# SINTESIS CaO/γ-$Al_2O_3$ DENGAN METODE SONIKASI SEBAGAI KATALIS PADA REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK JARAK

**SKRIPSI**

**Oleh:**
**RISA NUR FAIZATUR ROHMAH**
**NIM. 200603110065**

**PROGRAM STUDI KIMIA**
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM**
**MALANG**
**2024**

# SINTESIS CaO/γ-$Al_2O_3$ DENGAN METODE SONIKASI SEBAGAI KATALIS PADA REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK JARAK

**SKRIPSI**

**Oleh:**
**RISA NUR FAIZATUR ROHMAH**
**NIM. 200603110065**

**Diajukan Kepada:**
**Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI KIMIA**
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM**
**MALANG**
**2024**

**SINTESIS $CaO/\gamma\text{-}Al_2O_3$ DENGAN METODE SONIKASI SEBAGAI KATALIS PADA REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK JARAK**

**SKRIPSI**

**Oleh:**
**RISA NUR FAIZATUR ROHMAH**
**NIM. 200603110065**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji**
**Tanggal: 14 Mei 2024**

| Pembimbing I | Pembimbing II |
|---|---|
| Susi Nurul Khalifah, M.Si | Oky Bagas Prasetyo, M.Pd.I |
| NIP. 19851020 201903 2 012 | NIP. 19890113 202321 1 028 |

**Mengetahui,**
**Ketua Program Studi**

**Rachmawati Ningsih, M.Si**
**NIP. 19810811 200801 2 010**

**SINTESIS CaO/γ-$Al_2O_3$ DENGAN METODE SONIKASI SEBAGAI KATALIS PADA REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK JARAK**

**SKRIPSI**

**Oleh:**
**RISA NUR FAIZATUR ROHMAH**
**NIM. 200603110065**

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi**
**Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan**
**Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**
**Tanggal: 4 Juni 2024**

| | | |
|---|---|---|
| **Ketua Penguji** | **: Dr. Suci Amalia, M.Sc**<br>**NIP. 19821104 200901 2 007** | (.....) |
| **Anggota Penguji I** | **: Ahmad Hanapi, M.Sc**<br>**NIP. 19851225 202321 1 021** | (.....) |
| **Anggota Penguji II** | **: Susi Nurul Khalifah, M.Si**<br>**NIP. 19851020 201903 2 012** | (.....) |
| **Anggota Penguji III** | **: Oky Bagas Prasetyo, M.Pd.I**<br>**NIP. 19890113 202321 1 028** | (.....) |

**Mengetahui,**
**Ketua Program Studi Kimia**

**Rachmawati Ningsih, M.Si**
**NIP. 19810811 200801 2 010**

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

| | |
|---|---|
| Nama | : Risa Nur Faizatur Rohmah |
| NIM | : 200603110065 |
| Program Studi | : Kimia |
| Fakultas | : Sains dan Teknologi |
| Judul Penelitian | : Sintesis $CaO/\gamma\text{-}Al_2O_3$ Dengan Metode Sonikasi Sebagai Katalis Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak |

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila ini di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 21 Juni 2024
Yang Membuat Pernyataan

Risa Nur Faizatur Rohmah
NIM. 200603110065

## KATA PENGANTAR

*Assalamu`alaikum Wr. Wb*

Puji syukur atas kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufiq, serta inayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul "**SINTESIS $CaO/\gamma\text{-}Al_2O_3$ DENGAN METODE SONIKASI SEBAGAI KATALIS PADA REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK JARAK**" dengan baik.

Sholawat serta salam tak lupa tetap tercurahkan kepada junjungan kita nabi agung Muhammad SAW yang telah menuntuk kita menuju jalan yang terang benerang yakni agama islam. Skripsi adalah salah satu dari rangkaian yang harus ditempuh oleh mahasiswa untuk memperoleh gelar sarjana di Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Skripsi ini disusun tidak luput bantuan dari seluruh pihak yang mendukung penuh sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, hidayah, serta inayah hingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
2. Kedua Orang tua penyusun yang telah banyak memberikan perhatian, nasihat, doa, serta dukungan baik moril maupun materil yang tidak mungkin dapat terbalaskan oleh apapun.
3. Bapak Prof. Dr. M. Zainuddin, MA, selaku Rektor UIN Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Ibu Prof. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang
5. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang
6. Ibu Susi Nurul Khalifah, M.Si selaku pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, dan nasehat kepada penyusun dalam menyelesaikan skripsi
7. Bapak Oky Bagas Prasetyo, M.Pd.I selaku pembimbing agama yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, dan nasehat kepada penyusun dalam menyelesaikan skripsi
8. Seluruh dosen kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu, pengetahuan, pengalaman, dan wawasannya sebagai pedoman serta bekal bagi penyusun dalam proses penyelesaian skripsi
9. Seluruh pihak yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah memberikan kontribusi dalam menyelesaikan penelitian skripsi

Tidak ada yang sempurna, salah satunya dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, dengan senang hati penyusun mengharapkan kritik dan saran guna perbaikan dalam penyusunan selanjutnya. Selebihnya, dari segala kekurangan semoga skripsi ini dapat memberikan informasi, manfaat, serta kontribusi positif sehingga dapat bermanfaat bagi kita semua. *Aamiin ya Robbal `aalamiin.*

*Wallahul muwaffiq ila aqwamit tharieq*
*Wassalamualaikum Wr. Wb*

Malang, 12 Februari 2024

Penulis

## DAFTAR ISI


**PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN** ..... **vii**
**KATA PENGANTAR** ..... **ix**
**DAFTAR ISI** ..... **xi**
**DAFTAR TABEL** ..... **xiii**
**DAFTAR GAMBAR** ..... **xv**
**DAFTAR LAMPIRAN** ..... **xvii**
**ABSTRAK** ..... **xix**
**ABSTRACT** ..... **xxi**
ملخص البحث ..... **xxiii**

**BAB I PENDAHULUAN** ..... **1**
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 4
1.3 Tujuan Penelitian ..... 4
1.4 Batasan Masalah ..... 4
1.5 Manfaat Penelitian ..... 4

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA** ..... **5**
2.1 Katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ ..... 5
2.2 Metode Sonikasi ..... 9
2.3 Reaksi Transesterifikasi Pada Minyak Jarak ..... 11

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN** ..... **15**
3.1 Pelaksanaan Penelitian ..... 15
3.2 Alat dan Bahan ..... 15
3.2.1 Alat ..... 15
3.2.2 Bahan ..... 15
3.3 Rancangan Penelitian ..... 15
3.4 Tahapan Penelitian ..... 16
3.5 Cara Kerja ..... 16
3.5.1 Preparasi Katalis Heterogen CaO/γ-$Al_2O_3$ ..... 16
3.5.2 Karakterisasi Katalis ..... 16
3.5.2.1 Karakterisasi Katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Menggunakan XRD ..... 16
3.5.2.2 Karakterisasi Katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Menggunakan XRF ..... 16
3.5.2.3 Karakterisasi Katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Menggunakan SAA ..... 16
3.5.3 Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ ..... 17
3.5.4 Karakterisasi Metil Ester Hasil Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Menggunakan GC-MS ..... 18
3.5.5 Analisa Data ..... 18
3.5.5.1 Analisa Data Hasil Karakterisasi CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Menggunakan XRD ..... 18
3.5.5.2 Analisa Data Hasil Karakterisasi CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Menggunakan XRF ..... 19
3.5.5.3 Analisa Data Hasil Karakterisasi CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Menggunakan SAA ..... 19
3.5.5.4 Analisa Data Hasil Karakterisasi Metil Ester dari Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak Menggunakan GC-MS ..... 19

**BAB IV PEMBAHASAN ..... 21**
4.1Karakteristik CaO/γ-$Al_2O_3$ Hasil Sintesis Dengan Metode Sonikasi ..... 21
4.2 Analisis GC-MS Produk Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak ..... 24

**BAB V PENUTUP ..... 37**
5.1 Kesimpulan ..... 37
5.2 Saran..... 37

**DAFTAR PUSTAKA ..... 39**
**LAMPIRAN..... 45**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan unsur dalam katalis γ-$Al_2O_3$ dan KOH/ γ-$Al_2O_3$ setelah dianalisis menggunakan XRF ..... 10
Tabel 2.2 Komposisi metil ester hasil reaksi transesterifikasi ..... 13
Tabel 4.1 Kandungan unsur dalam γ-$Al_2O_3$ dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Hasil XRF..... 23
Tabel 4.2 Luas Permukaan hasil karakterisasi dengan SAA ..... 24
Tabel 4.3 Komposisi metil ester hasil reaksi transesterifikasi menggunakan katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, CaO/ γ-$Al_2O_3$..... 26

## DAFTAR GAMBAR


Gambar 2.1 Sisi Aktif γ-$Al_2O_3$ ..... 5
Gambar 2.2 Struktur molekul γ-$Al_2O_3$ ..... 6
Gambar 2.3 Hasil difraktogram γ-$Al_2O_3$ ..... 6
Gambar 2.4 Interaksi antara Ca-Al pada suhu kalsinasi 500°C ..... 7
Gambar 2.5 Hasil XRD katalis CaO (a)/ γ-$Al_2O_3$ (b) ..... 8
Gambar 2.6 Efek Kavitasi ..... 10
Gambar 2.7 Mekanisme reaksi transesterifikasi dengan katalis heterogen KOH ..... 11
Gambar 2.8 Kromatogram metil ester dari minyak jarak ..... 12
Gambar 2.9 Spektrum massa metil risinoleat ..... 13
Gambar 2.10 Pola Fragmentasi Metil Risinoleat ..... 13
Gambar 3.1 Kurva BET ..... 17
Gambar 4.1 Difraktogram XRD (a) Standar CaO (JCPDS 017-0912); (b) Standar $Ca(OH)_2$ (JCPDS 044-1481); (c) CaO Komersil ..... 21
Gambar 4.2 Difraktogram XRD (a) Standar γ-$Al_2O_3$ (JCPDS 010-0425); (b) γ-$Al_2O_3$ komersil; (c) CaO komersil; (d) CaO/γ-$Al_2O_3$ ..... 22
Gambar 4.3 Dugaan Mekanisme reaksi transesterifikasi menggunakan katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ ..... 25
Gambar 4.4 Kromatogram produk reaksi transesterifikasi menggunakan katalis CaO ..... 25
Gambar 4.5 Kromatogram produk reaksi transesterifikasi menggunakan katalis γ-$Al_2O_3$ ..... 26
Gambar 4.6 Kromatogram produk reaksi transesterifikasi menggunakan katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ ..... 26
Gambar 4.7 Spektra massa senyawa target (metil palmitat) pada waktu retensi 15,199 ..... 28
Gambar 4.8 Perkiraan pola fragmentasi metil palmitat pada waktu retensi 15,199 ..... 28
Gambar 4.9 Spektra massa senyawa target (metil linoleat) pada waktu retensi 16,985 ..... 28
Gambar 4.10 Perkiraan fragmentasi metil linoleat pada waktu retensi 16,985 ..... 29
Gambar 4.11 Spektra massa senyawa target (metil oleat) pada waktu retensi 17,040 ..... 30
Gambar 4.12 Perkiraan fragmentasi metil oleat pada waktu retensi 17,040 ..... 30
Gambar 4.13 Spektra massa senyawa target (metil stearat) pada waktu retensi 17,220 ..... 31
Gambar 4.14 Perkiraan fragmentasi metil stearat pada waktu retensi 17,220 ..... 31
Gambar 4.15 Spektra massa senyawa target (metil risinoleat) pada waktu retensi 18,999 -19,296 ..... 32
Gambar 4.16 Perkiraan fragmentasi metil risinoleat pada waktu retensi 18,999-19,296 ..... 32
Gambar 4.17 Spektra massa senyawa target (metil miristat) pada waktu retensi 24,515 ..... 33
Gambar 4.18 Perkiraan fragmentasi metil miristat pada waktu retensi 24,515 ..... 33

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir ..... 45
Lampiran 2. Perhitungan ..... 47
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi ..... 48
Lampiran 4. Perhitungan Hasil Penelitian ..... 66
Lampiran 5. Dokumentasi ..... 69

## ABSTRAK

Rohmah, Risa Nur Faizatur. 2024. **Sintesis CaO/γ-$Al_2O_3$ Dengan Metode Sonikasi Sebagai Katalis Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak**. Skripsi. Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: Susi Nurul Khalifah, M.Si. Pembimbing II : Oky Bagas Prasetyo, M.Pd.I

---

**Kata Kunci:** CaO/γ$Al_2O_3$, sonikasi, katalis, reaksi transesterifikasi, minyak jarak

Peningkatan kinerja katalis dengan pengembanan berhasil dilakukan yakni pengembanan CaO pada γ-$Al_2O_3$. Proses pengembanan dilakukan menggunakan metode sonikasi. Katalis yang dihasilkan akan digunakan pada reaksi transesterifikasi minyak jarak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakter katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ yang disintesis menggunakan metode sonikasi dan selektivitas metil ester konversi dari minyak jarak menggunakan katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$.

Sintesis CaO/γ-$Al_2O_3$ dilakukan dengan perbandingan 1:4, dimana keberhasilan sintesis dianalisis menggunakan XRD untuk mengetahui struktur dari katalis. XRF digunakan sebagai penunjang karakterisasi untuk mengetahui banyaknya CaO yang berhasilkan diembankan. SAA digunakan untuk mengetahui luas permukaan katalis setelah proses pengembanan. Hasil reaksi transesterifikasi dengan katalis tersebut dianalisis menggunakan GC-MS untuk mengetahui keberhasilan konversi metil ester dari minyak jarak.

Hasil XRD menunjukkan penambahan CaO pada γ-$Al_2O_3$ terdapat perubahan dengan menurunnya puncak difraktogram γ-$Al_2O_3$ dan munculnya puncak baru yang sesuai dengan puncak CaO. Hal ini didukung oleh hasil analisa menggunakan XRF yang menunjukkan kandungan dalam senyawa hasil pengembanan yakni unsur Al sebesar 61,9 % dan Ca sebesar 36,4%. Karakerisasi menggunakan SAA menunjukkan bahwa luas permukaan CaO mengalami peningkatan dan γ-$Al_2O_3$ mengalami penurunan. Hasil transesterfikasi minyak jarak dalam mengonversi metil risinoleat menggunakan katalis CaO sebesar 84,62%, sedangkan menggunakan katalis γ-$Al_2O_3$ sebesar 84,62%, dan katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ 85,82% dengan kelimpahan yang lebih sedikit.

## ABSTRACT

Rohmah, Risa Nur Faizatur. 2024**. Synthesis of CaO/γ-$Al_2O_3$ Using Sonication Method as a Catalyst in the Transesterification Reaction of Castor Oil.** Essay. Chemistry Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Advisor: Susi Nurul Khalifah, M.Si. Advisor II: Oky Bagas Prasetyo, M.Pd.I

---

**Keywords:** CaO/γ$Al_2O_3$, sonication, catalyst, transesterification reaction, castor oil

Improvement of catalyst performance by embedding was successfully carried out, namely the embedding of CaO on γ-$Al_2O_3$. The embedding process was carried out using the sonication method. The resulting catalyst will be used in castor oil transesterification reaction. The purpose of this study is to determine the character of CaO/γ-$Al_2O_3$ catalyst synthesized using sonication method and selectivity of methyl ester conversion from castor oil using CaO, γ-$Al_2O_3$, and CaO/γ-$Al_2O_3$ catalysts.

