



## PROSIDING

### SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA III

"Teori dan Aplikasi Sains dalam Isu Globalisasi Lingkungan, Profesionalisasi Pembelajaran dan Kewirausahaan"

Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS

Surakarta, 7 Mei 2011



MAKALAH PENDAMPING

BIOKIMIA  
(Kode : F-05)

ISBN : 978-979-1533-85-0

## TERMAL OKSIDASI ASAM LEMAK TAK JENUH DENGAN SISTEM EKALAPISAN

Muhammad Ali

Jurusan Kimia Fakultas MIPA, Universitas Padjadjaran, Bandung, Indonesia

Telp : 08122115204 email : [ali\\_chem30@yahoo.com](mailto:ali_chem30@yahoo.com)

### Abstrak

Oksidasi lemak telah menjadi subjek penelitian yang insentif pada beberapa tahun belakangan ini. Maksud daripada laporan ini adalah menjelaskan oksidasi termal daripada asam lemak tak jenuh yang terserap secara ekalapisan. Pada penelitian ini, oksidasi (autooksidasi) asam linoleat dan asam oleat masing-masing yang diserap pada gel silika secara ekalapisan dijalankan pada suhu 60 °C sampai 100 °C. Lebih lanjut campuran asam-asam lemak tersebut diautooksidasi pada suhu 80 °C. Laju oksidasi daripada asam linoleat didapati paling sedikitnya 11 X (sebelas kali) lipat dibanding asam oleat. Didapatkan juga bila suhu naik, laju oksidasi daripada masing-masing asam tersebut naik dengan jelas. Periode induksi untuk oksidasi asam oleat lebih pendek bila suhu naik. Akan tetapi pada oksidasi asam linoleat periode induksi tidak dapat terdeteksi bila suhu naik.

**Kata Kunci :** *system ekalapisan, autooksidasi, asam-asam lemak.*

### PENDAHULUAN

Pengautoksidasian lemak dan minyak makanan merupakan satu proses yang kompleks dan masih tidak dapat dipahami dengan sepenuhnya. Sejak beberapa dekade yang dulu, penyelidikan mengenai mekanisme, kinetik, hasil pengoksidasian, katalisis dijalankan oleh pakar di seluruh dunia, kini penyelidikan ini masih diteruskan lagi dengan menggunakan alat-alat moderen seperti spektrometri masa (MS) dan penggabungannya dengan kromatografi gas (GC-MS), kromatografi lapisan tipis (TLC), kromatografi cair tekanan tinggi (HPLC), resonans spin elektron (ESR), spektrometri infra merah (IR) dan lain-lain lagi.

Pengautoksidasian minyak makanan dan lemak akan menyebabkan kemerosotan mutu minyak seperti berbau busuk dan kadang kala bertoksik. Ini menyebabkan masalah teknikal yang besar dalam industri makanan.

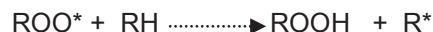
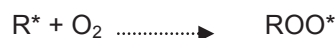
Kemerosotan mutu adalah disebabkan oleh reaksi kimia ke atas asam lemak yang terdapat dalam minyak makanan dan lemak.

Urutan kejadian daripada oksidasi lemak dan minyak itu dapat diringkaskan seperti berikut :

Permulaan :



Perambatan :



Pengakhiran



Molekul tidak reaktif

Kajian ini bertujuan menyelidiki kesan suhu terhadap laju pengoksidasian bagi asam oleat dan asam linoleat.

Asam oleat dan asam linoleat adalah asam lemak yang tak jenuh dan merupakan komponen-komponen yang sangat penting dalam minyak atau lemak. Dalam kajian ini, gel silika bertindak

sebagai zat penyerap bagiasam lemak tak jenuh yang digunakan. Asam lemak tak jenuh diserapkan ke atas permukaan gel silika dan berlakunya proses pengoksidasian dengan gas oksigen yang murni. Selain itu, masa induksi bagi pengoksidasian asam lemak juga diperhatikan.

## **METODE PENELITIAN**

### **Bahan – Bahan**

- a) Asam oleat 99%, asam linoleat 99% Aldrich Chem. Co., Milw
- b) Gel silica, 6-22 mesh B.S.S., Hopkin & William Ltd., Chadwell Heath Essex England
- c) Heksana 98% (A.R.), Farmitalia Carlo Erba, Milano.

