifan diperlukan. Tetapi kenyataan ini cuma benar untuk cecair mudah atau cecair tidak bersekutu. Untuk cecair-cecair yang kompleks, misalnya asid lemak tepu atau terbitan esternya di mana molekulnya adalah berkutub, daya antaramolekul mungkin wujud dalam bentuk cecair. Ini disebabkan oleh kecenderungan sesuatu molekul dwikutub untuk menjajarkan molekul yang satu lagi kepada susunan yang lebih disukai. Dalam bendalir, orientasi tarikan adalah lebih dicenderungi dari segi tenaga dan ia sedikit melebihi orientasi penolakan. Jadi daya penarikan adalah lebih penting berbanding dengan daya penolakan.⁽¹³⁾

Dari teori-teori yang telah dikemukakan di atas, suatu soalan telah tertimbul iaitu konsep mana yang lebih sesuai untuk menerangkan proses pengangkutan di dalam sesuatu cecair.

Bila dinyatakan dalam bentuk logaritma, persamaan (2.3) menjadi

$$\log \eta = 0.4343 E/RT + \log A \quad (2.4)$$

Dengan memplotkan $\log \eta$ melawan $1/T$, nilai E dan A boleh diperolehi.

G. Berchiesi et al.^(14,15) telah menunjukkan bahawa berasaskan persamaan (2.4), plot $\log \eta$ melawan $1/T$ yang berbentuk linear telah diperolehi untuk asid margarik, asid pentadekanoik, asid tridekanoik, asid hendekanoik dan asid asetik serta asid-asid lemak C_9 sehingga C_{18} . Temampaknya suatu tenaga pengaktifan telah terlibat. Mereka telah menghubungkan konsep ikatan hidrogen antara molekul-molekul di dalam cecair asid lemak dengan pengaliran likat.

2.3 TUJUAN PROJEK PENYELIDIKAN

Dalam penyelidikan ini, kelikatan bagi beberapa ester metil asid lemak tepu ($C_6 - C_{18}$) akan ditentukan untuk suhu dari $10^\circ C$ sehingga $80^\circ C$. Tujuan utama penyelidikan ini ialah untuk membandingkan konsep yang mana, (a) atau (b) lebih sesuai untuk menerangkan kebendaliran bagi ester metil asid lemak tepu :

- (a) Di dalam konsep Hildebrand, kebendaliran cuma merupakan satu akibat dari proses penyesanan molekul-molekul dan bergantung kepada perkembangan relatif isipadu molar. Tidak ada tenaga pengaktifan yang terlibat.
- (b) Tenaga pengaktifan diperlukan oleh molekul untuk mengatasi halangan terutamanya dari daya penarikan antaramolekul sebelum pengaliran likat boleh berlaku.

Berdasarkan data eksperimen, persamaan separa empiris akan diterbitkan dari pengubahsuaian persamaan Hildebrand kepada persamaan yang berbentuk seperti persamaan (2.2) untuk mengira kebendaliran, ϕ bagi ester metil asid lemak tepu. Perbandingan antara hasil penyelidikan ini dengan keputusan Lau akan dilakukan untuk memerhatikan perbezaan kebendaliran di antara asid lemak tepu, ester metil serta ester etilnya.

3. EKSPERIMEN

3.1 BAHAN KIMIA

Air yang digunakan dalam penentukuran telah disulingkan sebanyak dua kali. Ester metil asid lemak tepu ($C_6 - C_{18}$) diperolehi dari Sigma Chemical Company dan digunakan terus tanpa penulenan selanjutnya. Ketulenan ester metil asid lemak tepu adalah lebih kurang 90%.

3.2 TATACARA

Penyukatan kelikatan dan ketumpatan bagi suhu 10 °C sehingga 25 °C dijalankan di dalam tangki berisi air. Alat pendingin digunakan untuk menyejukkan sistem. Bagi penyukatan pada suhu 30 °C sehingga 80 °C, minyak diguna untuk menggantikan air supaya penyejukan wap air dapat dielakkan. Bagi kedua-dua jenis tangki tersebut, termostat dan jangkassuhu dipasangkan ke tangki untuk mengawal suhu ± 0.1 °C.

Kelikatan sampel ditentukan melalui penyukatan masa efluks, t dengan menggunakan viskometer paras tergantung Ubbelohde. Kesemua penyukatan masa efluks telah dijalankan sebanyak dua kali. Peratus keselisihannya adalah kurang daripada 0.03%.

Ketumpatan sampel ditentukan dengan menggunakan piknometer yang diubahsuaikan.

Kedua-dua viskometer paras tergantung dan piknometer yang diubahsuaikan telah ditentukurkan dengan air suling yang mana kelikatan dan ketumpatannya pada sesuatu suhu telah diketahui.