The synthesis of CaO/γ-$Al_2O_3$ was carried out in a ratio of 1:4, where the success of the synthesis was analyzed using XRD to determine the structure of the catalyst. XRF was used as supporting characterization to determine the amount of CaO that was successfully embedded. SAA was used to determine the surface area of the catalyst after the embedding process. The results of the transesterification reaction with the catalyst were analyzed using GC-MS to determine the success of methyl ester conversion from castor oil.

XRD results show the addition of CaO to γ-$Al_2O_3$ there is a change with the decrease of γ-$Al_2O_3$ diffractogram peak and the emergence of new peaks corresponding to CaO peak. This is supported by the results of analysis using XRF which shows the content in the compound of the results of the embedding of the element Al by 61.9% and Ca by 36.4%. Characterization using SAA showed that the surface area of CaO increased and γ-$Al_2O_3$ decreased. The result of castor oil transesterfication in converting methyl ricinoleate using CaO catalyst was 84.62%, while using γ-$Al_2O_3$ catalyst was 84.62%, and CaO/γ-$Al_2O_3$ catalyst was 85.82% with less abundance.

## ملخص البحث

رحمة, ريسا نور فائزة الرحمة. ٢٠٢٤ . **تخليق $CaO/\gamma-Al_2O_3$ باستخدام طريقة الصوتيات كعامل حفاز في تفاعل الأسترة التحويلية لزيت الخروع**. بحث جامعي. قسم الكيمياء, كلية العلوم والتكنولوجياء, جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفة الأولي: سوسي نور الخليفة الماجستير, المشرف الثاني: أوكي باغاس براسيتيو الماجستير

---

**الكلمات الرئيسية**: $CaO/\gamma-Al_2O_3$ ، الصوتيات، المحفز، تفاعل الأسترة التحويلية، زيت الخروع

تم تنفيذ تحسين أداء العامل الحفاز عن طريق التضمين بنجاح, أي تضمين CaO علي $\gamma-Al_2O_3$ وقد تم تنفيذ عملية التضمين باستخدام طريقة الصوتنة. وسيستخدم المحفز الناتج في تفاعل إعادة أسترة زيت الخروع. والغرض من هذه الدراسة هو تحديد خصائص محفز CaO $\gamma-Al_2O_3$/الذي تم تصنيعه باستخدام طريقة الصوتيات وانتقائية تحويل إستر الميثيل من زيت الخروع باستخدام محفزات CaO و$\gamma-Al_2O_3$ و CaO/ $\gamma-Al_2O_3$.

تم إجراء تخليق CaO/ $\gamma-Al_2O_3$ بنسبة ٤:١, حيث تم تحليل نجاح التخليق باستخدام XRD لتحديد بنية المحفز. استخدمت التفلور الراديوي XRF كتوصيف داعم لتحديد كمية اكسيد الكالسيوم الذي تم تضمينه بنجاح. تم استخدام SAA لتحديد مساحة سطح المحفز بعد عملية التضمين. تم تحليل نتائج تفاعل الأسترة التبادلية مع العامل الحفاز باستخدام GC-MS لتحديد مدي نجاح تحويل إستر الميثيل من زيت الخروع.

تظهر نتائج XRD أنه عند إضافة CaO إلي $\gamma-Al_2O_3$ يحدث تغير مع انخفاض قمة مخطط الحيود $\gamma-Al_2O_3$ وظهور قمم جديدة تقابل قمة CaO وهذا ما تدعمه نتائج التحليل باستخدام الترددات الراديوية السينية التي تظهر المحتوي في المركب من نتائج التحليل باستخدام الترددات السينية التي تظهر المحتوي في المركب من نتائج تضمين عنصر Al بنسبة ٪ ٩,٦١ و Ca بنسبة ٪ ٤,٣٦. يظهر التوصيف باستخدام SAA أن مساحة سطح ل CaO قد زادت و انخفضت $\gamma-Al_2O_3$. وبلغت نتائج تحويل زيت الخروع في تحويل ريسينوليت الميثيل باستخدام محفزات CaO بنسبة ٪٦٢,٨٤, باستخدام محفزات $\gamma-Al_2O_3$ بنسبة ٪٦٩,٨٤ و باستخدام محفزات $CaO/\gamma-Al_2O_3$بنسبة ٪٨٢,٨٥ و فرة أقل.

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Gamma alumina (γ-$Al_2O_3$) adalah bahan yang digunakan pada berbagai bidang, seperti dalam industri otomotif dan petroleum yang digunakan sebagai katalis. Gamma alumina memiliki kekuatan mekanis dan termal yang tinggi (Irawati, 2013; Pradana, 2008). Gamma alumina memiliki luas permukaan yang besar sehingga banyak digunakan sebagai support pada reaksi katalitik dengan menyediakan struktur yang diperlukan oleh katalis, seperti tempat terdispersinya katalis dan memudahkan penebaran situs aktif dengan kontak yang lebih luas. Karakter *Active site* dari γ- $Al_2O_3$ bersifat asam basa lewis dan basa bronsted yang dapat mempengaruhi selektifitas katalis (Ulfah, 2012; Gutierrez, 2001; Syafrinaldy, 2017). Pada penelitian yang dilakukan oleh Lourentius (2021), luas permukaan spesifik γ-$Al_2O_3$ sebagai material pendukung sekitar 180 $m^2$/g. Ulfah (2012) mensistesis γ- $Al_2O_3$ dari boehmite dengan variasi mol menghasilkan luas permukaan yang paling besar 195 $m^2$/g, sama halnya dengan Kosim (2014) yang menghasilkan luas permukaan sebesar 140 $m^2$/g dengan kalsinasi selama 5 jam pada temperatur 700°C.

Kinerja dari γ-$Al_2O_3$ dapat ditingkatkan dengan penambahan CaO sehingga aktivitas katalitik dari katalis dapat bertambah. Kalsium oksida (CaO) merupakan oksida logam yang dimanfaatkan sebagai katalis basa heterogen yang baik untuk reaksi transesterifikasi dalam produksi biodiesel. Hal tersebut dikarenakan CaO memiliki sifat kebasaan yang tinggi, sehingga meningkatkan kebasaan pada support katalis. Widiarti (2016) menghasilkan luas permukaan katalis CaO sebesar 11,4 $m^2$/g pada sintesisnya, dimana hasil tersebut lebih besar dari hasil penelitian Arzamendi (2008) yakni sebesar 10 $m^2$/g. Adapun kedua hasil sintesis CaO tersebut digunakan sebagai katalis pada reaksi transesterifikasi biodiesel. CaO memiliki banyak kelebihan diantaranya aktivitasnya tinggi, tidak larut dalam metanol, waktu pakai relatif lebih panjang, dan ekonomis. Menurut Maisyaroh (2019), CaO adalah katalis yang lebih aktif dan sedikit larut pada metanol dibandingkan dengan oksida ataupun hidroksida logam alkali tanah lainnya seperti $Ba(OH)_2$ dan SrO. Zhu, dkk (2006) menggunakan katalis CaO dalam produksi biodiesel dari minyak jarak pada temperatur 70°C menghasilkan konversi sebesar 93%.

Metode yang digunakan untuk pengembanan diantaranya metode sonikasi, dimana sistem akan dikenakan radiasi ultrasonik pada frekuensi tertentu. Metode sonikasi seringkali diaplikasikan sebab prosesnya yang sederhana dan efesien. Selain itu, metode sonikasi juga dapat memecah kristal besar menjadi ukuran kecil dengan frekuensi gelombang ultrasonik yang tinggi, waktu sintesis dan pengembanan yang lebih singkat (Nairil, 2019). Regnant (2018) berhasil mengembankan KOH/γ-$Al_2O_3$ melalui metode sonikasi selama 3 jam dengan radiasi ultrasonik sebesar 42 kHz. Keberhasilan tersebut dapat dilihat dari γ-$Al_2O_3$ sebelum

proses pengembanan tidak mengandung unsur K, sedangkan setelahnya terdapat unsur K. Fikriandini dan Khair (2023) juga berhasil mensintesis katalis ZnO/Zeolit dengan waktu sonikasi selama 30 menit dan gelombang ultrasonik 40 kHz. Setelah dikarakterisasi menggunakan FTIR, dapat diketahui adanya serapan pada panjang gelombang 445 $cm^{-1}$ yang merupakan daerah regangan Zn-O. Hal tersebut menandakan bahwa ZnO telah terembankan dengan baik pada pori zeolit.

Minyak bumi merupakan bahan fosil yang dijadikan bahan baku dalam pembuatan bahan bakar minyak, bensin, dan banyak produk lainnya. Hal tersebut yang mendorong minyak bumi menjadi sumber energi yang sangat penting sebab presentase yang signifikan terhadap pemenuhan konsumsi energi di dunia. Akan tetapi, produksi minyak bumi selama 10 tahun terakhir mengalami penurunan, dari 346 juta barel menjadi sekitar 283 juta barel. Oleh sebab itu diperlukan perencanaan serta inovasi baru yang dapat mengatasi permasalahan tersebut, diantaranya dengan pengembangan biodiesel. Biodiesel dapat dijadikan sebagai alternatif untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang dapat berpengaruh positif pada berbagai aspek. Biodiesel dinilai memiliki banyak keunggulan seperti bahan baku yang digunakan merupakan senyawa trigliserida yang berasal dari sumber daya hayati, hasil pembakarannya tidak mengandung sulfur sehingga lebih ramah lingkungan, dan mudah terurai di alam (Devita, 2015; Istiningrum, 2018).

Allah S.W.T berfirman dalam Al-Qur`an surat al-baqarah ayat 30:

وَاِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلٰۤىِٕكَةِ اِنِّيْ جَاعِلٌ فِى الْاَرْضِ خَلِيْفَةًۗ قَالُوْٓا اَتَجْعَلُ فِيْهَا مَنْ يُّفْسِدُ فِيْهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاۤءَۚ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَۗ قَالَ اِنِّيْٓ اَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُوْنَ{٣٠}

Artinya: ”*Ingatlah ketika Tuhanmu berfirman kepada para Malaikat: "Sesungguhnya Aku hendak menjadikan seorang khalifah di muka bumi". Mereka berkata: "Mengapa Engkau hendak menjadikan (khalifah) di bumi itu orang yang akan membuat kerusakan padanya dan menumpahkan darah, padahal kami senantiasa bertasbih dengan memuji Engkau dan mensucikan Engkau?" Tuhan berfirman: "Sesungguhnya Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui”".*

Ayat tersebut menjelaskan mengenai hubungan antara Allah, manusia, dan alam. Dalam kitab tafsir *At-tahrir wa at-Tanwir*, malaikat bertanya mengenai penciptaan manusia sebagai *khalifah*. Kemudian Allah menunjukkan dalam firman-Nya tersebut bahwasannya tugas manusia di bumi yakni untuk mengatur dan menjaga bumi dengan baik (Asyur, 1984). Tugas tersebut merupakan bagian dari pengabdian serta per-ibadatan kepada Sang Pencipta. Sehingga etika yang utama dalam pelestarian alam berlandaskan pada keimanan dan tauhid. Solidaritas dalam Islam tidak terbatas dengan sesama manusia, tetapi juga dengan alam semesta (Said, 2017). Menjaga kelestarian lingkungan merupakan salah satu perwujudan dari menjaga bumi. Adapun upaya dalam pelestarian alam salah satunya dengan pengembangan biodiesel.

Biodiesel dapat dibuat dengan mereaksikan minyak jarak dengan alkohol serta penambahan suatu katalis. Minyak jarak berasal dari tumbuhan jarak pagar yang mengandung kandungan minyak yang tinggi, dimana pada bijinya sebanyak 35% dan 60% pada dagingnya (Oko, 2019). Minyak jarak mengandung asam lemak essensial yang rendah sehingga tidak dapat digunakan sebagai minyak makan dan pangan sebab mengandung racun dari senyawa ester forbol (Purnomo, 2020). Menurut penelitian yang dilakukan Suhartanta (2008), bahan bakar biodiesel dari minyak jarak mempunyai sifat yang cukup baik sehingga dapat memperbaiki torsi motor pada berbagai tingkat rpm, juga pembakaran bahan bakar biodiesel lebih baik dari pada minyak diesel murni (100%).

Proses pembuatan biodiesel dapat melalui reaksi esterifikasi dan reaksi transesterifikasi (Regnant, 2018; Permana, 2020). Proses reaksi transesterifikasi dilakukan untuk mengeluarkan gliserin dari minyak dan mereaksikan asam lemak bebas dengan alkohol menjadi ester alkohol (Suhartanta, 2008; Dewi, 2015). Penelitian yang dilakukan oleh Fitriana (2018) menggunakan katalis CaO 2% pada reaksi transesterifikasi dengan variasi waktu sonikasi menghasilkan konversi metil ester terbesar pada menit ke-60 yakni 52,3%. Nairoj (2009) menghasilkan konversi sebesar 91,07% dengan menambahkan 3 gram katalis KOH/γ-$Al_2O_3$ pada transesterifikasi minyak kelapa sawit. Yunarti (2016) mereaksikan katalis CaO/SrO pada transesterifikasi minyak kelapa sawit menghasilkan konversi metil ester sebesar 98%, sama halnya dengan Justo, dkk (2019) yang melakukan reaksi transesterifikasi minyak bunga matahari menggunakan katalis $K_2CO_3$/γ-$Al_2O_3$ hasil impregnasi sebesar 5% menghasilkan konversi metil ester sebesar 97,06% setelah 2 jam. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa proses pengembanan katalis lebih baik dari pada tidak diembankan.

Pada penelitian ini akan dipelajari kinerja katalis CaO yang diembankan pada γ- $Al_2O_3$ terhadap reaksi transesterifikasi minyak jarak. Proses pengembanan katalis menggunakan metode sonikasi dengan waktu kristalisasi selama 3 jam. Hasil dari sintesis katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ akan dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur dari katalis dan dikarakterisasi menggunakan XRF (*X-Ray Flourescense*) untuk mengetahui banyaknya CaO yang berhasil diembankan ke dalam pengemban γ-$Al_2O_3$. Sedangkan untuk mengetahui luas permukaan dari katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ dilakukan uji dengan SAA (*Surface Area Analyzer*). Selanjutnya, untuk mengetahui keberhasilan konversi metil ester dari minyak jarak maka digunakan instrumen GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrophotometer*).

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini yakni:

1. Bagaimana karakteristik katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ yang disintesis menggunakan metode sonikasi?

2. Bagaimana hasil uji katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ terhadap metil ester yang dikonversi dari minyak jarak?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang harus dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ yang disintesis menggunakan metode sonikasi
2. Mengetahui hasil uji katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ terhadap metil ester yang dikonversi dari minyak jarak

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Minyak jarak yang digunakan adalah minyak jarak merek X (sudah melalui proses pengolahan)
2. Metode yang digunakan adalah metode sonikasi
3. Karakterisasi katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ menggunakan XRD dan SAA
4. Karakterisasi katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ menggunakan XRF
5. Karakterisasi hasil reaksi transesterifikasi menggunakan GC-MS

## 1.5 Manfaat Penelitian

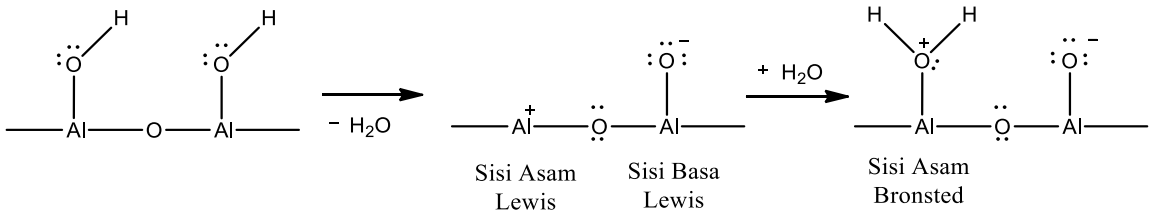
Manfaat dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai sintesis CaO/γ-$Al_2O_3$ menggunakan metode sonikasi, serta penggunaan katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ untuk konversi metil ester dari minyak jarak sebagai bahan baku alternatif pengganti bahan bakar minyak.