### **Penyediaan Sampel dan Proses Oksidasi**

Pengoksidasian monolapisan asam oleat di atas permukaan gel silika akan dikaji. Dalam eksperimen ini, anggapan telah dibuat yaitu molekul asam oleat berposisi menebal di atas permukaan gel silika. Luas permukaan spesifik gel silika yang digunakan ialah  $215.4 \text{ m}^2/\text{g}$ . Jadi 0.006g asam oleat diperlukan untuk membentuk monolapisan di atas gel silika.

Pipetkan 2.3ml asam oleat dengan kemurniaan 99% ke dalam tempat volumetrik, 50ml. Cairkan hingga ke tanda batas dengan heksana 98%. Goncangkan supaya asam oleat itu larut dengan homogen. Masukkan 1.5ml asam oleat yang telah dicairkan itu ke dalam tempat sampel yang mengandung 1g gel silika yang aktif dan tutupkan tempat secepat mungkin. Goncangkan supaya penyerapan dilakukan dengan rata di atas gel silika selama 1 jam. Akhirnya sampel itu dikeringkan dengan sepenuhnya melalui pompa vakum tinggi (Edwards, Model ED-50). Selanjutnya oksidasi dilakukan pada suhu  $60^\circ\text{C}$ ,  $70^\circ\text{C}$ ,  $80^\circ\text{C}$ ,  $90^\circ\text{C}$  untuk masing-masing asam dan campuran.

Pengoksidasian campuran asam lemak yaitu asam oleat dan asam linoleat pada suhu

$80^\circ\text{C}$  juga dikaji. Dalam eksperimen ini, asam oleat yang mengandung 2.5%, 5%, 10%, 20%, 30%, dan 60% asam linoleat diserapkan secara monolapisan di atas permukaan gel silika. Untuk menyediakan asam oleat yang mengandung berbagai asam linoleat. (Lihat tabel 1.1).

Setiap campuran asam, lemak dicairkan hingga tanda dalam tempat volumetrik 25ml dengan heksana. Masukkan 1.5ml campuran asam lemak itu ke dalam tempat sampel yang mengandung 1g gel silika. Selepas penggoncangan dan pengeringan sampel, sampel bersedia untuk dioksidasikan.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Cara-cara Untuk Menentukan Laju Pengoksidasian**

Laju pengoksidasian asam lemak tak jenuh dapat ditentukan dengan beberapa cara. Nawar dan Hau menentukan laju pengoksidasian etil linoleat dengan mengekstrak balik etil linoleat yang terserap pada permukaan gel silika selepas dioksidasi. Hasil ekstrakan itu dianalisis melalui GLC dan jumlah substrat yang tidak dioksidasikan dapat dihitung. Oleh karena itu laju pengoksidasian bagi etil linoleat dapat diikuti dengan menentukan jumlah substrat yang dioksidasi. Sebaliknya Wu dan Stein menentukan laju pengoksidasian beberapa asam lemak tak jenuh daripada plot persen substrat yang tidak dioksidasikan terhadap masa. Selain itu, Campbell menentukan laju pengoksidasian dengan mengukur jumlah oksigen yang diambil oleh asam lemak tak jenuh.

Dalam kajian ini, laju pengoksidasian ditentukan dengan mengukur jumlah oksigen yang digunakan oleh asam lemak tak jenuh. Dalam kajian ini, anggapan telah dibuat, yaitu oksigen yang diambil oleh asam lemak, digunakan sepenuhnya dalam pengoksidasian. Maka laju pengambilan oksigen merupakan laju

pengoksidasian asam lemak tak jenuh. Jumlah volum oksigen (ml pada tekanan atmosfera) yang digunakan pada setiap masa dapat dihitung melalui persamaan :

### Pengoksidasian Asam Linoleat

Dalam kajian ini pengautoksidasian asam linoleat yang terserap secara monolapisan telah dilakukan pada suhu 60°C, 70°C, 80°C dan 90°C. Hasil adalah seperti pada gambar 1.1. Daripada gambar itu, dapat diperhatikan bentuk kelok pengambilan gas oksigen oleh molekul-molekul asam linoleat adalah hampir sama yaitu laju pengambilan oksigen pada awal reaksi adalah hampir sama yaitu pengambilan oksigen pada awal reaksi adalah cepat terutamanya 2 jam selepas eksperimen dimulai, dan diikuti dengan pengambilan oksigen yang perlahan. Kelok itu agak selari pada akhir percobaan,.