4. DATA DAN PERKIRAAN

4.1 PERKIRAAN KELIKATAN, η DAN KEBENDALIRAN, ϕ

Perhubungan yang biasa bagi kelikatan sampel ⁽¹⁶⁾ ialah

$$\eta_1 = \frac{\rho_1 t_1}{\rho_2 t_2} \times \eta_2 \quad (4.1)$$

Simbol η_1 dan η_2 masing-masing ialah kelikatan sampel (iaitu ester metil asid lemak tepu) dan piawai (iaitu air tulen). ρ_1 dan ρ_2 masing-masing ialah ketumpatan ester metil asid lemak tepu dan air tulen. Simbol t_1 dan t_2 masing-masing ialah masa efluks untuk ester metil asid lemak tepu dan air tulen. Masa efluks t_2 diperolehi dari penentukuran (Lampiran 1) dan kelikatan air tulen, η_2 diperolehi daripada buku rujukan CRC⁽¹⁷⁾ (Lampiran 2).

Pada suhu tertentu, $\rho_1/\rho_2 = m_1/m_2$ (4.2)

Persamaan (4.1) menjadi

$$\eta_1 = \frac{m_1 t_1}{m_2 t_2} \eta_2 \quad (4.3)$$

Simbol m_1 dan m_2 masing-masing ialah jisim ester metil asid lemak tepu dan air tulen pada suhu tersebut. m_2 boleh diperolehi dari penentukuran (Lampiran 1) dan m_1 ditentukan secara eksperimen.

Kebendaliran, ϕ ialah salingan kelikatan, jadi ia ditulis sebagai

$$\phi = 1/\eta \quad (4.4)$$

Nilai η boleh dikira dari data eksperimen dan seterusnya ϕ boleh diperolehi.

4.2 PERKIRAAN KETUMPATAN ρ DAN ISIPADU MOLAR V

Ketumpatan untuk ester metil asid lemak tepu, ρ_1 dapat dikira dengan persamaan

$$\rho_1 = m_1/m_2 \times \rho_2 \quad (4.5)$$

Nilai ρ_2 boleh diperolehi dari Lampiran 3. Nilai ρ_1 yang ditentukan secara eksperimen digunakan untuk mengira isipadu molar, V bagi ester metil asid lemak tepu melalui hubungan

$$V = M/\rho_1 \quad (4.6)$$

Di sini, M ialah jisim molekul relatif untuk ester metil asid lemak tepu (Lampiran 4).

4.3 TENAGA PENGAKTIFAN, E

Persamaan (2.4) ialah

$$\log \eta = 0.4343 E/RT + \log A$$

Dengan menggantikan nilai R ke dalam persamaan (2.4), persamaan itu menjadi

$$\log \eta = \frac{E}{19.1448 T} + \log A \quad (4.7)$$

Jadi, E dapat dikira jikalau $\log \eta$ diplotkan melawan $1/T$.

4.4 DATA EKSPERIMEN

Segera nilai jisim, masa efluks, kelikatan, kebendaliran, ketumpatan, isipadu molar dan tenaga pengaktifan untuk ester metil asid lemak tepu ($C_6 - C_{18}$) dari suhu 10°C sehingga 80°C disenaraikan di dalam Jadual 4.1 hingga Jadual 4.8.

Jadual 4.1 : Kelikatan η , kebendaliran ϕ , ketumpatan ρ , serta isipadu molar V dari suhu 10–80 C untuk metil heksanoat

T/ C	m/g	t/s	η /cp	ϕ /cp ⁻¹	ρ /g cm ⁻³	V/cm ³ mol ⁻¹
10	7.91970	673.20	1.0672	0.94	0.8949	145.49
15	7.87762	624.00	0.9850	1.02	0.8901	146.26
20	7.83541	579.40	0.9115	1.10	0.8854	147.04
25	7.79512	541.40	0.8476	1.18	0.8808	147.80
30	7.75057	511.70	0.7957	1.26	0.8743	148.90
35	7.70740	479.95	0.7397	1.35	0.8708	149.50
40	7.66547	452.70	0.6938	1.44	0.8692	150.34
45	7.62496	427.70	0.6549	1.53	0.8614	151.13
50	7.58088	404.55	0.6143	1.63	0.8563	152.03
55	7.53981	383.70	0.5800	1.72	0.8517	152.86
60	7.49711	365.00	0.5480	1.82	0.8468	153.74
65	7.45314	347.55	0.5184	1.93	0.8418	154.65
70	7.40835	331.00	0.4924	2.03	0.8368	155.58
75	7.36446	316.05	0.4673	2.14	0.8318	156.51
80	7.31975	302.80	0.4462	2.24	0.8268	157.46

Jadual 4.2 : Kelikatan η , kebendaliran ϕ , ketumpatan ρ serta isipadu molar V dari suhu 10–80 °C untuk metil heptanoat