# BAB II

# TINJAUAN PUSTAKA

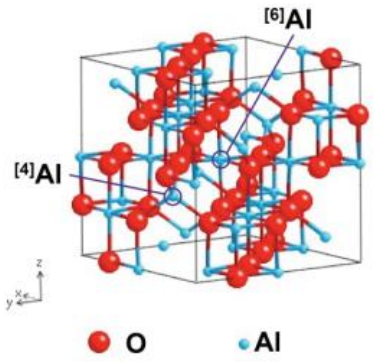
## 2.1 Katalis CaO/ γ-$Al_2O_3$

Gamma alumina merupakan kelompok alumina transisi. Senyawa tersebut dapat bertindak sebagai katalis, penyangga katalis maupun adsorben. Hal ini dikarenakan γ-$Al_2O_3$ mempunyai *surface area* luas yakni rentang 150-300 $m^2$/g, volume pori besar antara 0,5-1 cc/g, dan stabil pada berbagai temperatur reaksi katalisis. Selain itu, γ-$Al_2O_3$ memiliki selektifitas yang tinggi pada reaksi dehidrasi, mekanisme elusidasi, dan juga karakterisasi *active site* yang bersifat asam dan basa pada permukaan secara katalitik. Pusat asam pada permukaan γ- $Al_2O_3$ berupa pusat asam lewis ($AlO^-$) dan bronsted (Al-OH), yang mana keduanya dapat berpengaruh terhadap selektifitas dan aktivitas katalis (Bahroni, 2019; Ulfah, 2012).



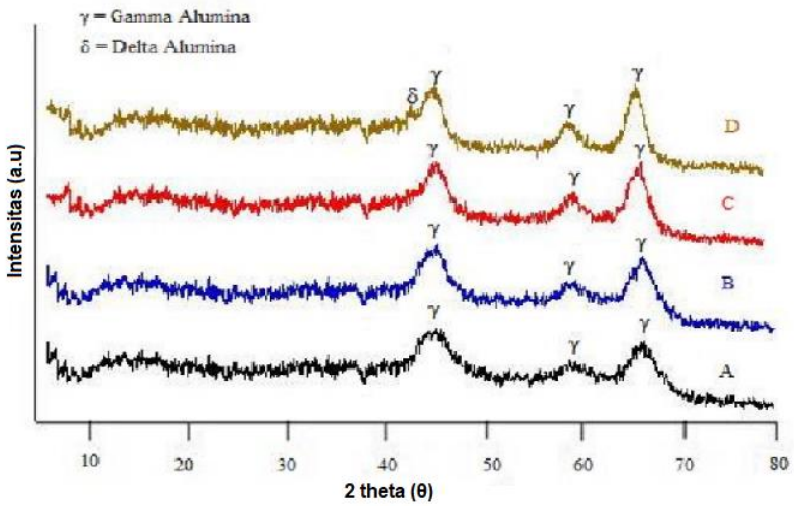

**Gambar 2.1** Sisi Aktif γ-$Al_2O_3$ (Ningrum, 2010)

Sisi asam lewis merupakan sisi yang menerima elektron, dimana koordinasi antar atom alumuniumnya tidak lengkap sebab terjadi dehidrasi saat suhu tinggi serta mengakibatkan anion oksigen terbentuk pada permukaan lainnya sebagai basa lewis. Sedangkan sisi asam bronsted adalah sisi yang mendonor proton (ion $Al^{3+)}$, sisi ini mengadsorpsi molekul air sehingga menurunkan keelektronegatifan dari sisi asam lewis (Sari, 2009). Struktur γ-$Al_2O_3$ memiliki bentuk spinel yang cacat. Satuan selnya mengandung 32 atom oksigen dalam bentuk *cubic close packed* yang ditandai dengan susunan pola ABC-ABC. Bentuk kemasan rapat kubus (*ccp*) terdiri dari 12 lubang oktahedral dan bentuk tetrahedral sebanyak 8 lubang. Adapun ion $Al^{3+}$ terletak pada $21^{1/3}$ lubang tersebut secara acak serta menempati situs oktahedral dan tetrahedral, sedangkan atom oksigen tersusun pada *cubic close packing* (Ningrum, 2010; Regnant, 2018; Tsani, 2011; Samain, 2014). Adapun bentuk strukturnya seperti pada Gambar 2.2.




**Gambar 2.2** Struktur molekul γ-$Al_2O_3$ (Kim., 2013)

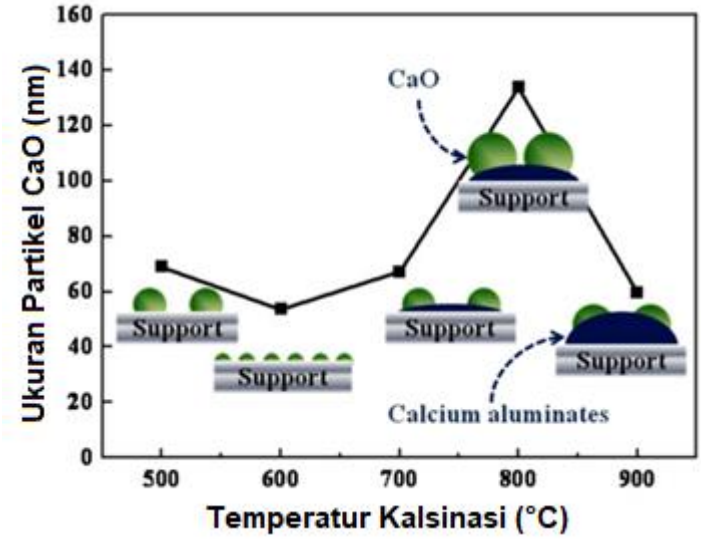
Pemilihan logam yang akan diembankan pada permukaan γ- $Al_2O_3$ bergantung pada nilai dari *Point of Zero Charge* (PZC) γ-$Al_2O_3$. Adapun PZC atau *Point of Zero Charge* γ-$Al_2O_3$ merupakan keadaan dimana pH dari γ-$Al_2O_3$bermuatan nol, maknanya permukaan dari adsorben gamma alumina akan bermuatan netral. Saat pH < PZC maka permukaan γ-$Al_2O_3$ akan bermuatan positif, sebab terjadi proses protonasi sehingga γ-$Al_2O_3$ dapat mengadsorpsi adsorbat yang bermuatan negatif. Begitupun sebaliknya, saat pH > PZC maka permukaan γ-$Al_2O_3$ bermuatan negatif, sebab jumlah ion $OH^-$ akan semakin besar sehingga γ-$Al_2O_3$ dapat mengadsorpsi adsorbat yang bermuatan positif. Adapun PZC dari γ-$Al_2O_3$ terletak pada kisaran 7-8 (Liberto, 2022; Ningrum, 2010).




**Gambar 2.3** Hasil difraktogram γ-$Al_2O_3$ (Irawati, 2013)

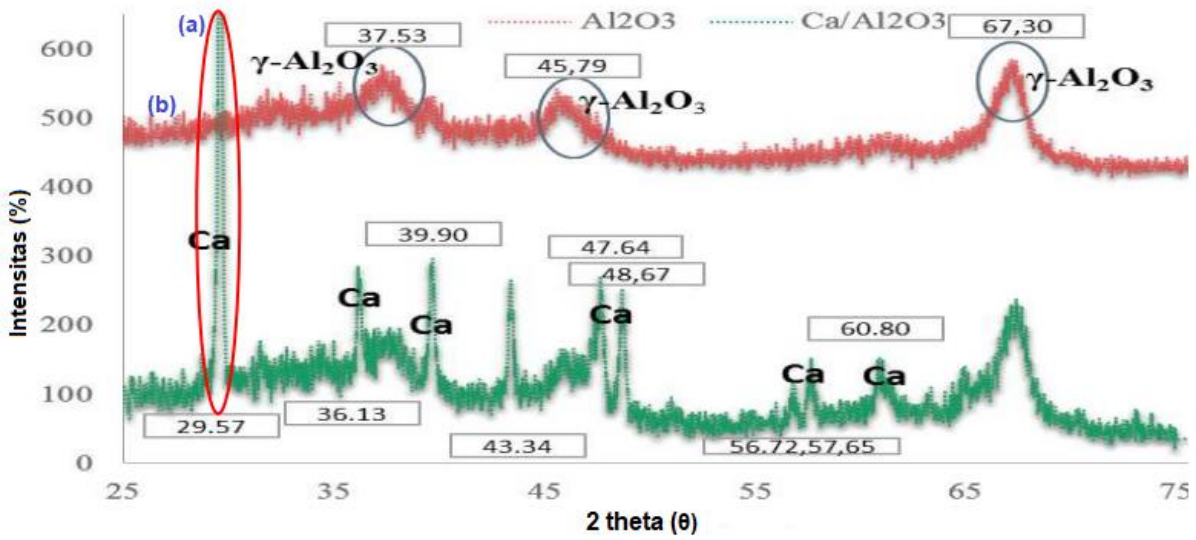
Sintesis γ-$Al_2O_3$telah dilakukan oleh Irwati (2013) dengan variasi temperatur kalsinasi 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C selama 3 jam menghasilkan perbedaan secara signifikan dari ketajaman puncak berbagai variasi tersebut. Hasil pengamatan berdasarkan difraktogram Gambar 2.3 menunjukkan terjadi peningkatan intensitas dari γ-$Al_2O_3$ pada kisaran puncak 2θ: 45, 60, dan 67. Hal ini juga menunjukkan bahwa semakin besar temperatur yang diberikan maka semakin tinggi pula puncak yang dihasilkan oleh γ-$Al_2O_3$.

Suatu katalis dapat ditingkatkan kinerjanya dengan pengembanan katalis logam, salah satunya yakni logam CaO (Savitri, 2016). Kalsium Oksida (CaO) merupakan salah satu jenis katalis heterogen dan memiliki kebasaan yang tinggi. Sebab fungsinya sebagai katalis basa, logam kalsium oksida dapat menurunkan keasaman dan meningkatkan kebasaan pada support γ-$Al_2O_3$. Selain itu, kebasaan CaO yang tinggi juga membuat oksida ini banyak digunakan sebagai katalis pada proses transesterifikasi minyak menjadi biodiesel. CaO memiliki keunggulan yakni bentuknya yang padat memudahkan proses pemisahan pada akhir reaksi dalam proses pembuatan biodiesel (Oko, 2019; Ningtyas, 2017).




**Gambar 2.4** Interaksi antara Ca-Al pada suhu kalsinasi 500°C (Yu, 2011)

Interaksi pada permukaan γ-$Al_2O_3$ dengan partikel CaO menunjukkan ikatan yang lemah pada suhu kisaran 500°C, sehingga ukuran partikel CaO sekitar 69 nm. Adapun ikatan Ca-Al yang kuat pada suhu 700°C membuat CaO mulai bereaksi dengan γ-$Al_2O_3$ membentuk kalsium aluminat (Yu, 2011). Katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ dalam beberapa penelitian sebelumnya digunakan sebagai katalis pada reaksi transesterifikasi untuk konversi minyak jarak menjadi biodiesel, sehingga dapat dikatakan bahwa dukungan dari γ-$Al_2O_3$ berfungsi untuk menyebarkan basa CaO melalui luas permukaan yang luas. Adanya peningkatan pada luas permukaan dapat meningkatkan adsorpsi dan laju reaksi (Suryanto, 2021). Selain itu, memiliki fungsi utama yaitu menyediakan area permukaan untuk komponen aktif yang bertujuan untuk memperluas kontak antara inti aktif dan reaktan tanpa mengurangi aktivitas instrinsik fasa aktif (Savitri, 2016). Suryanto (2021) telah melakukan pengembanan logam CaO pada support γ-$Al_2O_3$ menggunakan metode impregnasi, menunjukkan hasil difraktogram katalis CaO/γ-alumina terdapat kemiripan peak dengan γ-$Al_2O_3$. Hal tersebut menandakan bahwa senyawa Ca dapat terdispersi dengan baik pada support.




**Gambar 2.5** Hasil XRD katalis CaO (a)/ γ-$Al_2O_3$ (b) (Suryanto, 2021)

Telah dilakukan penelitian oleh Regnant (2018) yakni dengan mengembankan KOH/γ-$Al_2O_3$ menggunakan metode sonikasi. Adapun setelah dikarakterisasi menggunakan XRF dapat diketahui kandungan unsur Al dan K mendominasi, yakni sebesar 32,9 % dan 59,9%. Sedangkan sebelum pengembanan kandungan unsur Al sebesar 88,7% dan belum mengandung unsur K. Hal tersebut menunjukkan bahwa KOH berhasil terembankan pada permukaan γ-$Al_2O_3$. Selain itu, untuk mengetahui luas permukaan dari suatu katalis dapat dianalisis menggunakan *surface area analyzer* seperti yang dilakukan oleh Supriadi (2021) pada katalis γ-$Al_2O_3$ terdoping kalium dan kalsium. Adapun didapatkan luas permukaan K/γ-$Al_2O_3$ dan Ca/γ-$Al_2O_3$ yakni 34,0 $m^2/g$ dan 83,8 $m^2/g$. Luas permukaan yang dihasilkan mengalami penurunan dibanding luas permukaan awal dari γ-$Al_2O_3$, hal tersebut dapat terjadi sebab adanya permukaan γ-$Al_2O_3$ yang tertutupi oleh logam. Navas, dkk (2019) juga menganalisis permukaan katalis CaO yang diembankan pada γ-$Al_2O_3$ serta dimodifikasi dengan MgO secara berurut menghasilkan luas 143 $m^2/g$ dan 178 $m^2/g$.