Dalam mekanisme pengautoksidasian asam lemak tak jenuh, begitu radikal bebas terbentuk, ia akan bertindak cepat dengan molekul oksigen untuk membentuk hidroperoksida dan peroksida. Bolland dan Gee mendapati seratus hidroperoksida dibentuk dari pada satu radikal awal sebelum langkah pengakhiran wujud. Ini dapat dibuktikan daripadar gambar 1.1. yaitu pengambilan oksigen yang tinggi oleh asam linoleat pada awal percobaan. Maka langkah perambatan bagi pengautoksidasian asam linoleat wujud pada awal percobaan



Telah dinyatakan suhu mempengaruhi laju pengoksidasian. Dari Gambar 1.1. jumlah volum oksigen yang digunakan untuk melakukan pengoksidasian adalah besar pada suhu rekasi yang tinggi. Ini menunjukkan laju pengoksidasian dipertingkatkan apabila suhu bertambah. Apabila suhu bertambah, molekul-molekul bahan rekasi akan memperoleh tenaga yang lebih, dan tenaga kinetik juga bertambah. Ini menyebabkan lebih

banyak tumbukan molekul akan berlaku. Dengan pertambahan molekul-molekul yang mempunyai tenaga yang lebih tinggi daripada tenaga pengaktifan reaksi, laju pengoksidasian akan dipercepat.

Pengoksidasian asam lemak tak jenuh dapat dikaitkan dengan mekanisme Rideal-Eley yaitu laju reaksi bergantung kepada bilangan molekul asam lemak yang terserap pada permukaan gel silika dan tekanan gas oksigen yang digunakan. Di mana,  $Laju = k (RH) P_{O_2}$ ,  $k =$  Konstanta laju pada suhu berkenaan,  $(RH) =$  bilangan molekul asam lemak yang terserap pada gel silika sebelum dioksidasikan,  $P_{O_2} =$  tekanan gas oksigen.

Persamaan itu digunakan dalam kajian ini dengan menganggap (i) laju rekasi dapat ditentukan dengan sempurna, (ii) molekul-molekul asam lemak tak jenuh yng terserap pada gel silika tidak habis digunakan untuk melakukan pengoksidasian primer. Yaitu bilangan mol oksigen yang digunakan perbilangan mol asam lemak adalah kurang daripada satu.

Dengan anggapan diatas, mekanisme Rideal-Eley dapat digunakan pada pengoksidasian asam linoleat. Laju reaksi pada setiap masa dapat diperoleh dengan mengambil kemiringan kelok volum oksigen yang digunakan terhadap masa pada masa yang berkenaan. Dengan memplotkan laju reaksi, hasil adalah seperti gambar 1.2.

Mekanisme Rideal-Eley tidak dapat digunakan bagi pengoksidasian asam linoleat pada suhu 90°C disebabkan semua molekul asam linoleat digunakan sepenuhnya dalam pengoksidasian primer pada awal percobaan yaitu bilangan mol oksigen yang digunakan telah melebihi mol asam linoleat. Dari gambar 1.2 konstanta laju  $k$  pada setiap suhu percobaan dapat diperoleh dengan menentukan

kemiringannya. Hasilnya adalah seperti pada Tabel 1.1.

Melalui persamaan Arrhenius dan memplotkan  $\ln k$  terhadap  $1/T$  maka  $E_a$  dapat ditentukan yaitu 58.3 kJ/mol (gambar 1.3).

Pengautoksidasi merupakan reaksi kimia yang mempunyai  $E_a$  yang rendah 16-21 kJmol<sup>-1</sup> pada tingkat awal dan 25-29kJmol<sup>-1</sup> bagi tingkat kedua<sup>36</sup>. Maka dengan membandingkan nilai itu,  $E_a$  bagi percobaan ini adalah didapati pada tingkat kedua pengautoksidasi.

Daripada nilai konstanta laju, dengan jelasnya laju reaksi meningkat apabila suhu reaksi bertambah. Diperhatikan juga, pertambahan suhu sebanyak 10°C akan menyebabkan pertambahan laju reaksi hampir dua kali lipat.