T/°C	m/g	t/s	η/cp	ϕ/cp^{-1}	$\rho/\text{g cm}^{-3}$	$V/\text{cm}^3 \text{ mol}^{-1}$
10	7.86788	846.00	1.3323	0.75	0.8890	162.23
15	7.82818	777.50	1.2196	0.82	0.8845	163.04
20	7.78758	719.20	1.1201	0.89	0.8800	163.89
25	7.74767	664.30	1.0337	0.97	0.8754	164.73
30	7.70709	619.80	0.9584	1.04	0.8708	165.61
35	7.66949	580.70	0.8906	1.12	0.8665	166.43
40	7.62974	542.70	0.8279	1.21	0.8620	167.30
45	7.59050	510.60	0.7783	1.28	0.8575	168.17
50	7.5480	475.95	0.7196	1.39	0.8526	169.14
55	7.50829	449.30	0.6763	1.48	0.8481	170.04
60	7.46790	430.60	0.6440	1.55	0.8435	170.97
65	7.42720	410.80	0.6106	1.64	0.8389	171.91
70	7.38279	387.65	0.57474	1.74	0.8339	172.94
75	7.34165	368.90	0.5437	1.84	0.8292	173.91
80	7.29910	350.90	0.5156	1.94	0.8244	174.92

Jadual 4.3 : Kelikatan η , kebendaliran ϕ , ketumpatan ρ serta isipadu molar V dari suhu 10–80 °C untuk metil oktanoat

T/°C	m/g	t/s	η /cp	ϕ /cp ⁻¹	ρ /g cm ⁻³	V /cm ³ mol ⁻¹
10	7.83944	1110.30	1.7422	0.58	0.8858	178.65
15	7.80141	999.00	1.5618	0.64	0.8815	179.52
20	7.76241	920.25	1.4343	0.70	0.8771	180.41
25	7.72173	827.50	1.2834	0.78	0.8725	181.36
30	7.68255	770.15	1.1870	0.84	0.8680	182.30
35	7.64514	712.80	1.0897	0.92	0.8638	183.20
40	7.60656	661.00	1.0053	0.99	0.8594	184.14
45	7.56835	618.00	0.9393	1.06	0.8550	185.07
50	7.53064	579.90	0.8747	1.14	0.8506	186.02
55	7.49087	544.45	0.8176	1.22	0.8461	187.02
60	7.45171	512.60	0.7650	1.31	0.8417	188.00
65	7.41382	484.90	0.7195	1.39	0.8374	188.97
70	7.37257	458.10	0.6782	1.47	0.8328	190.02
75	7.33319	434.15	0.6392	1.56	0.8283	191.05
80	7.29073	412.40	0.6052	1.65	0.8235	192.16

Jadual 4.4 : Kelikatan η , kebendaliran ϕ , ketumpatan ρ serta isipadu molar V dari suhu 10–80 °C untuk metil dekanat

T/°C	m/g	t/s	η /cp	ϕ /cp ⁻¹	ρ /g cm ⁻³	V/cm ³ mol ⁻¹
10	7.79312	1699.00	2.6502	0.38	0.8806	211.57
15	7.75575	1516.00	2.3561	0.42	0.8763	212.58
20	7.72021	1362.50	2.1120	0.47	0.8724	213.55
25	7.68317	1235.60	1.9067	0.52	0.8682	214.59
30	7.64773	1128.60	1.7316	0.58	0.8641	215.59
35	7.61079	1035.20	1.5755	0.63	0.8599	216.65
40	7.57521	952.65	1.4429	0.69	0.8558	217.68
45	7.53873	881.25	1.3341	0.75	0.8517	218.74
50	7.50315	818.90	1.2307	0.81	0.8475	219.81
55	7.46557	762.30	1.1408	0.88	0.8433	220.92
60	7.42990	712.60	1.0603	0.94	0.8392	221.98
65	7.39423	668.40	0.9891	1.01	0.8352	223.06
70	7.35587	626.40	0.9253	1.08	0.8309	224.22
75	7.31906	591.80	0.8696	1.15	0.8267	225.35
80	7.27963	557.00	0.8162	1.22	0.8222	226.57

Jadual 4.5: Kelikatan η , kebendaliran ϕ , ketumpatan ρ serta isipadu molar V dari suhu 10–80 °C untuk metil dodekanoat

T/°C	m/g	t/s	η /cp	ϕ /cp ⁻¹	ρ /g cm ⁻³	V/cm ³ mol ⁻¹
10	7.76376	2626.80	4.0821	0.24	0.8772	244.35
15	7.72768	2308.00	3.5740	0.28	0.8732	245.49
20	7.69127	2041.00	3.1519	0.32	0.8691	246.64
25	7.65420	1814.50	2.7895	0.36	0.8649	247.84
30	7.62117	1629.00	2.4907	0.40	0.8611	248.92
35	7.58482	1479.30	2.2437	0.44	0.8570	250.13
40	7.55254	1347.30	2.0346	0.49	0.8533	251.21
45	7.51873	1233.50	1.8624	0.54	0.8494	252.35
50	7.48270	1135.80	1.7023	0.59	0.8452	253.60
55	7.44798	1047.50	1.5640	0.64	0.8413	254.79
60	7.41472	972.30	1.4438	0.69	0.8375	255.94
65	7.37936	906.00	1.3380	0.75	0.8335	257.17
70	7.34410	844.50	1.2455	0.80	0.8295	258.46
75	7.30753	789.40	1.1581	0.86	0.8254	259.70
80	7.72067	739.80	1.0827	0.92	0.8212	261.01

Jadual 4.6 : Kelikatan η , kebendaliran ϕ , ketumpatan ρ serta isipadu molar V dari suhu 20-80 °C untuk metil tetradekanoat