Karakterisasi pada surface area analyzer dilakukan menggunakan metode BET (*Brunauer Emmet Teller*), dimana molekul padatan yang berada pada posisi paling atas akan berada pada kesetimbangan dinamis. Maknanya jika hanya ada satu molekul saja yang melapisi permukaan, maka molekul-molekul gas akan berada dalam kesetimbangan saat fase uap padatan. Sama halnya pada lapisan teratas ketika terdapat dua lapisan atau lebih (Bahroni, 2019). Adapun jumlah lapisan yang teradsorp dapat dilihat dengan persamaan:

$$\frac{P}{W(P_O\text{-}P)} = \frac{1}{W_m C} + \frac{(C\text{-}1)}{W_m} \times \frac{P}{P_0} \quad \text{.....(2.1)}$$

Persamaan tersebut dapat dibuat dengan membuat grafik linear dengan menempatkan $P/V(P_o - P)$ pada sumbu y dan $P/P_o$ dalam sumbu x sehingga didapatkan:

$$\text{Slope} = \frac{(C\text{-}1)}{W_m\, C} \quad \text{.....(2.2)}$$

$$\text{Intercept} = \frac{1}{W_m\, C} \quad \text{.....(2.3)}$$

Sehingga diperoleh nilai $W_m$ sebagai berikut:

$$W_m = \frac{1}{intercept + slope} \quad \text{.....(2.4)}$$

Berdasarkan persamaan 2.4 luas permukaan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

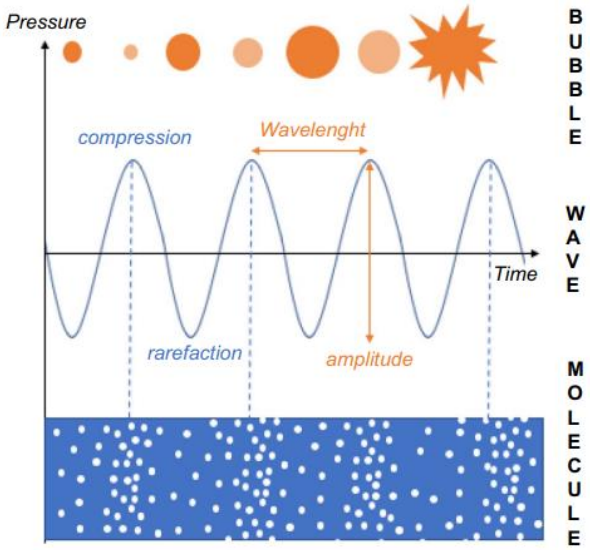
$$St = \frac{W_m \; x \; N \; x \; Acs}{M} \quad \text{.....(2.5)}$$

keterangan:

P : Tekanan gas teradsorpsi
$P_o$ : Tekanan jenuh gas yang diadsorp saat percobaan
W : Berat gas yang teradsorp
Wm : Berat gas nitrogen yang membentuk lapisan monolayer (g)
C : Konstanta BET
St : luas permukaan sampel ($m^2/g$)
Acs : *Molecular cross section* area dari $N_2$ ($16{,}2 \times 10^{-20}$ $m^2$)
N : Bilangan Avogadro ($6{,}0225 \times 10^{23}$ molekul/mol)

## 2.2 Metode Sonikasi

Pengembanan suatu katalis dapat menggunakan beberapa metode, salah satunya dengan sonikasi. Sonikasi merupakan metode yang bekerja dengan menggunakan gelombang ultrasonik, lalu diubah menjadi sinyal listrik oleh generator listrik ultrasonik sehingga dapat ditangkap menjadi getaran fisik berupa gelombang ultrasonik. Adapun gelombang ultrasonik tersebut menghasilkan efek kavitasi pada larutan yang mana dapat meyebabkan molekul pada larutan terpecah (Batan, 2015; Zain, 2021). Efek kavitasi mampu menghasilkan suhu dan tekanan tinggi sehingga dapat mempercepat terjadinya reaksi pada suhu sintesis yang relatif rendah. Selain itu juga dapat menghasilkan ukuran partikel yang kecil dan seragam dengan kemurnian yang tinggi. Kavitasi merupakan pembentukan, pertumbuhan, dan pemecahan gelembung dalam larutan (Umam, 2018). Proses kavitasi bermula saat gelombang ultrasonik mengenai larutan sehingga terbentuk gelembung (Gambar 2.6). Gelembung tersebut akan berkembang semakin besar sampai mencapai ukuran maksimum dan pecah dalam waktu singkat menghasilkan panas dan tekanan yang tinggi. Kondisi inilah yang menyediakan energi tinggi guna mengaktivasi suatu reaksi kimia (Atsabiti, 2019; Umam, 2018).




**Gambar 2.6** Efek Kavitasi (Vernes, 2020)

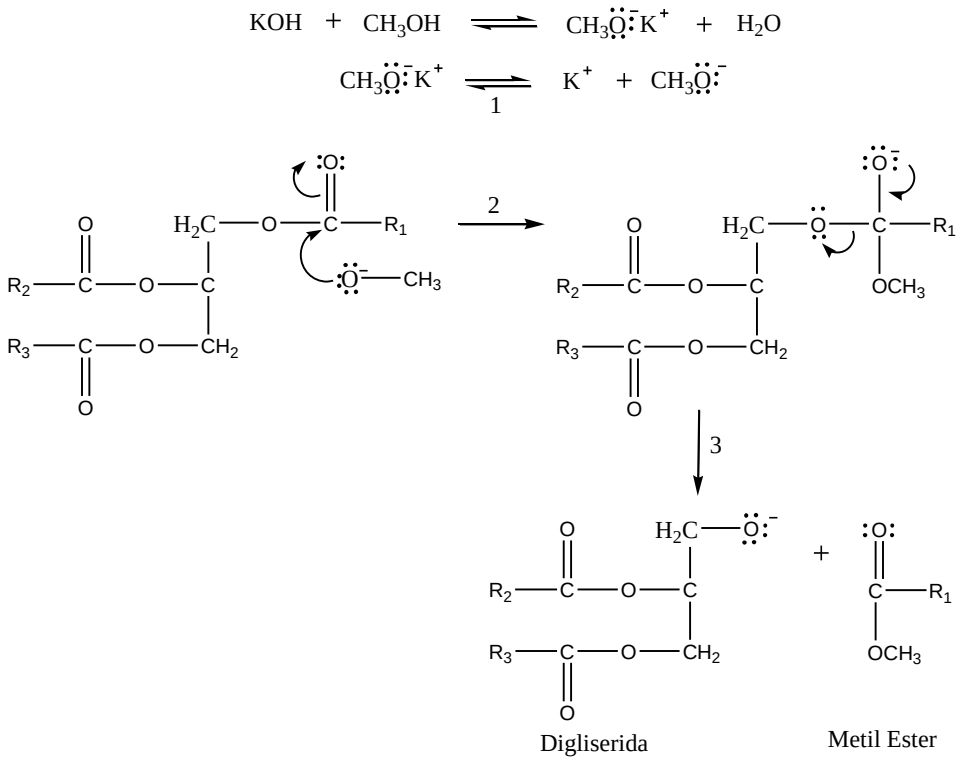
Sonikasi pada umumnya dilakukan menggunakan medium cair. Gelombang ultrasonik ditransmisi sehingga memadatkan dan melepaskan struktur pada medium. Tekanan kuat diberikan pada fase yang dilepaskan guna mengantisipasi terjadinya gaya ikat intermolekuler medim fluida yang dapat mengganggu produksi gelembung sangat kecil (Utami, 2017). metode sonikasi menggunakan gelombang ultrasonik yang berada di atas frekuensi gelombang suara yakni kisaran frekuensi 20 KHz-10 MHz (Utami, 2017; Regnant, 2018). Penelitian terkait pengembanan suatu katalis menggunakan metode sonikasi masih sedikit dilaporkan, Regnant (2018) mengembankan katalis KOH pada support γ-$Al_2O_3$. Proses pengembanan dilakukan dengan mereaksikan KOH dan γ-$Al_2O_3$ 1:4 (b/b) selama 3 jam serta dikenai radiasi ultrasonik sebesar 42 KHz. Setelah dianalisis menggunakan XRF di dapatkan % konsentrasi unsur kalium lebih besar pada metode sonikasi dibandingkan dengan metode hidrotermal dan impregnasi. Maknanya, katalis KOH dapat terembankan dengan baik pada support.

**Tabel 2.1** Kandungan unsur dalam katalis γ-$Al_2O_3$ dan KOH/ γ-$Al_2O_3$ setelah dianalisis menggunakan XRF (Regnant, 2018)

| Unsur | γ-$Al_2O_3$ (%) | KOH/γ-$Al_2O_3$ Impregnasi (%) | KOH/γ-$Al_2O_3$ Hidrotermal (%) | KOH/γ-$Al_2O_3$ Sonikasi (%) |
|---|---|---|---|---|
| Al | 88,7 | 34,8 | 38,7 | 32,9 |
| K | - | 57,9 | 54,3 | 59,9 |
| Ni | 3,81 | 3,84 | 3,54 | 3,96 |
| Ca | 2,42 | - | - | - |

### 2.3 Reaksi Transesterifikasi Pada Minyak Jarak

Minyak jarak merupakan trigliserida dari berbagai asam-asam lemak (Ismarani, 2011). Adapun minyak jarak (*Castor oil*) memiliki komposisi asam lemak diantaranya asam linoleat, asam oleat, asam stearat, dan asam risinoleat dengan konsentrasi terbesar 89,5%, sehingga seringkali disebut trigliserida risinoleat. Asam risinoleat tersusun dari satu ikatan rangkap pada 18 atom karbon serta gugus fungsional hidroksil. Gugus inilah yang menyebabkan sifat kepolaran yang tinggi dibanding asam lemak lainnya dan bertahan pada suhu tinggi atau rendah dalam keadaan cair. Minyak jarak dapat diperoleh dari biji tanaman jarak dengan metode pengempaan panas atau dengan ekstraksi pelarut. Minyak jarak tidak dapat dimanfaatkan sebagai minyak bahan pangan sebab mempunyai sifat beracun, racun tersebut terbentuk dalam betuk risin, risinin dan stabilitas alergen yang dikenal dengan sebutan CB-IA (Atmanegara, 2010; Syah, 2006; Umam, 2018).

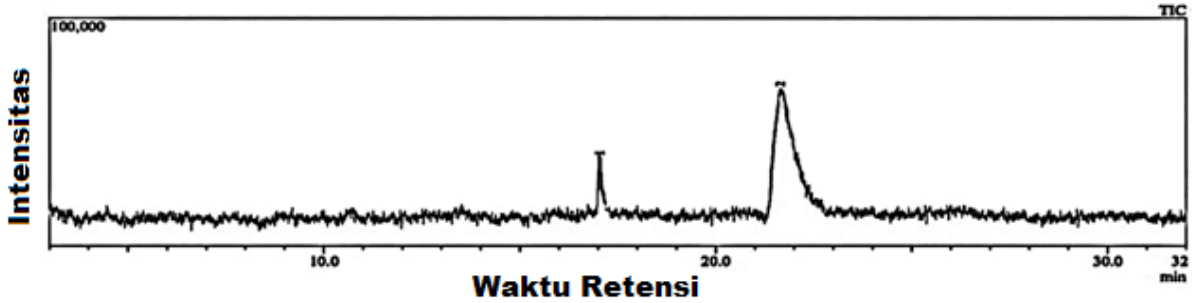



**Gambar 2.7** Mekanisme reaksi transesterifikasi dengan katalis heterogen KOH (Umam, 2018)

Umam (2018) telah melakukan penelitian menggunakan katalis KOH pada proses transesterifikasi terjadi antara katalis basa heterogen dengan metanol (Gambar 2.7). Sisi aktif yang terbentuk pada katalis mendorong terjadinya reaksi dengan metanol yang menghasilkan ion metoksida (reaksi 1). Kemudian ion metoksida menyerang gugus karbonil pada senyawa trigliserida. Penyerangan tersebut menyebabkan ikatan $\pi$ pada C=O terputus sehingga menghasilkan PEB pada atom O, zat antara, dan atom O yang bermuatan negatif (reaksi 2). Zat antara yang terbentuk menyebabkan senyawa menjadi kurang stabil,

sehingga diperlukan penataan ulang. Ikatan $\pi$ yang terletak antara atom C dan O pada ikatan rangkap akan terbentuk kembali setelah proses penataan ulang. Lalu ikatan pada atom C akan terputus dari atom O trigliserida sehingga menghasilkan digliserida dan satu molekul metil ester. Selanjutnya atom O negatif pada digliserida akan menyerang H positif dari metanol ataupun dari hasilsamping ion metoksida sehingga memicu pembentukan ion metoksida baru pada atom O negatif (reaksi 3). Reaksi transesterifikasi tersebut terus berlanjut hingga dihasilkan tiga molekul metil ester dan terbentuk gliserol (Lam, 2010; Umam, 2018).

Reaksi Transesterifikasi pada minyak jarak merupakan reaksi antara senyawa trigliserida dengan metanol membentuk metil ester-asam lemak atau *fatty acids metil ester* (FAME) dan gliserol dengan melibatkan katalis. Dalam produksi biodiesel, metanol menjadi senyawa yang paling sering dipakai sebab harganya yang tidak terlalu mahal dan ketersediaannya melimpah (Sivasamy, 2009). Reaksi transesterifikasi dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal diantaranya adalah kandungan air, kandungan asam lemak bebas, dan kandungan zat terlarut maupun tidak terlarut yang mempengaruhi reaksi. Faktor eksternal diantaranya adalah suhu, waktu, kecepatan pengadukan, jenis dan konsenterasi katalis serta jumlah rasio molar metanol terhadap minyak (Purnomo, 2020). Penambahan suatu katalis pada proses transesterifikasi dapat membuat reaksi berjalan mendekati suhu titik didih metanol yakni kisaran 60°C - 70°C. Moradi (2015) melakukan reaksi transesterifikasi menggunakan minyak jagung:metanol (1:12) dengan bantuan 6% katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ hasil pengembanan metode sol gel, menghasilkan rendemen sebesar 40%. Umam (2018) menambahkan katalis KOH/zeolit pada reaksi transesterifikasi menggunakan minyak jarak:metanol (1:15) pada suhu 60°C selama 5 jam menghasilkan rendemen sebesar 87%. Regnant (2018) telah melakukan reaksi transesterifikasi menggunakan minyak kelapa sawit:metanol (1:15) selama 6 jam pada suhu 60°C dengan bantuan 3 gram katalis KOH/γ-$Al_2O_3$ menghasilkan rendemen produk hasil reaksi sebesar 85,78%. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut dapat diketahui penggunaan rasio molar metanol yang lebih banyak terhadap minyak dapat mempengaruhi hasil konversi rendemen. Adapun fungsi katalis dalam reaksi yaitu untuk mempercepat berjalannya reaksi dengan menurunkan energi aktivasinya. Tanpa menggunakan katalis, reaksi transesterifikasi dapat berjalan pada suhu 250°C (Widyastuti, 2007).



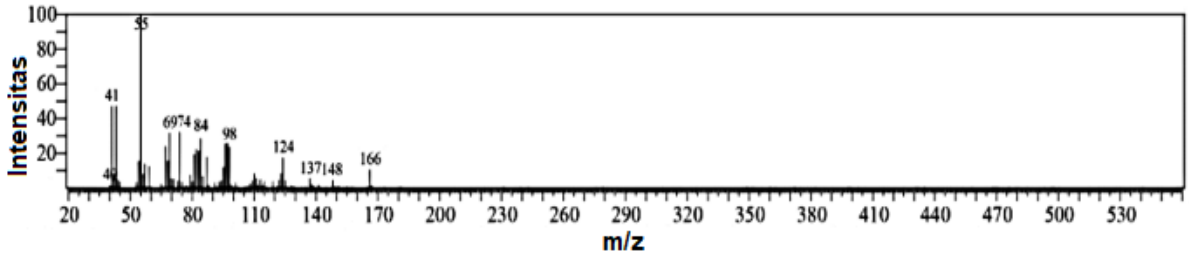

**Gambar 2.8** Kromatogram metil ester dari minyak jarak (Zakiyah, 2023)

Hasil reaksi transesterifikasi yang berupa metil ester dapat dianalisa menggunakan instrumen GC-MS. Zakiyah (2023) telah melakukan penelitian biodiesel menggunakan minyak jarak dengan katalis Zeolit NaP mesopori menghasilkan kromatogram pada Gambar 2.8. Adanya 2 puncak dengan intensitas tinggi menandakan bahwa terdapat 2 senyawa yang terkandung di dalam sampel setelah proses transesterifikasi selama 5 jam.