### **Pengoksidasi Asam Oleat**

Daripada Gambar 1.4., dengan jelas kelihatan bahwa jumlah pengambilan oksigen oleh asam oleat adalah rendah jika dibandingkan dengan asam linoleat. Walaupun pengoksidasi asam oleat dilakukan pada suhu tinggi (100°C), jumlah volum oksigen yang digunakan hanya 1.65ml selepas 12 jam percobaan dijalankan. Manakala pada masa yang sama 2.23ml volum oksigen digunakan oleh asam linoleat pada suhu 60°C. Perbezaan ini sangat bererti dan membuktikan laju pengoksidasi asam lemak tak jenuh meningkat apabila tingkat ketakjenuhan bertambah.

Dalam pengoksidasi asam oleat, masa induksi dapat diperhatikan dengan jelas jika dibandingkan dengan asam linoleat. Laju pengoksidasi asam oleat adalah tinggi jika suhu reaksi 100°C, dibanding dengan suhu reaksi 70°C. Pada suhu 70°C laju pengambilan oksigen adalah rendah walaupun percobaan telah dijalankan selama 10 jam. Laju pengambilan oksigen yang lambat oleh asam oleat, menyebabkan kelok volum oksigen yang

digunakan adalah hampir linear dan laju reaksi menjadi hampir tetap pada setiap masa percobaan dilakukan. Maka mekanisme Rideal - Eley tidak dapat digunakan dalam pengoksidasi asam oleat.

Dengan membandingkan jumlah oksigen yang digunakan oleh asam oleat dan asam linoleat, pada masa dan suhu yang tertentu, didapati setelah 10 jam percobaan dilakukan, jumlah oksigen digunakan oleh asam linoleat sekurang-kurangnya 11 kali lebih banyak daripada asam oleat. maka dapat disimpulkan bahwa laju pengoksidasi asam linoleat lebih cepat daripada asam oleat sekurang-kurangnya 11 kali.

### **Pengoksidasi Campuran Asam Lemak tak Jenuh**

Pengoksidasi campuran asam lemak tak jenuh juga telah dikaji. Asam oleat yang mengandungi 2.5%, 5%, 10%, 20%, 30% dan 60% asam linoleat diserapkan secara monolapisan di atas permukaan gel silika dan dilakukan pengautoksidasi pada suhu 80°C. Telah dinyatakan asam oleat mempunyai laju pengoksidasi yang lebih perlahan walaupun pada suhu yang tinggi jika dibandingkan dengan asam linoleat.

Dengan jelas sekali, apabila volum asam linoleat yang ditambah kepada asam oleat meningkat, laju pengambilan oksigen akan meningkat. Campuran asam lemak tak jenuh yang mengandungi 60% asam linoleat akan mengambil gas oksigen sebanyak 2.95ml selepas 4 jam percobaan dimulai, manakala pengambilan gas oksigen hanya sebanyak 0.19 ml oleh campuran asam lemak tak jenuh yang mengandungi 2.5% asam linoleat. Laju pengambilan oksigen adalah rendah apabila persen asam linoleat yang ditambahkan adalah rendah. Daripada gambar 1.5. adalah jelas persen asam linoleat juga

mempengaruhi masa induksi. Pengoksidasian campuran asam lemak tak jenuh yang mengandung 2.5% asam linoleat mempunyai masa induksi yang panjang dan jelas. Peningkatan persen asam linoleat dalam campuran asam lemak tak jenuh mengandung 20%, 30%, dan 60% asam linoleat akan mengurangi masa induksi. Bentuk kelok pengambilan oksigen akan serupa dengan kelok pengautoksidasian asam oleat murni apabila persen asam linoleat adalah rendah. Pertambahan persen asam linoleat pada campuran asam lemak tak jenuh menyebabkan kelok adalah serupa dengan kelok pengautoksidasian asam linoleat murni.

Mekanisme Rideal-Eley dapat menerangkan proses pengautoksidasian campuran asam lemak tak jenuh. Laju reaksi bagi proses pengoksidasian pada setiap masa dapat ditentukan dengan mengambil nilai kemiringan kelok volum oksigen yang digunakan pada masa tersebut. Dengan memplotkan laju reaksi terhadap bahan reaksi, garis linear didapati seperti ditunjukkan pada gambar 1.6. Laju reaksi bagi pengoksidasian asam oleat yang mengandung 2.5% dan 5% asam linoleat tidak dapat ditentukan dengan sempurna. Ini disebabkan laju pengambilan oksigen adalah perlahan.

Konstanta laju bagi setiap asam oleat yang mengandung persen asam linoleat yang berlainan dapat diperoleh daripada kemiringan plot laju terhadap  $(RH)Po_2$  pada suhu  $80^\circ C$ . Dan hasil adalah seperti pada tabel 1.2.