T/°C	m/g	t/s	η /cp	ϕ /cp ⁻¹	ρ /g cm ⁻³	V/cm ³ mol ⁻¹
20	7.67330	2894.40	4.4594	0.22	0.8671	279.57
25	7.59085	2561.20	3.9049	0.26	0.8577	282.61
30	7.55658	2289.10	3.4704	0.29	0.8538	283.90
35	7.52396	2030.40	3.0548	0.33	0.8501	285.15
40	7.49106	1829.70	2.7405	0.36	0.8463	286.42
45	7.45703	1660.25	2.4862	0.40	0.8425	287.74
50	7.42432	1517.60	2.2567	0.44	0.8386	289.05
55	7.39102	1390.25	2.0598	0.48	0.8349	290.35
60	7.35900	1280.60	1.8873	0.53	0.8312	291.63
65	7.32602	1183.65	1.7354	0.58	0.8275	292.94
70	7.28959	1099.30	1.6093	0.62	0.8234	294.41
75	7.26471	1023.25	1.4924	0.67	0.8206	295.42
80	7.22128	955.50	1.3889	0.72	0.8156	297.19

Jadual 4.7 : Kelikatan η , kebendaliran ϕ , ketumpatan ρ serta isipadu molar V dari suhu 40-80 °C untuk metil oktadekanoat

T/°C	m/g	t/s	η /cp	ϕ /cp ⁻¹	ρ /g cm ⁻³	V /cm ³ mol ⁻¹
40	7.52455	3407.40	5.1264	0.29	0.8501	351.15
45	7.49162	2999.40	4.5124	0.22	0.8464	352.70
50	7.46137	2688.70	4.0182	0.25	0.8428	354.18
55	7.42685	2406.60	3.5830	0.28	0.8389	355.84
60	7.40397	2228.10	3.3037	0.30	0.8363	356.94
65	7.36265	2006.60	2.9568	0.34	0.8316	358.96
70	7.33025	1833.80	2.6995	0.37	0.8280	360.54
75	7.29851	1681.20	2.4634	0.40	0.8244	362.11
80	7.26521	1544.20	2.2583	0.44	0.8206	363.77

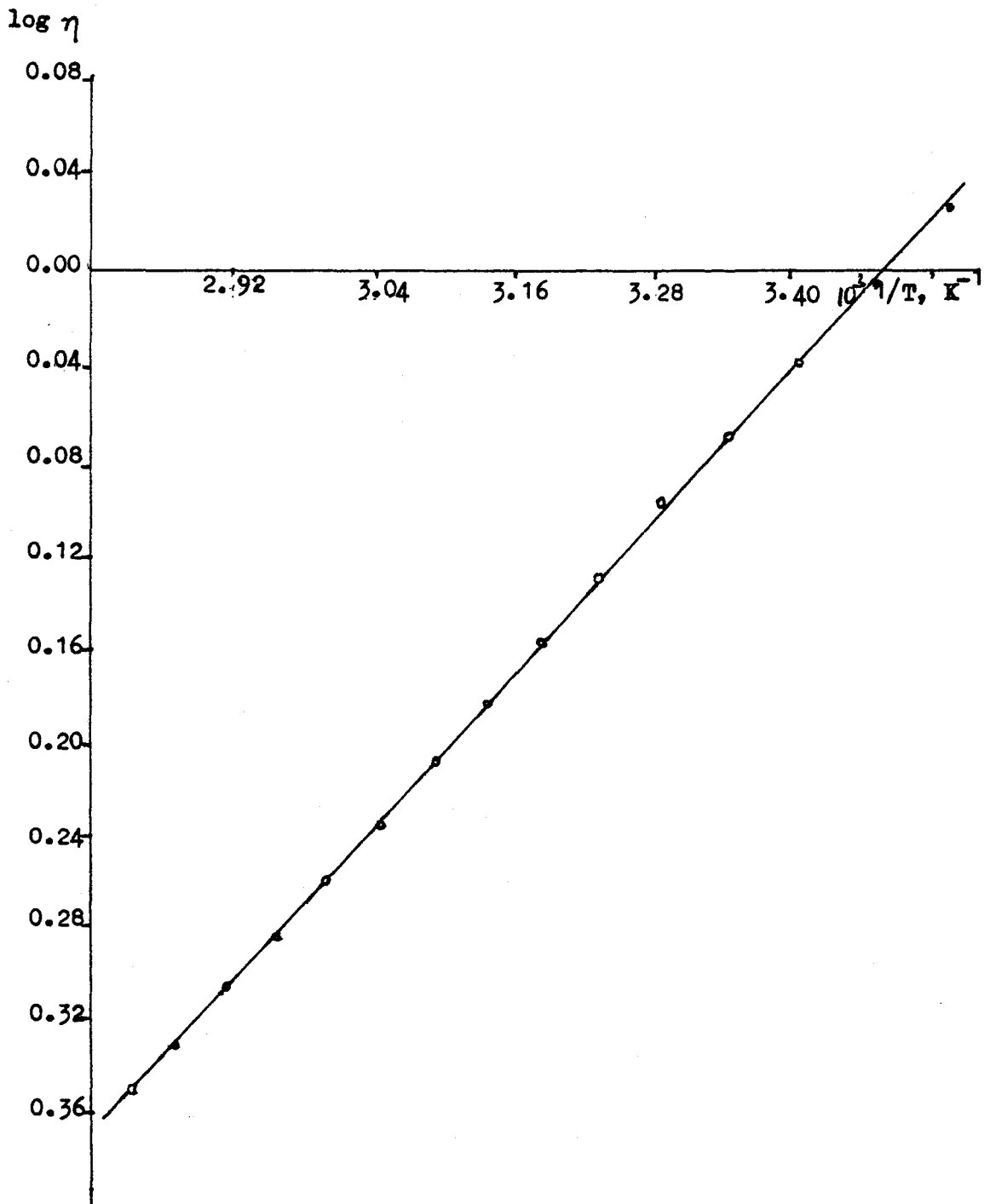
Jadual 4.8 : $\log \eta$ dan $1/T$ untuk ester metil asid lemak tepu.