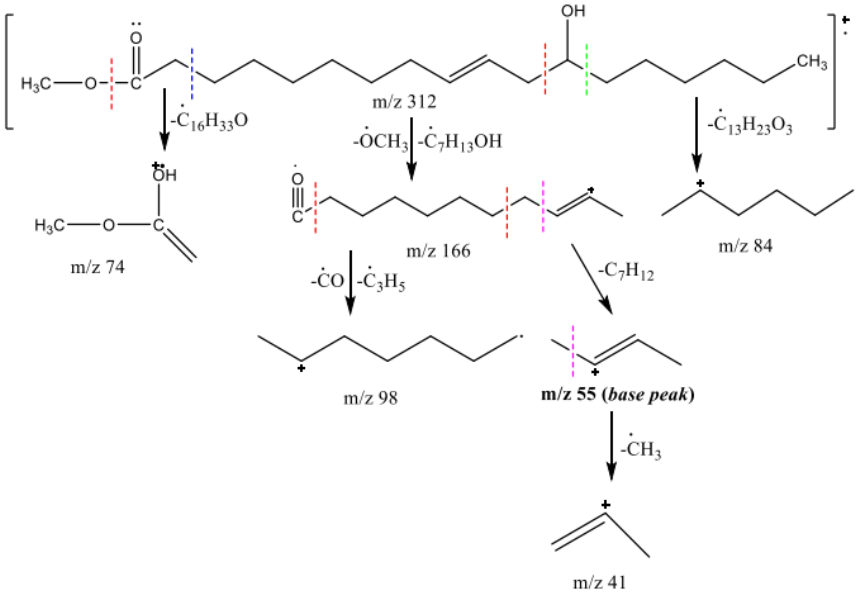
**Tabel 2.2** Komposisi metil ester hasil reaksi transesterifikasi (Zakiyah, 2023)

| Waktu retensi (menit) | Metil Ester | Area Relatif (%) |
|---|---|---|
| 17,036 | Metil Oleat | 5,25 |
| 21,301 | Metil Risinoleat | 94,25 |

Berdasarkan standart dengan waktu retensi kisaran 21,301 memiliki kemiripan hasil spektra massa dengan metil risinoleat. Hasil spektra massa dari puncak kedua dengan intensitas tertinggi ditunjukkan pada Gambar 2.9. Sedangkan pola fragmentasi dari senyawa target puncak tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.10. Adapun puncak m/z 40, 41, 55, 69, 84, 98, 124, 137, 148, dan 166 berasal dari penataan ulang Mc *Lafferty* dan m/z 55 merupakan *base peak* (Zakiyah, 2023).




**Gambar 2.9** Spektrum massa metil risinoleat (Zakiyah, 2023)




**Gambar 2.10** Pola Fragmentasi Metil Risinoleat (Zakiyah, 2023)

# BAB III
# METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan November 2023 – Januari 2024 bertempat di Laboratorium Kimia Anorganik dari UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA di Universitas Negeri Malang, Laboratorium Energi dan lingkungan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dan Laboratorium Terpadu di Universitas Islam Indonesia.

## 3.2 Alat dan Bahan

### 3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain seperangkat alat gelas, magnetic stirrer, neraca analitik, corong pisah, *hot plate*, *furnance*, botol aquades, termometer, seperangkat alat penyaring, *X-ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluoroscene* (XRF), *Surface Area Analyzer* (SAA), *Gas Chromatography-Mass Spectrophotometer* (GC-MS).

### 3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah minyak jarak komersil, kalsium Oksida (CaO), gamma alumina ($\gamma$-$Al_2O_3$), aquades, metanol, natrium sulfat anhidrat , dan kertas saring.

## 3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mensintesis katalis CaO/ $\gamma$-$Al_2O_3$ dan mengetahui pengaruh katalis CaO, $\gamma$-$Al_2O_3$, dan CaO/ $\gamma$-$Al_2O_3$ pada reaksi transesterifikasi minyak jarak. Pertama, sintesis katalis dipreparasi dengan mereaksikan CaO:$\gamma$-$Al_2O_3$ 1:4(b/b) menggunakan metode sonikasi selama 3 jam. Setelah itu katalis hasil sintesis, CaO, dan $\gamma$-$Al_2O_3$ dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui kristalinitas dari CaO/$\gamma$-$Al_2O_3$, CaO, dan $\gamma$-$Al_2O_3$. Serta menggunakan XRF untuk mengetahui bahwa katalis CaO berhasil diembankan pada pengemban $\gamma$-$Al_2O_3$ juga menggunakan SAA (*Surface Area Analyzer*) untuk mengetahui luas permukaan dari katalis. Setelah itu, katalis hasil pengembanan CaO/$\gamma$-$Al_2O_3$ dari metode sonikasi, CaO, dan $\gamma$-$Al_2O_3$ diujikan sebagai katalis pada reaksi transesterifikasi minyak jarak dengan waktu reaksi selama 5 jam pada suhu 60°C dan jumlah masing-masing katalis sebanyak 0,5% berat minyak (b/b) dengan perbandingan rasio molar metanol:minyak (1:15). Hasil reaksi transesterifikasi dengan bantuan katalis dikarakterisasi menggunakan GC-MS untuk mengetahui besar persen metil ester yang berhasil dikonversi dari minyak jarak.

## 3.4 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Sintesis katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ dengan metode Sonikasi
2. Karakterisasi CaO, γ-$Al_2O_3$, CaO/γ-$Al_2O_3$ menggunakan XRD dan SAA
3. Karakterisasi CaO/γ-$Al_2O_3$ menggunakan XRF
4. Reaksi transesterifikasi dengan katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$
5. Karakterisasi hasil reaksi transesterifikasi menggunakan GC-MS
6. Analisis data

## 3.5 Cara Kerja

### 3.5.1 Preparasi Katalis Heterogen CaO/γ-$Al_2O_3$ (Regnant, 2018)

Proses pengembanan katalis CaO pada pengemban γ-$Al_2O_3$ dilakukan dengan mereaksikan CaO dan γ-$Al_2O_3$ dengan perbandingan CaO/γ-$Al_2O_3$(b/b) 1:4 yaitu 2,5 gram CaO :10 gram γ-$Al_2O_3$ dalam 100 mL aquades. Reaksi dilakukan pada suhu ruang dibantu pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 jam. Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam alat sonikator dan dikenai radiasi ultrasonik sebesar 42 KHz selama 3 jam. Kemudian dikeringkan selama 12 jam pada suhu 120°C dan dikalsinasi selama 3 jam dengan suhu 500°C.

### 3.5.2 Karakterisasi Katalis

#### 3.5.2.1 Karakterisasi Katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Menggunakan XRD (Bahroni, 2019)

Sampel CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ dikarakterisasi menggunakan XRD. Sampel dihaluskan sampai menjadi serbuk halus, lalu ditempatkan preparat dan dipres dengan alat pengepres. Selanjutya, ditempatkan pada sampel holder dan disinari dengan sinar-X menggunakan radiasi Cu Kα sebesar 1,541 Å dengan sudur 2θ sebesar 10-90° dan kecepatan scan 0,02°/detik.

#### 3.5.2.2 Karakterisasi Katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ Menggunakan XRF (Regnant, 2018)

Karakterisasi menggunakan XRF dilakukan pada sampel katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ dengan menempatkan sebanyak 5 mg CaO/γ-$Al_2O_3$ di dalam sampel holder sinar-X.

#### 3.5.2.3 Karakterisasi Katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Menggunakan SAA (Mega, 2017)

Surface area analyzer bekerja menggunakan prinsip *degassing* dan *analyzing*. Proses *degassing* dilakukan dengan menghilangkan gas-gas yang terserap dalam kondisi *vacuum* selama 3 jam. Lalu 0,1 gram sampel dimasukkan ke dalam batang kuarsa dan diletakkan pada sampel holder. Kemudian dituangkan nitrogen cair ke dalam tabung untuk proses analisis, sehingga didapatkan data berupa luas permukaan secara spesifik. Adapun data tersebut digunakan pada persamaan berikut:

$$\frac{P}{W(P_O\text{-}P)} = \frac{1}{W_m C} + \frac{(C\text{-}1)P}{W_m\, CP} \quad \text{.....(3.1)}$$

$$\text{Slope} = \frac{(C-1)}{W_m\, C} \quad \text{.....(3.2)}$$

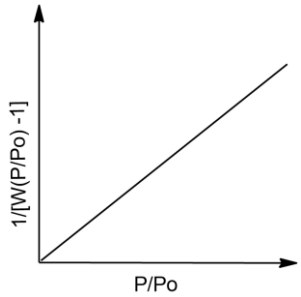
$$\text{Intercept} = \frac{1}{W_m\, C} \quad \text{.....(3.3)}$$

Selanjutnya persamaan tersebut diplotkan pada Gambar 3.1. Sehingga diperoleh nilai $W_m$:

$$W_m = \frac{1}{intercept + slope} \quad \text{.....(3.4)}$$

Luas permukaan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$St = \frac{W_m \; x \; N \; x \; Acs}{M} \quad \text{.....(3.5)}$$




**Gambar 3.1** Kurva BET

dengan keterangan:

P : Tekanan gas teradsorpsi
$P_o$ : Tekanan jenuh gas yang diadsorp saat percobaan
W : Berat gas yang teradsorp
Wm : Berat gas nitrogen yang membentuk lapisan monolayer (g)
C : Konstanta BET
St : luas permukaan sampel ($m^2$/g)
Acs : *Molecular cross section* area dari $N_2$ (16,2 x $10^{-20}$ $m^2$)
N : Bilangan Avogadro (6,0225 x $10^{23}$ molekul/mol)

### 3.5.3 Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ (Regnant, 2018)

Konversi minyak jarak menjadi metil ester melalui reaksi transesterifikasi dengan menambahkan katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ dilakukan dengan mereaksikan metanol dan minyak jarak menggunakan perbandingan rasio mol metanol:minyak jarak 15:1 yaitu 19,8 mL metanol:30 mL minyak jarak dengan jumlah katalis masing-masing sebanyak 0,5% (b/b) pada temperatur 60°C dan pengadukan menggunakan magnetic stirrer 600 rpm selama 5 jam. Lalu, katalis dipisahkan. Kemudian campuran metil ester dan gliserol didiamkan dalam corong pisah hingga terpisah. Setelah terpisah, diambil lapisan atas (metil ester) dan dimurnikan dengan aquades panas sebanyak 10% dari volume minyak dan didiamkan dalam corong pisah hingga terbentuk 2 lapisan. Selanjutnya lapisan atas diambil dan disaring dengan tambahan $Na_2SO_4$ anhidrat.

### 3.5.4 Karakterisasi Metil Ester Hasil Reaksi Transesterifikai Menggunakan Katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Menggunakan GC-MS (Regnant, 2018)

Produk hasil reaksi transesterifikasi dianalisis menggunakan GC-MS yang dikondisikan sebagai berikut:

| | |
|---|---|
| Jenis Kolom | : Rastek RXi-5MS |
| Panjang Kolom | : 30 meter |
| ID | : 0.25 mm |
| Gas Pembawa | : Helium |
| Sistem ionisasi | : *Electron impact* |
| Energi ionisasi | : 70 ev |
| Suhu kolom | : 80°C |
| Suhu Injektor | : 310°C |
| *Injection mode* | : Split |
| Tekanan gas pembawa | : 13.7 kPa |
| Kecepatan aliran gas | : 0,5 mL/menit |
| Suhu detektor | : 250°C |

Instrumen ini digunakan untuk memisahkan campuran senyawa organik menjadi suatu komponen-komponen dan meramalkan struktur kimia dari masing-masing komponen tersebut. Adapun % metil ester dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\%\,Metil\ Ester = \frac{\text{Luas Area}}{\text{Total luas area}} \times 100\% \quad \text{.....3.6}$$

### 3.5.5 Analisa Data

#### 3.5.5.1 Analisa Data Hasil Karakterisasi CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Menggunakan XRD

Data hasil karakterisasi katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ menggunakan XRD yang diperoleh adalah berupa difraktogram. Kristalinitas katalis ditentukan oleh kemunculan puncak pada daerah 2θ pada difraktogram. Kemudian puncak-puncak yang terbentuk pada difraktogram dibandingkan dengan standar untuk mengetahui kesesuaian katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ dengan refrensi. Adapun semakin rendah puncak katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ yang terbentuk pada 2θ dapat dikatakan bahwa CaO telah teremban pada γ-$Al_2O_3$.

#### 3.5.5.2 Analisa Data Hasil Karakterisasi CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Menggunakan XRF

Hasil dari karakterisasi CaO/γ-$Al_2O_3$ menggunakan XRF menghasilkan data berupa difraktogram. Puncak yang muncul pada difraktogram menunjukkan bahwa CaO telah teremban ke dalam γ-$Al_2O_3$. Tinggi puncak menunjukkan banyaknya CaO yang telah teremban ke dalam γ-$Al_2O_3$. Guna mempermudah pemahaman mengenai data hasil

difraktogram dari analisa XRF akan disajikan dalam bentuk tabel sehingga presentase kadar CaO lebih jelas.

#### 3.5.5.3 Analisa Data Hasil Karakterisasi CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Menggunakan SAA

Karakterisasi dengan SAA (*Surface Area Analyzer*) pada sampel katalis menghasilkan data yang dapat dihitung menggunakan persamaan BET sehingga dapat diketahui luas permukaan dari material, sehingga dapat dianalisa pengaruh pengembanan logam CaO pada γ-$Al_2O_3$ terhadap luas permukaan katalis.

#### 3.5.5.4 Analisa Data Hasil Karakterisasi Metil Ester dari Reaksi Transeterifikasi Minyak Jarak Menggunakan GC-MS

Data hasil karakterisasi metil ester hasil dari reaski transesterifikasi minyak jarak menggunakan GC-MS yang diperoleh adalah berupa kromatogram. Puncak yang muncul pada kromatogram dicocokkan dengan standar untuk mengetahui spektrum massa dan pola fragmentasi dari metil ester yang telah terbentuk dari reaksi transesterifikasi minyak jarak dengan bantuan katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$.