Konstanta laju bertambah apabila persen asam linoleat bertambah seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.7. Asam linoleat mempunyai laju pengoksidasian sekurang-kurangnya 11 kali lebih cepat dibanding dengan asam oleat pada suhu reaksi yang sama tetapi laju pengoksidasian relatif ini mungkin berbeda pada campuran asam

linoleat dan asam oleat. ini disebabkan radikal bebas yang dalam pengoksidasian terhadap satu molekul asam lemak tak jenuh, mungkin memulai dan mengakhiri reaksi pengoksidasian yang lain. Perbedaan yang besar bagi pengambilan oksigen di antara asam linoleat dan asam oleat, menunjukkan kesan sinergistik di antara ikatan olefin yang terpisah dengan satu kumpulan metilena.

### **Masa Induksi Bagi Pengoksidasian Asam Lemak Tak Jenuh**

Dalam kajian pengautoksidasian, dengan mengukur jumlah oksigen yang terserap atau menentukan nilai peroksida yang didapati, telah didapati kelok pengoksidasian mempunyai 2 fasa yang jelas. Pada fasa awal, proses pengoksidasian yang berlangsung adalah lambat secara relatifnya karena laju pengambilan oksigen adalah rendah. Kemudian reaksi akan masuk ke fasa kedua, di mana laju pengambilan oksigen bertambah dengan cepat dan lajunya lebih cepat beberapa kali dibandingkan dengan laju pada fasa awal. Titik dimana sampel mulai hilang rasa atau berbau busuk berlaku pada bagian awal fasa kedua itu. Peringkat awal dimana pengoksidasian adalah lambat secara relatif dikenal sebagai masa induksi. Jadi masa induksi memainkan peranan yang penting dalam pemrosesan minyak makanan. Masa induksi adalah disebabkan oleh katalisis hasil atau katalisis auto yaitu hasil reaksi yang terbentuk dalam reaksi yang tersangat perlahan mengkatalis reaksi.

Pengautoksidasian telah diterima melalui mekanisme radikal bebas. Pada masa induksi, tenaga dalam bentuk panas, cahaya dan sebagainya akan bereaksi dengan asam lemak untuk menghasilkan radikal bebas. Maka masa induksi merupakan langkah permulaan dalam reaksi rantai. Grosch membuat kesimpulan demikian. Pada masa yang tertentu, kepekatan

radikal bebas akan mencapai tingkat yang kritikal dan dengan cepatnya mekanisme perambatan sendiri akan berlaku. Langkah ini di kenal dengan langkah perambatan. Pada tingkat ini, laju pengambilan oksigen sangat cepat.

Fenomena ini dapat diperhatikan pada Gambar 1.4. Kedua-dua fasa yaitu dapat diperhatikan pada pengoksidasian asam oleat. Manakala bagi pengoksidasian asam linoleat, langkah permulaan tidak dapat diperhatikan, sebaliknya fasa kedua yaitu langkah perambatan reaksi rantai wujud pada awal percobaan seperti gambar 1.1.

Dengan jelasnya pada tabel 1.3, pertambahan suhu akan mengurangkan masa induksi. Pada suhu 70°C, pengoksidasian masuk ke fasa kedua selepas 10 jam percobaan dilakukan bagi asam oleat. Sebaliknya 2 jam saja diperlukan untuk memasuki ke fasa kedua jika dilakukan pada suhu 100°C. Daripada tabel 1.3 juga, bilangan mol oksigen yang digunakan akan bertambah apabila suhu percobaan meningkat.

Masa induksi bagi pengoksidasian asam linoleat tidak dapat diperhatikan walaupun pada suhu 60°C.

Daripada tabel 1.3, dengan pertambahan setiap 10°C bagi pengoksidasian asam oleat, akan menyebabkan pertambahan bilangan mol. O<sub>2</sub> yang digunakan secara nisbah 3.2: 1.4: 2.0. manakala bagi pengoksidasian asam linoleat pula, daripada tabel 1.4 nisbah itu ialah 1.7: 1.5: 1.5. maka dari sini secara umumnya pertambahan setiap 10°C akan menyebabkan laju pengoksidasian ditingkatkan hampir 2 kali lipat.