$1/T$ 10^{-3} K^{-1}	$\log \eta$ pada bilangan karbon di dalam rantai, n						
	6	7	8	10	12	14	18
3.53	0.028	0.125	0.241	0.423	0.611		
3.47	-0.006	0.086	0.194	0.372	0.553		
3.41	-0.040	0.051	0.157	0.324	0.498	0.649	
3.36	-0.072	0.014	0.084	0.280	0.446	0.592	
3.30	-0.099	-0.018	0.070	0.238	0.396	0.540	
3.25	-0.131	-0.050	0.026	0.197	0.351	0.485	
3.19	-0.159	-0.082	0.002	0.159	0.308	0.438	0.710
3.14	-0.184	-0.109	-0.027	0.125	0.270	0.396	0.654
3.10	-0.212	-0.143	-0.058	0.090	0.231	0.353	0.604
3.05	-0.237	-0.170	-0.087	0.057	0.194	0.314	0.554
3.00	-0.261	-0.191	-0.116	-0.025	0.160	0.276	0.519
2.96	-0.285	-0.214	-0.143	-0.005	0.126	0.239	0.470
2.92	-0.308	-0.240	-0.169	-0.034	0.095	0.207	0.431
2.87	-0.330	-0.265	-0.194	-0.061	0.064	0.174	0.392
2.83	-0.350	-0.288	-0.218	-0.088	0.034	0.143	0.354