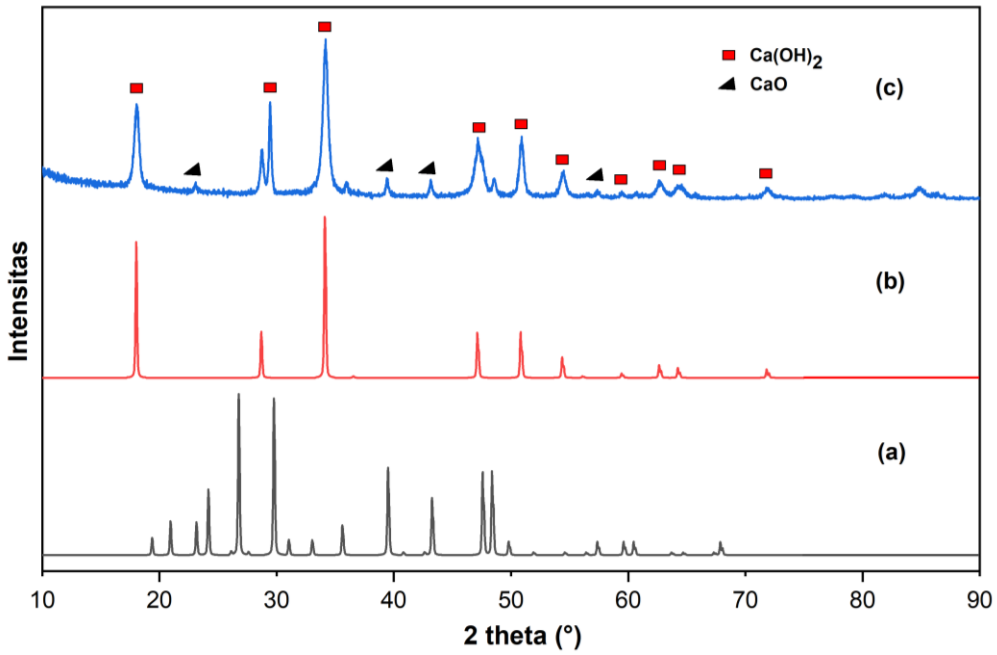
# BAB IV

# PEMBAHASAN

## 4.1 Karakteristik CaO/γ-$Al_2O_3$ Hasil Sintesis Dengan Metode Sonikasi

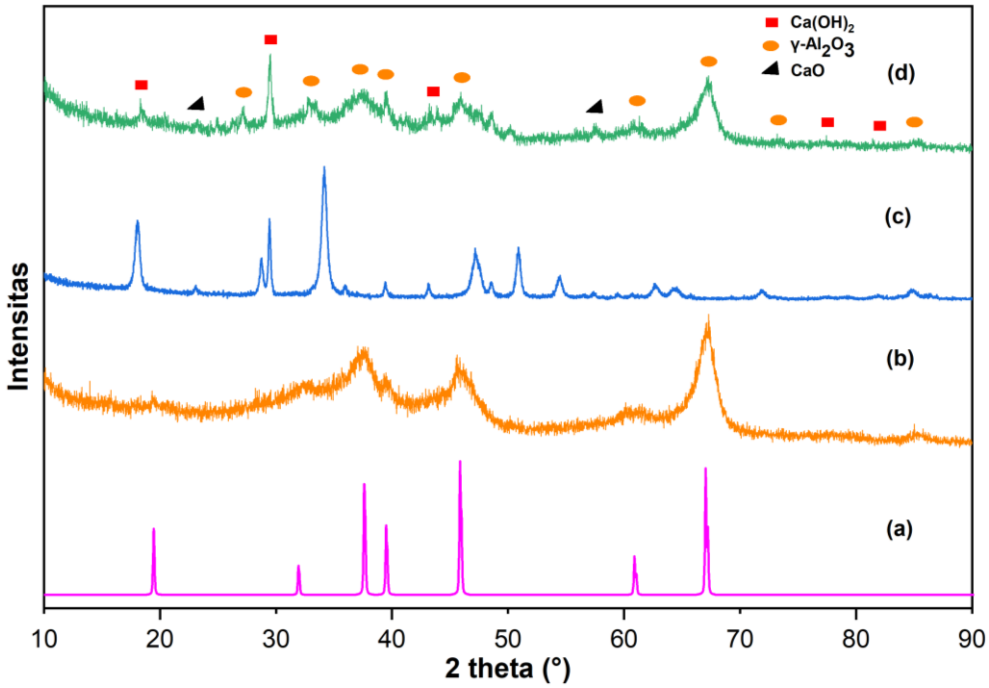
Metode sonikasi menggunakan prinsip pemecahan reaksi intermolekuler dengan memberikan perlakuan ultrasonik pada suatu sistem. Sonikasi juga menyebabkan efek kavitasi dimana hal ini mempercepat proses pengembanan inti aktif dibandingkan dengan metode lainnya. Sintesis dilakukan melalui empat tahap yakni pelarutan CaO dan γ-$Al_2O_3$ (1:4 (b/b)) dalam pelarut air, sonikasi, evaporasi, dan kalsinasi. Reaksi antara CaO dengan γ-$Al_2O_3$ menyebabkan terjadinya interaksi secara fisik antar keduanya.

Proses pemanasan (kalsinasi) CaO yang diembankan pada γ-$Al_2O_3$ digunakan untuk menghilangkan zat volatil dari CaO dan menghilangkan kandungan air dari permukaan suatu katalis. Pemilihan suhu kalsinasi dapat berpengaruh terhadap karakteristik struktur suatu material yakni ketika material dipanaskan maka terjadi peningkatan energi yang menyebabkan atom-atom akan bergerak pada jarak yang lebih besar. Yu (2011) melakukan variasi suhu kalsinasi menghasilkan ukuran partikel CaO sebesar 69 nm dengan interaksi CaO-Al terjadi secara lemah pada suhu 500°C, sedangkan pada suhu 600°C interaksi terjadi secara kuat akan tetapi ukuran partikel mengalami penurunan menjadi 54 nm, dan pada suhu 700°C interaksi CaO-Al menjadi lebih kuat lagi sehingga CaO mulai bereaksi dengan γ-$Al_2O_3$ membentuk kalsium aluminat. Oleh sebab itu, penelitian ini telah menggunakan suhu 500°C sehingga proses pengembanan hanya berikatan secara fisik saja.




**Gambar 4.1** Difraktogram XRD (a) Standar CaO (JCPDS 017-0912); (b) Standar $Ca(OH)_2$ (JCPDS 044-1481); (c) CaO Komersil

Pada Gambar 4.1 didapatkan difraktogram dari CaO komersil memiliki kemiripan puncak dengan standar $Ca(OH)_2$ dan CaO. Hal ini dapat terjadi sebab CaO yang bersifat higroskopis memungkinkan menyerap uap air dari udara sehingga membentuk senyawa $Ca(OH)_2$. Hal ini sesuai dengan penelitian Widiarti (2017) yang menyebutkan bahwa $Ca(OH)_2$ dapat terbentuk karena CaO mudah bereaksi dengan $H_2O$ dari udara setelah proses kalsinasi. Selain itu, suhu kalsinasi CaO dapat berpengaruh terhadap proses pembentukan senyawa CaO. Nordin (2015) melakukan variasi temperatur kalsinasi pembentukan CaO, didapatkan hasil variasi terbaik pada suhu 800°C.




**Gambar 4.2** Difraktogram XRD (a) Standar $\gamma$-$Al_2O_3$ (JCPDS 010-0425); (b) $\gamma$-$Al_2O_3$ komersil; (c) CaO komersil; (d) CaO/$\gamma$-$Al_2O_3$

Struktur dan kritalinitas dari hasil pengembanan dengan kalsinasi 500°C dapat diketahui dengan analisa XRD. Selain itu, penggunaan XRD juga dapat mengetahui bahwa CaO dan $\gamma$-$Al_2O_3$ hanya berikatan secara fisik sehingga tidak membentuk senyawa baru. Keberhasilan dalam modifikasi CaO terhadap $\gamma$-$Al_2O_3$ dapat dilihat dari puncak-puncak pada difraktogram hasil sintesis dibandingkan dengan sebelum proses pengembanan. Pada Gambar 4.2 menunjukkan hasil difraktogram dari CaO komersil, $\gamma$-$Al_2O_3$ komersil, dan CaO/$\gamma$-$Al_2O_3$. Adapun setelah penambahan CaO pada hasil difraktogram $\gamma$-$Al_2O_3$ menunjukkan kristalinitas $\gamma$-$Al_2O_3$ mengalami penurunan yang disebabkan oleh CaO yang menempel pada sisi aktif permukaan dari $\gamma$-$Al_2O_3$ (Lampiran 3.1.5). Keberhasilan pengembanan CaO/$\gamma$-$Al_2O_3$ ditandai dengan munculnya puncak baru pada $2\theta$= 18°, 23°, 29°, 73°, 81° yang sesuai dengan punyak CaO komersil. Selain itu juga ditandai dengan intensitas puncak difraktogram yang berkurang pada $\gamma$-$Al_2O_3$, yakni daerah $2\theta$ = 38°, 46°, dan 67°. Berdasarkan difraktogram Gambar 4.2 menunjukkan bahwa proses kalsinasi 500°C tidak membentuk senyawa baru. Hal ini juga diperkuat dengan hasil penelitian yang

telah dilakukan Yu (2011) yang menyatakan bahwa pada suhu kisaran 500°C interaksi CaO pada permukaan γ-$Al_2O_3$ menunjukkan ikatan yang lemah sehingga hanya berikatan secara fisik dan tidak membentuk senyawa lainnya seperti kalsium aluminat (Lampiran 3.1.4). Selain itu hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/ γ-$Al_2O_3$ bersifat kristalin yang kurang reaktif daripada amorf. Hal ini ditandai dengan munculnya peak dari masing-masing senyawa, dimana semakin tinggi dan sempit suatu peak menunjukkan sifat kristalinitas semakin besar.

Adapun keberhasilan dari pengembanan juga dikonfirmasi dengan analisa menggunakan XRF. Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan XRF pada Tabel 4.1, terlihat bahwa kandungan Al dalam senyawa γ-$Al_2O_3$ sebesar 95,3%, sedangkan setelah pengembanan terjadi penurunan menjadi 61,9% dan unsur Ca sebesar 1,1% yang mengalami peningkatan menjadi 36,4%. Adanya peningkatan pada jumlah komposisi dari unsur Ca setelah pengembanan sesuai dengan semakin banyaknya jumlah logam CaO yang ditambahkan. Terjadinya penurunan kandungan Al dan peningkatan unsur Ca setelah pengembanan memperkuat hasil analisis sebelumnya yang menyatakan bahwa CaO berhasil terembankan dengan baik dalam γ-$Al_2O_3$.

**Tabel 4.1** Kandungan unsur dalam γ-$Al_2O_3$ dan CaO/γ-$Al_2O_3$ Hasil XRF

| **Unsur** | **γ-$Al_2O_3$ (%)** | **CaO/ γ-$Al_2O_3$ (%)** |
|---|---|---|
| Al | 95,3 | 61,9 |
| P | 2,0 | 0,78 |
| Ca | 1,1 | 36,4 |
| Cr | 0,17 | 0,13 |
| Mn | 0,13 | 0,08 |
| Fe | 0.30 | 0,22 |
| Ni | 0,06 | 0,01 |
| Cu | 0,10 | 0,10 |
| Zn | - | 0,04 |
| Ga | 0,16 | 0,07 |
| Yb | - | 0,2 |
| Re | - | 0,08 |
| Sc | 0,02 | - |
| Pr | 0,51 | - |

Selanjutnya hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA) untuk mengetahui luas permukaan dari katalis. Pada suatu katalis, luas permukaan merupakan sifat yang penting sebab dapat digunakan untuk mengetahui aktivitas dan selektivitas (Mega, 2017). Pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa luas permukaan γ-$Al_2O_3$ setelah proses pengembanan mengalami penurunan menjadi 65,9 $m^2/g$, sedangkan CaO mengalami peningkatan luas permukaan setelah adanya proses pengembanan. Penurunan pada luas permukaan γ-$Al_2O_3$ dapat disebabkan karena adanya logam CaO yang menutupi permukaan dari γ-$Al_2O_3$. Supriadi (2021) melaporkan bahwa pengembanan logam CaO pada γ-$Al_2O_3$ dapat menyebabkan luas permukaannya menurun, sebab ukuran molekul

CaO (9 nm) yang lebih besar dari ukuran pori γ-$Al_2O_3$ (4 nm) dan penyebaran CaO yang tidak merata.

**Tabel 4.2** Luas Permukaan hasil karakterisasi dengan SAA

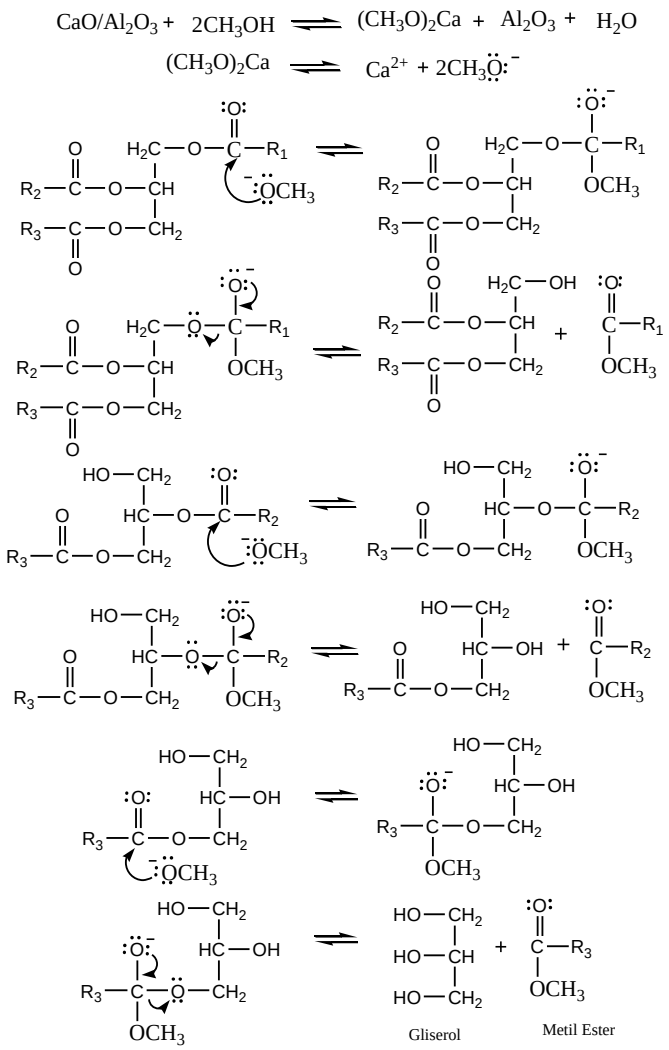
| Katalis | Luas Permukaan ($m^2/g$) |
|---|---|
| CaO | 6,611 |
| γ-$Al_2O_3$ | 126,187 |
| CaO/ γ-$Al_2O_3$ | 65,900 |

### 4.2 Analisis GC-MS Produk Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak

Katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, CaO/γ-$Al_2O_3$ yang telah dianalisis selanjutnya digunakan untuk katalis pada reaksi transesterifikasi minyak jarak. Reaksi transesterifikasi dilakukan menggunakan reaktor sederhana pada temperatur 60°C selama 5 jam dengan perbandingan molar minyak jarak dan metanol 1:15. Adapun penggunaan perbandingan rasio metanol lebih besar dibandingkan minyak jarak bertujuan agar dapat menghasilkan produk metil ester yang lebih banyak. Perbandingan jumlah molar metanol yang lebih besar akan menggeser reaksi ke arah produk sehingga dapat menghasilkan produk yang lebih maksimal.

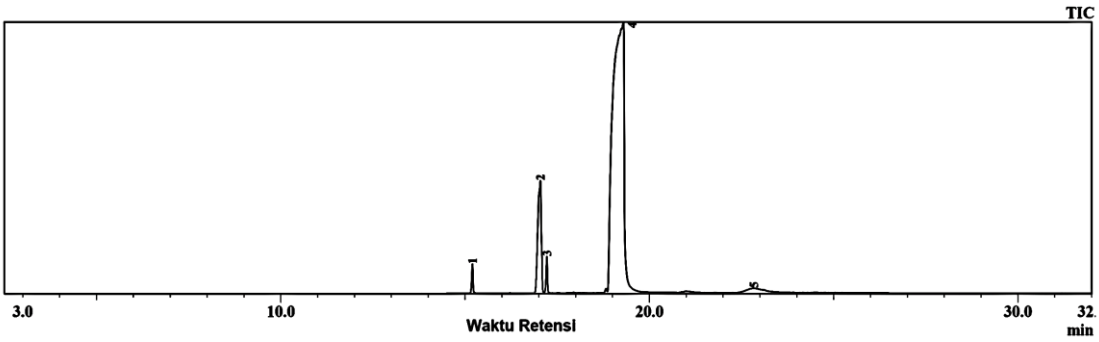
Produk metil ester dari minyak jarak setelah proses transesterifikasi masih bercampur dengan produk samping lainnya seperti gliserol, sehingga perlu dipisahkan. Produk yang dihasilkan sebelum dipisahkan masih membentuk 2 lapisan yakni lapisan atas berupa metil ester, lapisan bawah berupa gliserol dan sisa katalis. Pemurnian lapisan atas dapat dilakukan menggunakan aquades panas. Proses pemurnian menghasilkan dua lapisan, lapisan atas yakni produk metil ester dan lapisan bawah berupa gliserol sisa dan air. Pemurnian dilakukan secara berulang untuk memaksimalkan pemisahan produk dengan gliserol. Sisa air pada produk dapat diikat dengan penambahan $Na_2SO_4$ anhidrat. Proses pemisahan tersebut berdasarkan ekstraksi cair-cair, dimana gliserol yang berfasa polar akan larut dalam aquades, sedangkan metil ester dan minyak yang berfasa non polar tidak akan ikut larut.