Daripada tabel 1.5, pertambahan persen asam linoleat pada campuran asam lemak tak jenuh akan mengurangkan masa induksi. Dimana dengan pertambahan 20%, 30%, 60% asam linoleat pada asam oleat, masa induksi tidak dapat diperhatikan. Dengan pertambahan persen asam linoleat, laju pengoksidasian juga

bertambah karena bilangan mol oksigen yang digunakan meningkat. Jika dibandingkan pengoksidasian campuran asam lemak dengan asam oleat murni pada suhu yang sama, masa induksi akan dikurangkan lebih daripada separuh, walaupun hanya 2.5% asam linoleat terdapat pada campuran asam.

## KESIMPULAN

Dalam kajian ini, laju pengoksidasian asam linoleat lebih cepat daripada asam oleat sekurang-kurangnya 11 kali. Ini disebabkan molekul asam linoleat mempunyai satu kumpulan metilena pada kedudukan dialilik. Sebaliknya molekul asam oleat tidak mempunyai kumpulan metilena tambahan itu. Maka laju pengoksidasian akan bertambah apabila derajat ketidakjenuhan meningkat. Suhu juga merupakan yang mempengaruhi laju pengoksidasian. Apabila suhu meningkat, laju pengoksidasian juga akan meningkat bagi kedua asam itu. Dengan pertambahan suhu sebanyak 10°C, laju pengoksidasian akan bertambah hampir 2 kali lipat. Suhu juga mempengaruhi masa induksi. Masa induksi bagi pengoksidasian asam oleat menjadi pendek dengan pertambahan suhu. Masa induksi bagi pengoksidasian asam linoleat tidak dapat diperhatikan dalam kajian ini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jabatan Perkhidmatan Awam (JPA) Malaysia atas dana yang diberikan

## DAFTAR RUJUKAN

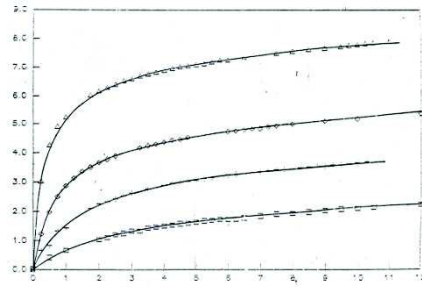
- [1] Farmer E. H., J. Oil Col. Chem Assoc 31 : 393 (1968)
- [2] Swern D. Autoxidation and Antioxidant Vol. 1 Lunberg W .O. (ed) Interscience New York (1981)
- [3] Sing K .W. S. and Greg S. J. Adsorption, Surface Area, and Porosity Academic Press p. 25

**LAMPIRAN**

Tabel 1.1 campuran volum asam oleat dan linoleat

| % ASAM LINDOLEAT | VOLUM ASAM OLEAT / ml | VOLUM ASAM LINDOLEAT / ml |
|------------------|-----------------------|---------------------------|
| 2.5              | 1.09                  | 0.03                      |
| 5                | 1.07                  | 0.06                      |
| 10               | 1.01                  | 0.11                      |
| 20               | 0.90                  | 0.22                      |
| 30               | 0.79                  | 0.33                      |
| 60               | 0.45                  | 0.66                      |