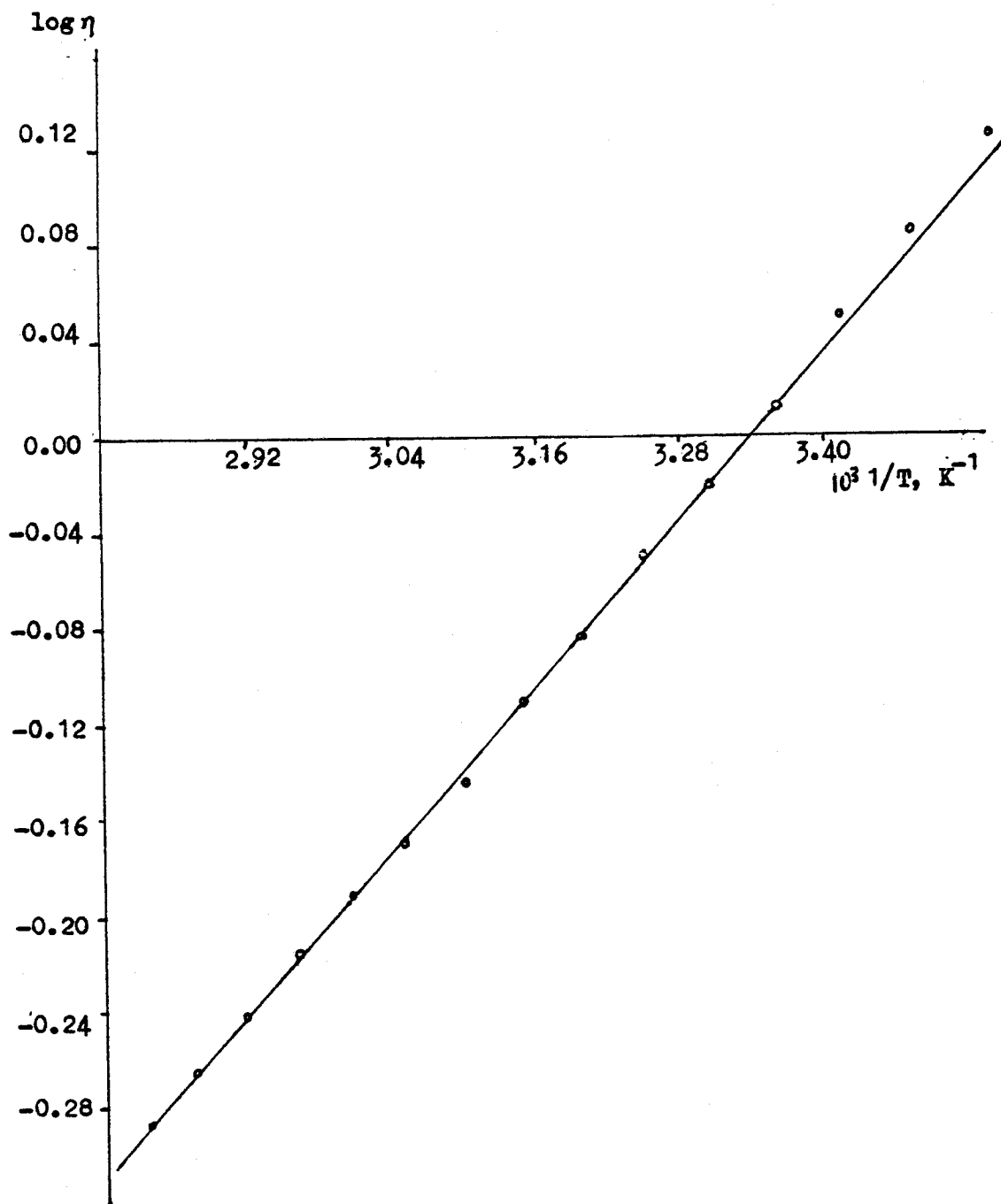
5. KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Kelikatan dan ketumpatan ester metil asid lemak tepu ($C_6 - C_{18}$) telah ditentukan dari suhu $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dengan membandingkan nilai ketumpatan eksperimen dengan nilai literatur^(4,5), didapati bahawa selisih purata bagi ketumpatan adalah $\pm 0.001\text{ g cm}^{-3}$. Bagi kelikatan pula, selisih purata adalah $\pm 0.2\text{ cp}$. Oleh sebab masa efluks yang banyak mempengaruhi kejituan nilai kelikatan telah diukur secara berulang dan didapati bahawa selisihnya kurang daripada 0.03% , maka boleh dikatakan bahawa keselisihan yang wujud bagi nilai kelikatan bukanlah akibat dari ralat peribadi. Lagipun, viskometer paras tergantung Ubbelohde yang digunakan untuk menyukat masa efluks telah dicuci dengan teliti dengan asid kromik sulfurik pekat diikuti dengan air suling yang panas dan alkohol, kemudian dibiarkan kering sebanyak satu hari. Boleh dikatakan bahawa tidak ada bendasing yang mengganggu kebendaliran sampel semasa masa efluks bagi sampel disukat. Dengan memandangkan selisih yang agak kecil bagi nilai ketumpatan, iaitu $\pm 0.001\text{ g cm}^{-3}$, boleh disimpulkan bahawa sampel yang digunakan itu mempunyai ketulenan yang tinggi (lebih daripada 90%). Jadi ralat yang menyumbang kepada keselisihan nilai kelikatan ialah kesulitan eksperimen dan viskometer yang digunakan.

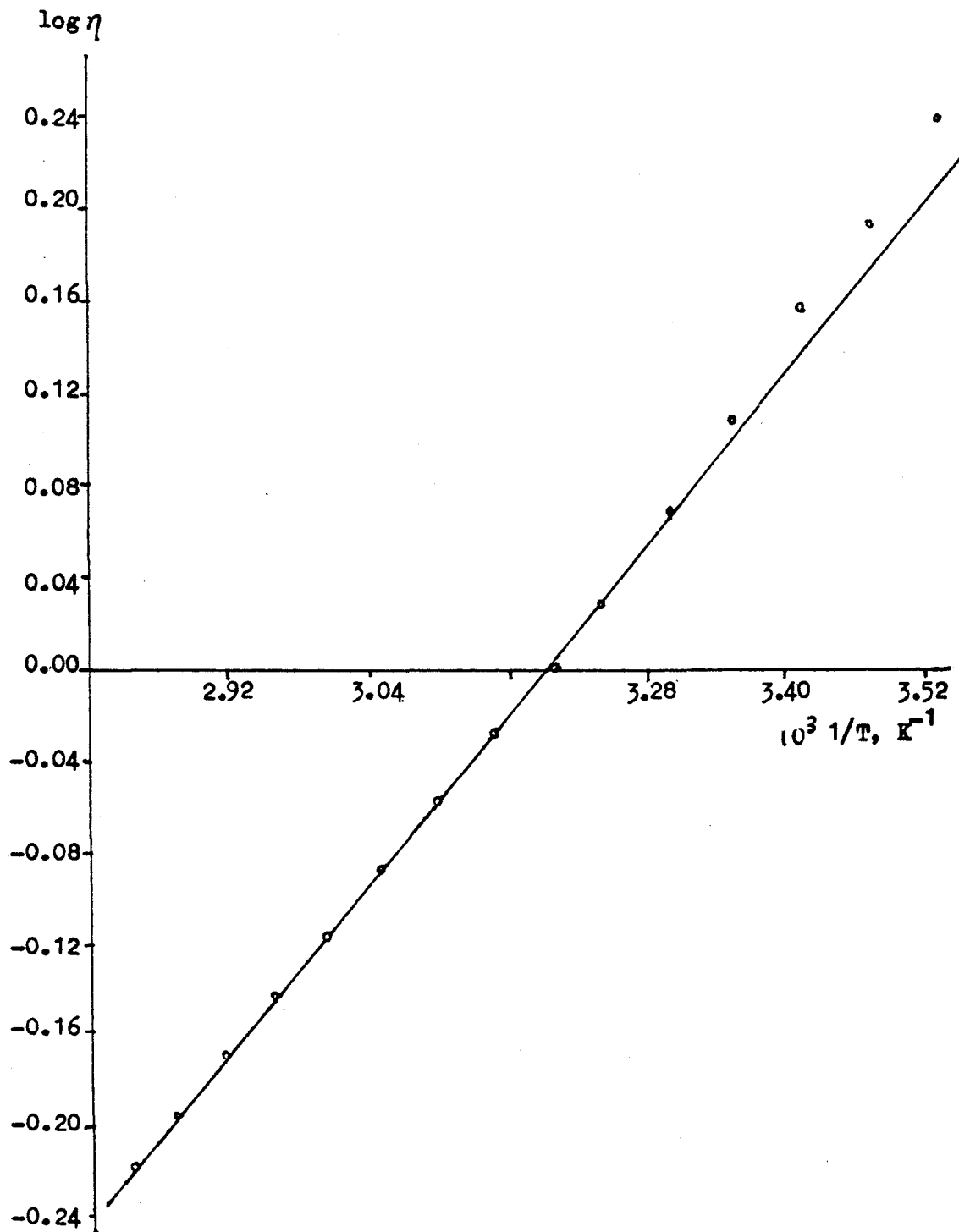
Dengan berasaskan sifat kelikatan cecair yang bergantung kepada darjah pengembangan dan suhu, graf-graf kelikatan sebagai fungsi kepada isipadu molar, bilangan atom karbon di dalam rantai dan suhu telah diplotkan (Rajah 5.1 hingga Rajah 5.15) dengan menggunakan data-data dari Jadual 4.1 hingga Jadual 4.8.