Reaksi transesterifikasi berlangsung dengan adanya reaksi antara katalis basa heterogen dengan metanol. Proses ini juga berlangsung dengan pengadukan kuat yang mempercepat proses adsorpsi trigliserida dari metanol dan minyak jarak pada permukaan katalis. Sisi aktif dari katalis basa heterogen CaO yang bereaksi dengan metanol sehingga menghasilkan ion metoksida yang akan menyerang gugus karbonil C=O pada senyawa trigliserida. Sehingga mampu menghasilkan produk metil ester dan produk samping gliserol. Reaksi transesterifikasi dengan katalis basa heterogen CaO diilustrasikan pada Gambar 4.3.

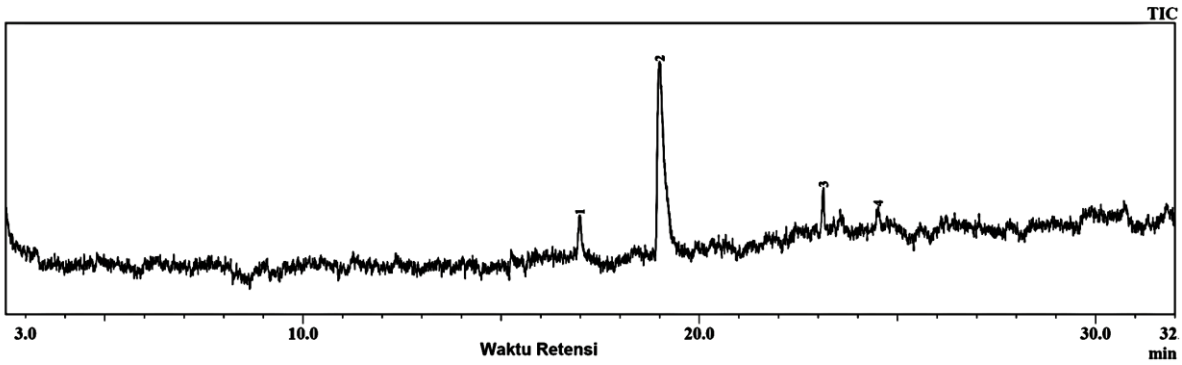



**Gambar 4.3** Dugaan Mekanisme reaksi transesterifikasi menggunakan katalis CaO/γ-$Al_2O_3$

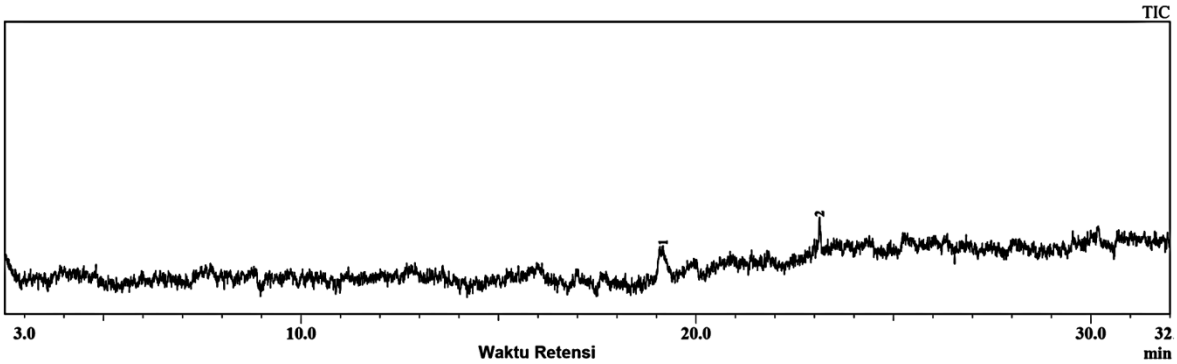
Selanjutnya produk metil ester dianalisis menggunakan kromatografi gas untuk mengetahui senyawa yang terkandung di dalamnya, serta spektroskopi massa untuk mempermudah mengetahui jenis senyawa yang dihasilkan dengan nilai m/z dari hasil fragmentasi. Adapun jenis komponen dari senyawa dapat diketahui dengan membandingkan hasil spektroskopi massa senyawa yang ditargetkan dengan spektrometri standar dari WILLEY7. LIB. Hasil karakterisasi menggunakan GC-MS dengan variasi katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ sebagai berikut:




**Gambar 4.4** Kromatogram produk reaksi transesterifikasi menggunakan katalis CaO




**Gambar 4.5** Kromatogram produk reaksi transesterifikasi menggunakan katalis γ-$Al_2O_3$




**Gambar 4.6** Kromatogram produk reaksi transesterifikasi menggunakan katalis CaO/γ-$Al_2O_3$

Berdasarkan hasil kromatogram pada reaksi transesterifikasi minyak jarak menggunakan katalis CaO pada Gambar 4.4 menunjukkan adanya 5 puncak dengan intensitas tinggi. Hal ini menandakan bahwa terdapat 5 senyawa yang terkandung dalam sampel. Puncak tertinggi berada pada puncak keempat yang merupakan kandungan terbesar dalam sampel. Sedangkan hasil kromatogram menggunakan katalis γ-$Al_2O_3$ menghasilkan 4 puncak yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Adanya puncak-puncak tersebut menandakan adanya 4 senyawa di dalam sampel dengan puncak tertinggi pada puncak ketiga. Sedangkan hasil kromatogram pada transesterifikasi menggunakan katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ pada Gambar 4.6 terdapat 2 puncak yang menandakan adanya 2 senyawa dalam sampel.

**Tabel 4.3** Komposisi metil ester hasil reaksi transesterifikasi menggunakan katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, CaO/γ-$Al_2O_3$

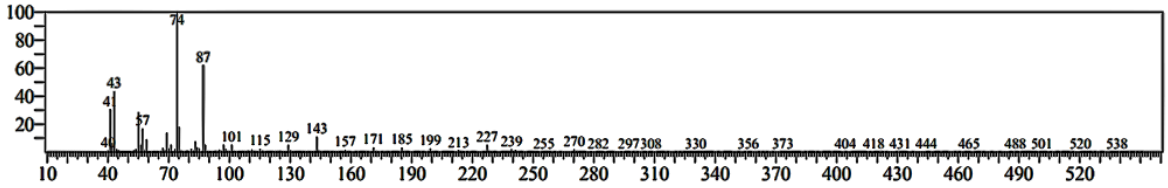
| Katalis [0,5 %(b/b)] | Waktu Retensi (menit) | Metil Ester | Area Realtif (%) |
|---|---|---|---|
| CaO | 15,199 | Metil Palmitat | 1,01 |
| | 17,040 | Metil Oleat | 10,75 |
| | 17,220 | Metil Stearat | 1,33 |
| | 19,296 | Metil Risinoleat | 84,63 |
| γ-$Al_2O_3$ | 16,985 | Metil Linoleat | 9,36 |
| | 18,999 | Metil Risinoleat | 84,69 |
| | 24,515 | Metil Miristat | 1,49 |
| CaO/γ-$Al_2O_3$ | 19,164 | Metil Risinoleat | 85,82 |

Pada Tabel 4.3 kadar metil risinoleat yang dihasilkan pada variasi katalis hasil pengembanan CaO/γ-$Al_2O_3$ lebih tinggi dibandingan variasi penggunaan katalis CaO dan γ-$Al_2O_3$. Berdasarkan GC-MS kadar metil risinoleat sebesar 85,82% dengan penggunaan katalis CaO/γ-$Al_2O_3$, sedangkan penggunaan katalis CaO dan γ-$Al_2O_3$ secara berurutan sebesar 84,63% dan 84,69%. Akan tetapi intensitas puncak kromatogram metil risinoleat pada senyawa CaO (Gambar 4.4) menghasilkan puncak yang tinggi, hal ini menandakan bahwa kelimpahan senyawanya lebih banyak dan sama halnya dengan Gambar 4.5 yang menunjukkan puncak metil risinoleat dengan intensitas yang tinggi pada γ-$Al_2O_3$. Sedangkan intensitas puncak metil risinoleat CaO/γ-$Al_2O_3$ yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 lebih rendah yang menandakan kelimpahan senyawanya lebih sedikit.

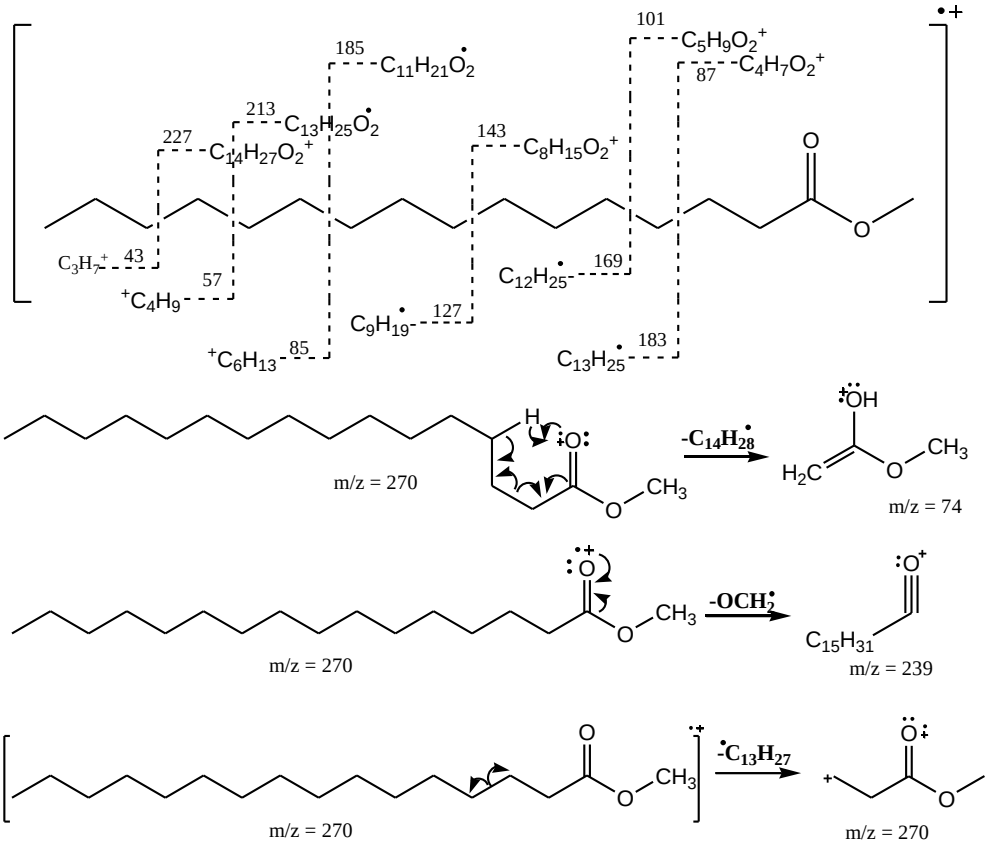
Zakiyah (2023) telah melakukan penelitian dan menghasilkan metil risinoleat sebesar 94,75% dan metil oleat 5,25% dengan intensitas puncak yang tinggi pada reaksi transesterifikasi menggunakan minyak jarak. Umam (2018) juga menghasilkan puncak metil risinoleat dengan intensitas tinggi dan kadarnya sebesar 77,14% pada reaksi transesterifikasi minyak jarak. Kemampuan selektivitas dan aktivitas pada suatu katalis bergantung pada jenis katalis yang digunakan. Kurangnya selektivitas dan aktivitas pada katalis hasil pengembanan dapat disebabkan oleh katalis logam yang terdispersi kurang merata pada pengembanan sehingga menurunkan luas permukaan katalis dan dapat menurunkan kinerja dari katalis. Selain itu juga dapat disebabkan oleh jumlah katalis yang digunakan yakni 0,5% (b/b). Marinkovic (2015) melaporkan bahwa adanya peningkatan kelimpahan metil ester setelah menambahkan jumlah katalis pengembanan yang digunakan dari 1% (b/b) menjadi 5%(b/b). Waisi (2016) juga melakukan variasi jumlah % katalis pengembanan dan melaporkan bahwa semakin banyak jumlah katalis pengembanan yang digunakan maka dapat menghasilkan konversi produk metil ester yang lebih tinggi.

Hasil kromatogram transterifikasi menggunakan katalis CaO terdapat senyawa non-metil ester pada puncak kelima yaitu Z-9-Octadecen-1-ol yang merupakan golongan senyawa alkohol sebesar 2,27% dengan waktu retensi 22,833 menit dan m/z 268. Senyawa non-metil ester juga muncul pada kromatogram variasi katalis γ-$Al_2O_3$ pada puncak ketiga dan CaO/γ-$Al_2O_3$ puncak kedua. Senyawa tersebut yakni (CAS) squalene berupa senyawa polihidrokarbon dengan rentang waktu retensi 23,129-23,133 menit dan m/z 410 secara berurut sebesar 4,46% dan 14,18%.

Puncak spektra hasil dari spektroskopi massa yang dibandingkan standar WILLEY7.LIB pada waktu retensi 15,199 menit diduga memiliki kemiripan dengan hasil spektra metil palmitat. Hasil spektra metil palmitat ditunjukkan pada Gambar 4.7. Perkiraan pola Fragmentasi ditunjukkan pada Gambar 4.8.