Volume O<sub>2</sub>/ml

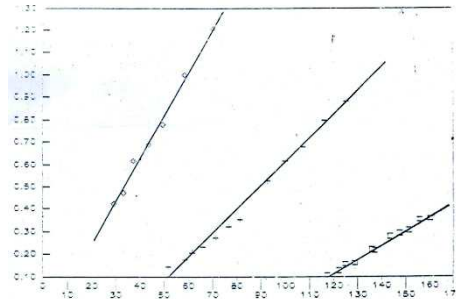


Gambar 1.1 volume O<sub>2</sub> yang digunakan oleh

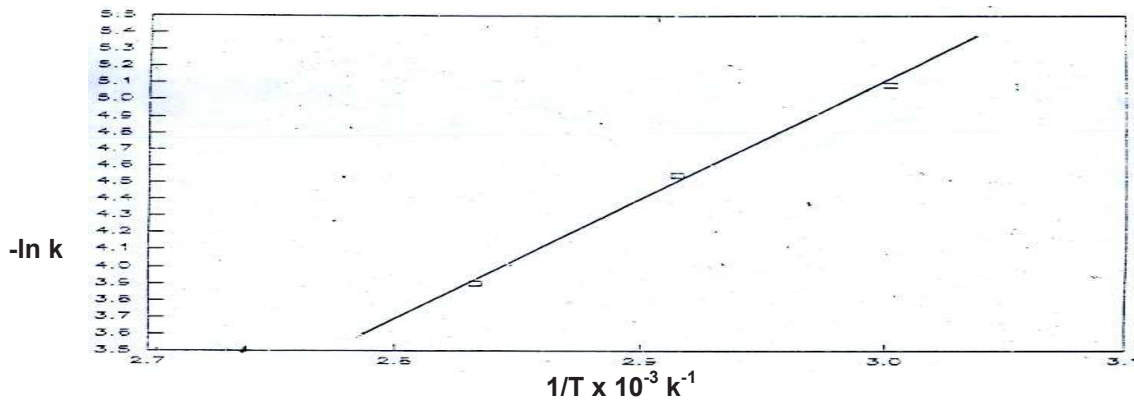
Tabel 1.2 konstanta laju reaksi oksidasi asam linoleat asam linoleat (pada berbagai suhu)

| Konstanta laju, k/jam <sup>-1</sup> cmHg <sup>-1</sup> | -lnk   | T/K | 1/T / k <sup>-1</sup>   |
|--|--------|-----|-------------------------|
| $6.1724 \times 10^{-3}$                                | 5.0877 | 333 | $3.0030 \times 10^{-3}$ |
| $10.6323 \times 10^{-3}$                               | 4.5439 | 343 | $2.9155 \times 10^{-3}$ |
| $20.2608 \times 10^{-3}$                               | 3.8990 | 353 | $2.8329 \times 10^{-3}$ |

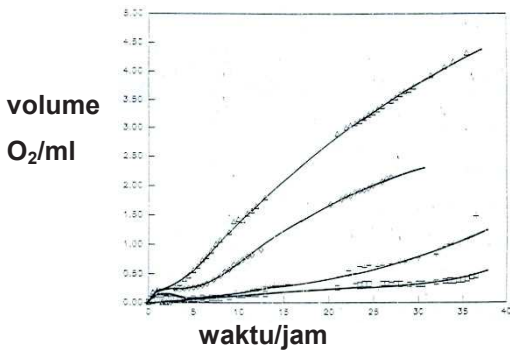
Laju/mljam<sup>-1</sup>



Gambar 1.2 laju reaksi terhadap (RH)PO<sub>2</sub> untuk asam linoleat (berbagai suhu)

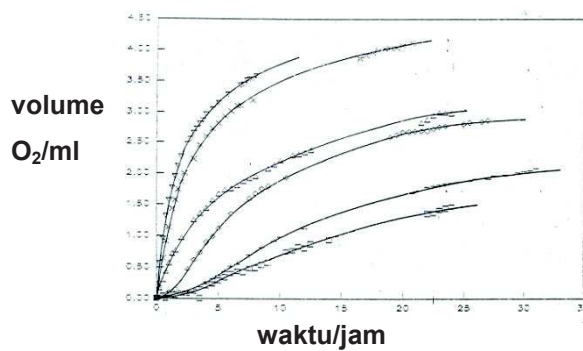


Gambar 1.3 plot -ln k melawan 1/T (asam linoleat)



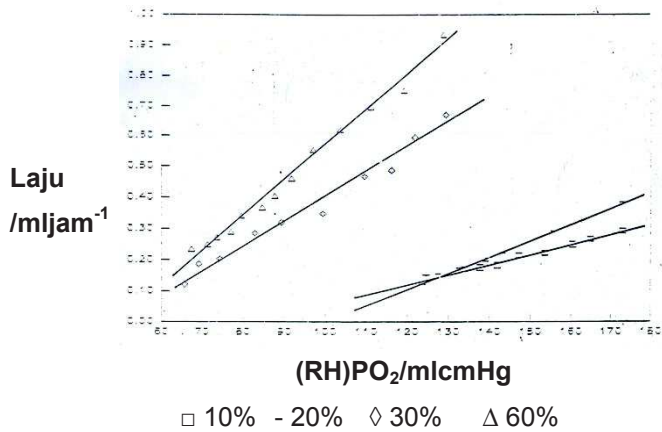
□ 70°C +80°C ◇ 90°C △ 100°C

Gambar 1.4 volum O<sub>2</sub> yang digunakan oleh oleh campuran asam lemak (80°C)