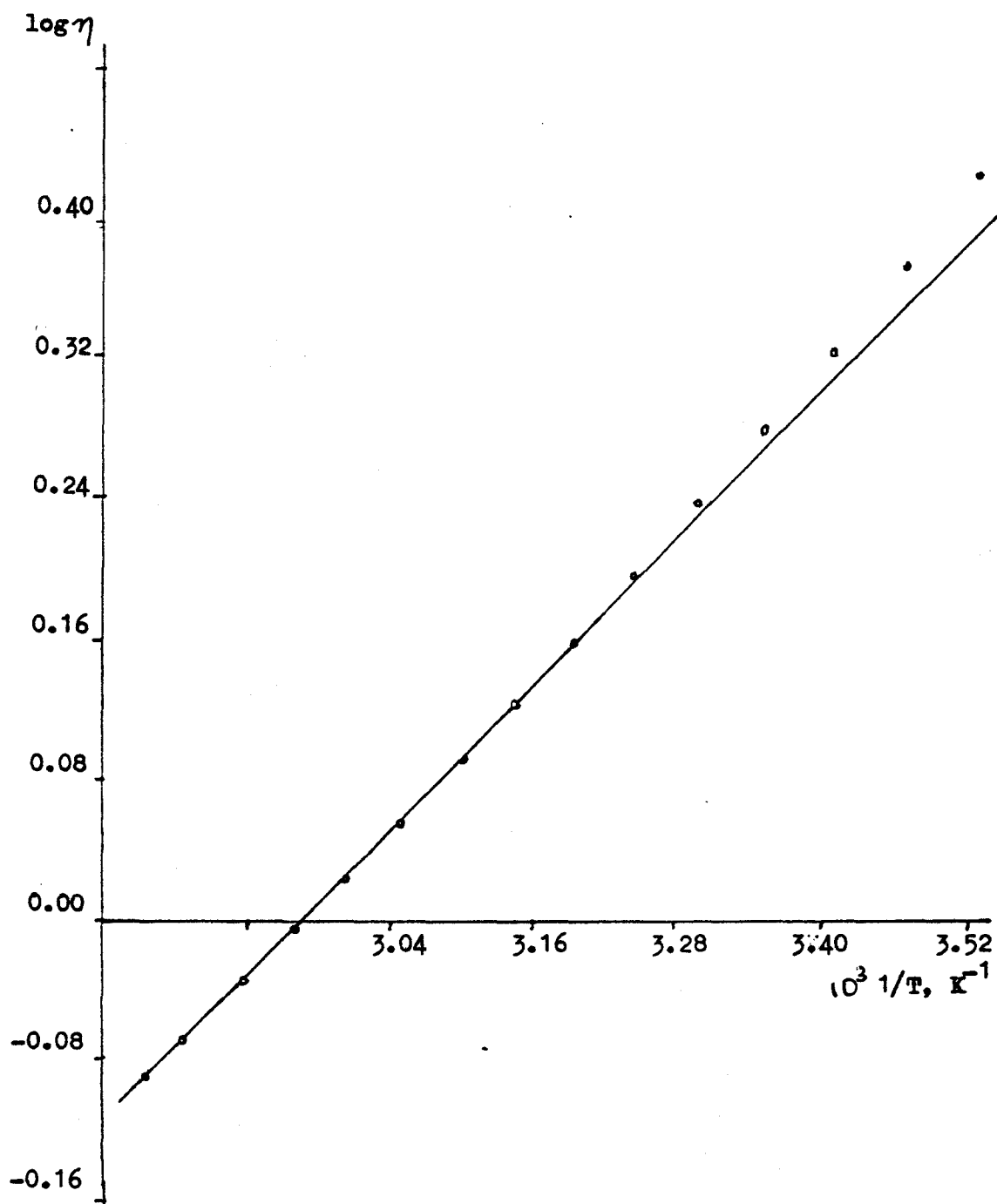
Rajah 5.1 Plot $\log \eta$ melawan $1/T$ bagi metil heksanoat.



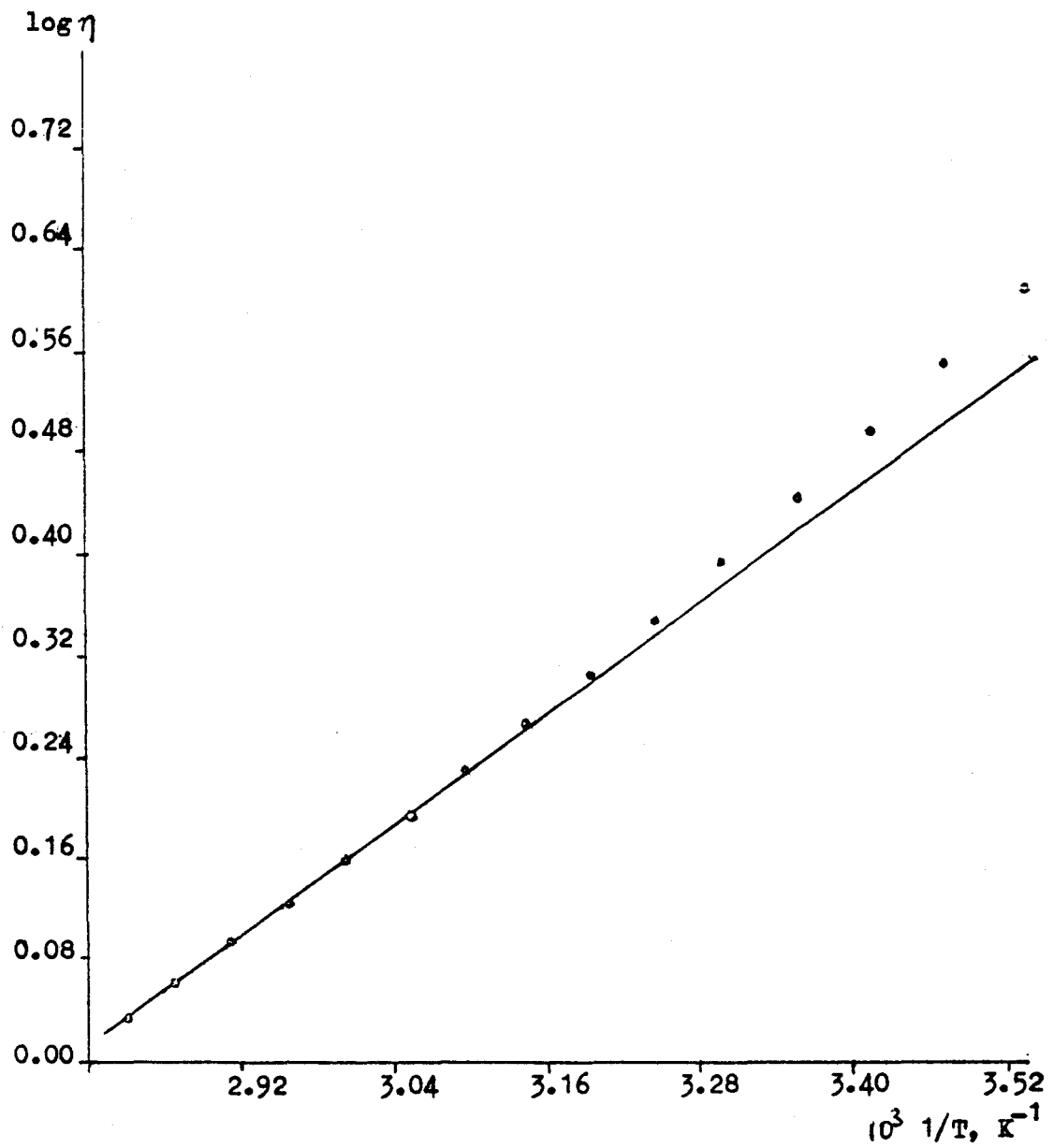
Rajah 5.2. Plot $\log \eta$ melawan $1/T$ bagi metil heptanoat.



Rajah 5.3. Plot $\log \eta$ melawan $1/T$ bagi metil oktanoat.



Rajah 5.4 Plot $\log \eta$ melawan $1/T$ bagi metil dekanat.



Rajah 5.5 Plot $\log \eta$ melawan $1/T$ bagi metil dodekanoat.