□ 2.5% +5% ◇ 10% △ 20% X30% ▼60%

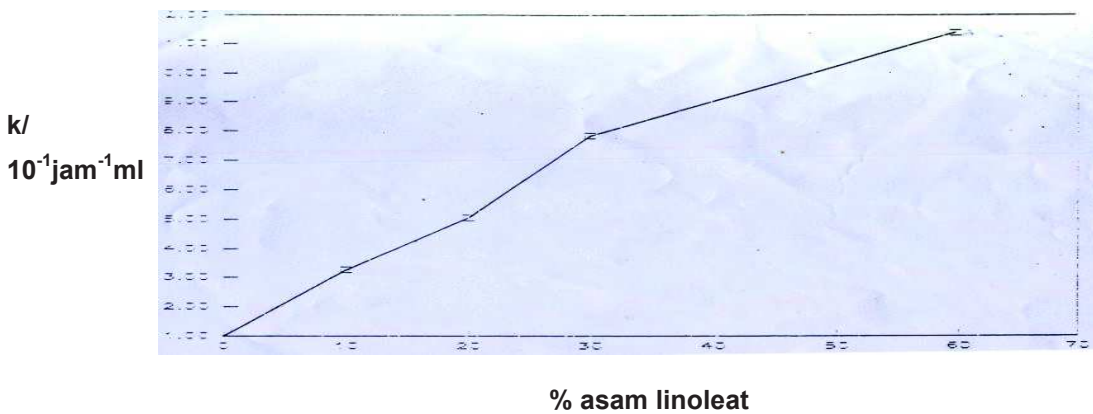
Gambar 1.5 volume O<sub>2</sub> yang digunakan asam oleat (berbagai suhu)



**Tabel 1.3 konstanta laju terhadap % asam linoleat**

| % ASAM LINOLEAT | KONSTANTA LAJU, $k / \text{jam}^{-1} \text{cmHg}^{-1}$ |
|-----------------|--|
| 10              | $3.27 \times 10^{-3}$                                  |
| 20              | $5.05 \times 10^{-3}$                                  |
| 30              | $7.84 \times 10^{-3}$                                  |
| 60              | $11.35 \times 10^{-3}$                                 |

Gambar 1.6 plot laju melawan (RH)PO<sub>2</sub> pada suhu 80°C (berbagai asam linoleat)



Gambar 1.7 plot k terhadap % asam linoleat

Tabel 1.4 masa induksi dan jumlah pengambilan O<sub>2</sub> oleh asam oleat pada berbagai suhu

| SUHU (°C) | MASA INDUKSI ( JAM ) | MASA • PENGOKSIDASIAN ( JAM ) | Mol O <sub>2</sub> YANG DIGUNAKAN PER Mol ASAM OLEAT |
|-----------|----------------------|-------------------------------|--|
| 70        | 10                   | 36.5                          | 0.097  |
| 80        | 8                    | 36.5                          | 0.315  |
| 90        | 4                    | 27.0                          | 0.455  |
| 100       | 2                    | 35.5                          | 0.915  |

Tabel 1.5 masa induksi dan jumlah pengambilan O<sub>2</sub> oleh asam linoleat pada berbagai suhu



| SUHU<br>( <sup>o</sup> C) | MASA<br>INDUKSI<br>( JAM ) | MASA<br>PENGAUTOKSIDASIAN<br>( JAM ) | Mo1 O <sub>2</sub> YANG DIGUNAKAN<br>PER Mo1 ASAM LINOLEAT |
|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--|
| 60                        | 0                          | 12.0                                 | 0.473  |
| 70                        | 0                          | 10.5                                 | 0.785  |
| 80                        | 0                          | 12.0                                 | 1.138  |
| 90                        | 0                          | 11.0                                 | 1.673  |

Tabel 1.6 masa induksi dan jumlah pengambilan O<sub>2</sub> untuk campuran asam pada 80°C

| ASAM<br>LINOLEAT<br>(%) | MASA<br>INDUKSI<br>( JAM ) | MASA<br>PENGAUTOKSIDASIAN<br>( JAM ) | Mo1 O <sub>2</sub> YANG DIGUNAKAN<br>PER Mo1 ASAM |
|-------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---|
| 2.5                     | 3.0                        | 24.0                                 | 0.311   |
| 5                       | 2.5                        | 31.0                                 | 0.441   |
| 10                      | 1.0                        | 27.0                                 | 0.608   |
| 20                      | 0                          | 24.0                                 | 0.631   |
| 30                      | 0                          | 20.5                                 | 0.873   |
| 60                      | 0                          | 8.0                                  | 0.759   |