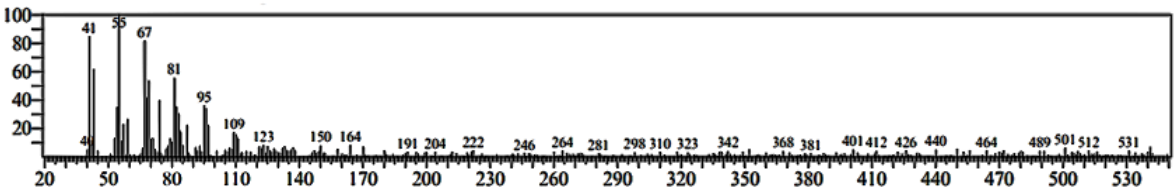

**Gambar 4.7** Spektra massa senyawa target (metil palmitat) pada waktu retensi 15,199



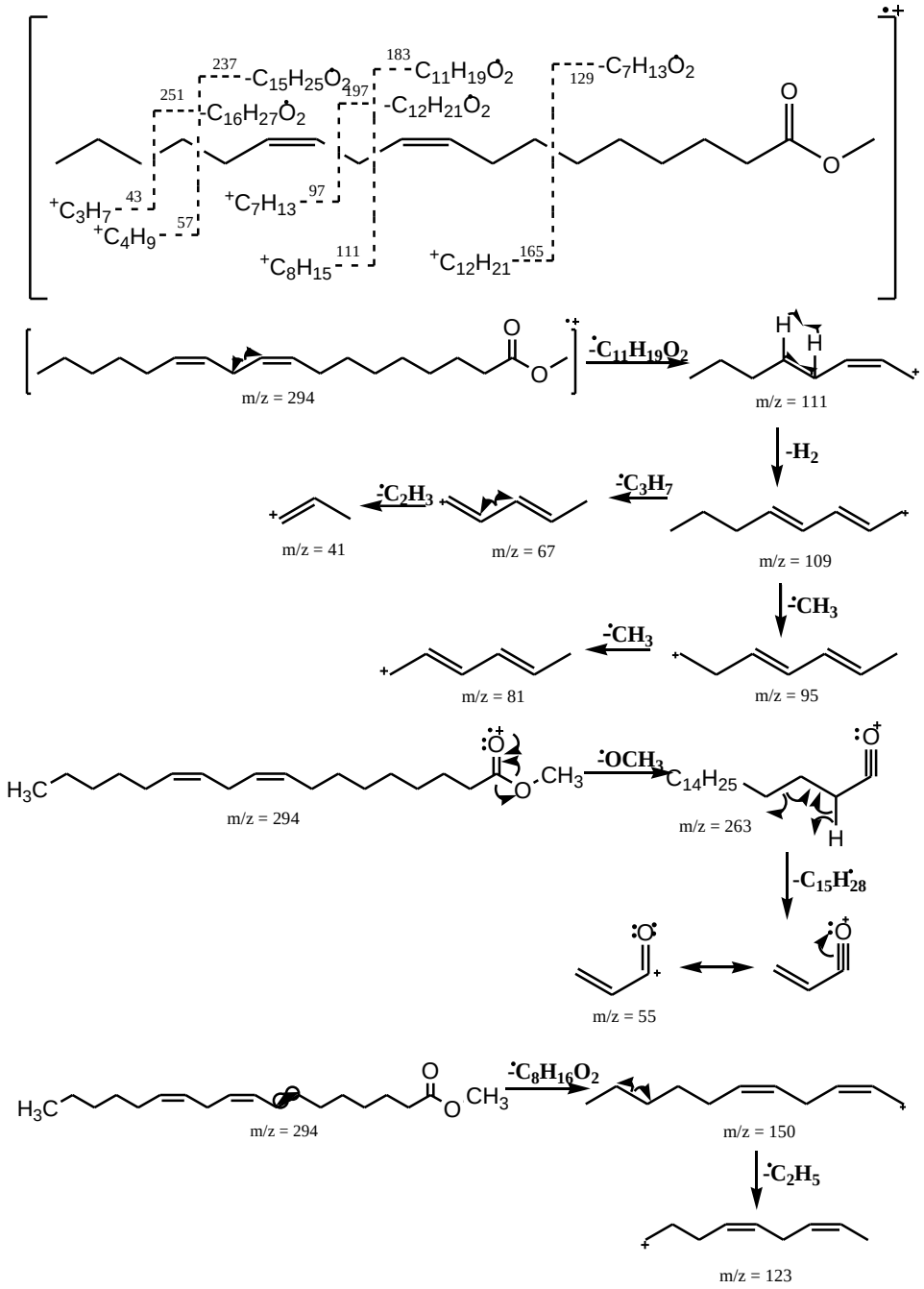

**Gambar 4.8** Perkiraan pola fragmentasi metil palmitat pada waktu retensi 15,199

Gambar 4.7 menunjukkan spektra massa dari metil palmitat dengan rumus molekul $C_{17}H_{34}O_2$ dan m/z 270. Adapun puncak dasar (*base peak*) terdapat pada m/z 74 yang terbentuk dengan melepaskan $C_{14}H_{28}$. Sedangkan puncak-puncak lainnya dapat terbentuk akibat pemutusan dari ikatan C-C.

Berdasarkan standart WILLEY7.LIB waktu retensi 16,985 menit memiliki kemiripan dengan spektra massa dari metil linoleat. Adapun hasil spektra massa metil linoleat ditunjukkan pada Gambar 4.9. Sedangkan perkiraan pola Fragmentasi ditunjukkan pada Gambar 4.10.



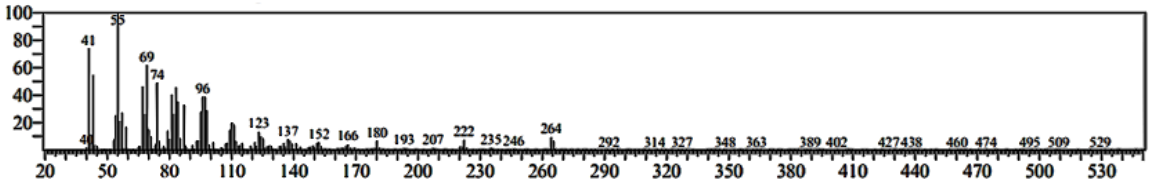

**Gambar 4.9** Spektra massa senyawa target (metil linoleat) pada waktu retensi 16,985



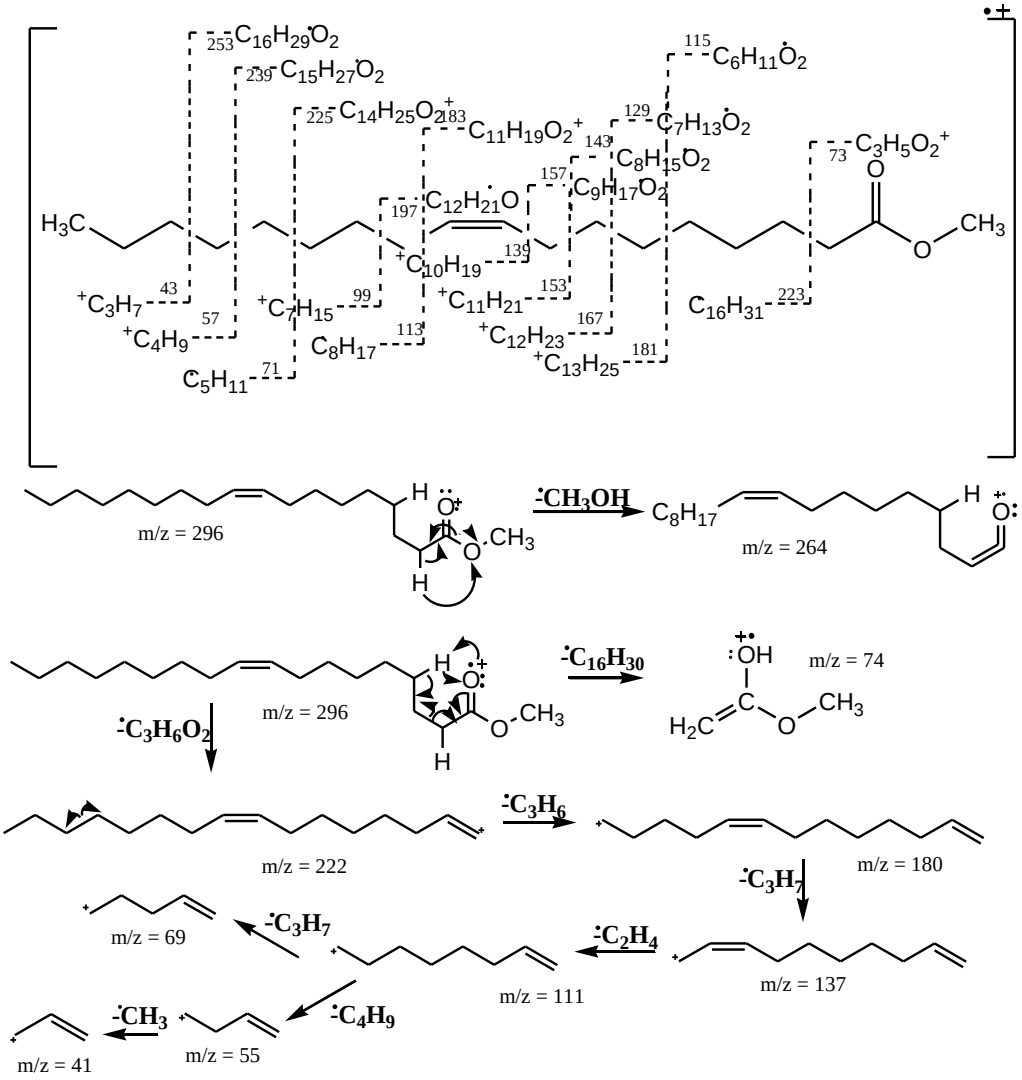

**Gambar 4.10** Perkiraan fragmentasi metil linoleat pada waktu retensi 16,985

Gambar 4.9 diduga menunjukkan spektra massa dari metil linoleat ($C_{19}H_{34}O_2$) dengan m/z 294. Adapun m/z 67 dalam bentuk $C_5H_7^+$ merupakan puncak dasar yang terbentuk dengan melepaskan $C_{14}H_{27}O_2$. Sedangkan puncak ion molekuler m/z 264 berasal dari pemutusan gugus $OCH_3$ pada m/z 294 sehingga terbentuk $C_{18}H_{31}O^+$. Selanjutnya ion molekuler m/z 55 terbentuk dari penataan ulang MC Lafferty.

Spektra massa yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 memiliki waktu retensi 17,042 menit. Pola spektra yang muncul diduga merupakan metil oleat setelah dibandingkan dengan standar WILLEY7.LIB. Perkiraan pola fragmentasi ditunjukkan pada Gambar 4.12.



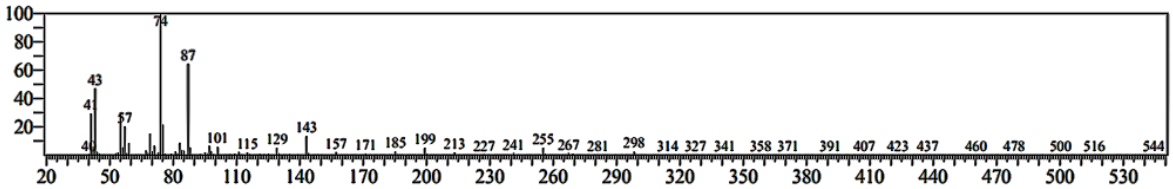

**Gambar 4.11** Spektra massa senyawa target (metil oleat) pada waktu retensi 17,040



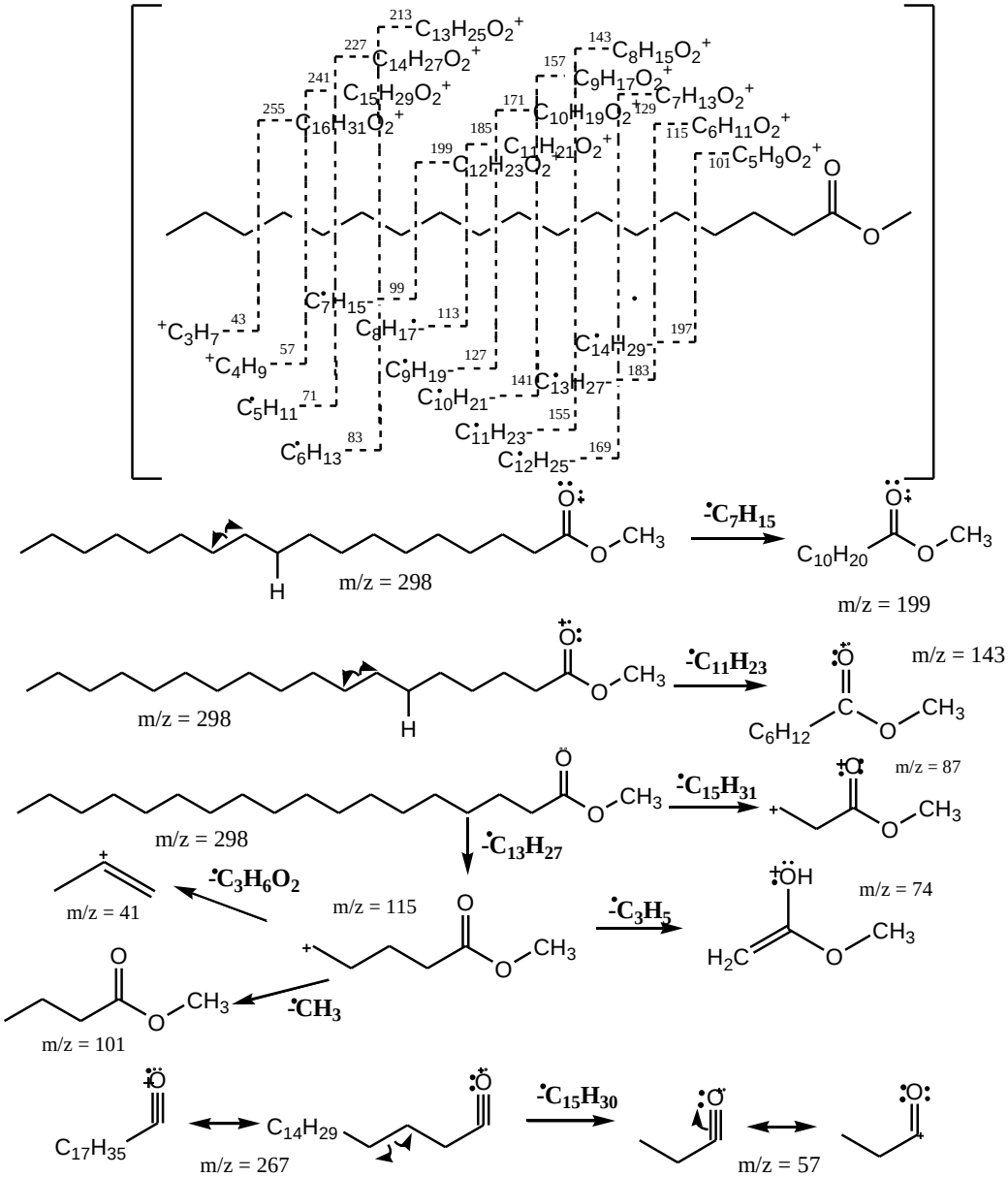

**Gambar 4.12** Perkiraan fragmentasi metil oleat pada waktu retensi 17,040

Berdasarkan spektra massa pada Gambar 4.11 puncak $M^+$ metil oleat ($C_{19}H_{36}O_2$) dengan m/z 296 tidak teridentifikasi, akan tetapi muncul $M^+$ pada m/z 264. Hal ini dapat tejadi sebab metil oleat tidak stabil sehingga ketika diuapkan maka langsung terjadi pelepasan ion $CH_3OH$ sehingga puncak ion massa terdeteksi pada m/z 264. Adapun puncak dasar tedapat pada m/z 55 berasal dari $C_4H_7^+$. Puncak m/z 74 terbentuk dari pelepasan gugus $C_{16}H_{30}$ dengan penataan ulang Mc Lafferty sehingga terbentuk $C_3H_6O_2^+$. Sedangkan puncak-puncak lainnya berasal dari pemutusan C-C.

Puncak yang muncul pada waktu retensi 17,220 menit diduga merupakan metil stearat setelah dibandingkan dengan standar WILLEY7.LIB. Hasil spektra massa ditunjukkan pada Gambar 4.13. Sedangkan dugaan fragmentasi ditunjukkan pada Gambar 4.14.




**Gambar 4.13** Spektra massa senyawa target (metil stearat) pada waktu retensi 17,220

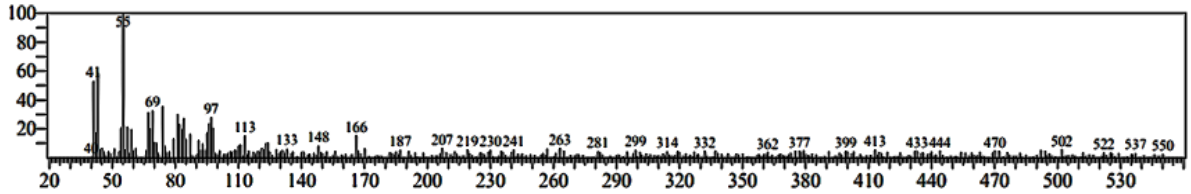



**Gambar 4.14** Perkiraan fragmentasi metil stearat pada waktu retensi 17,220

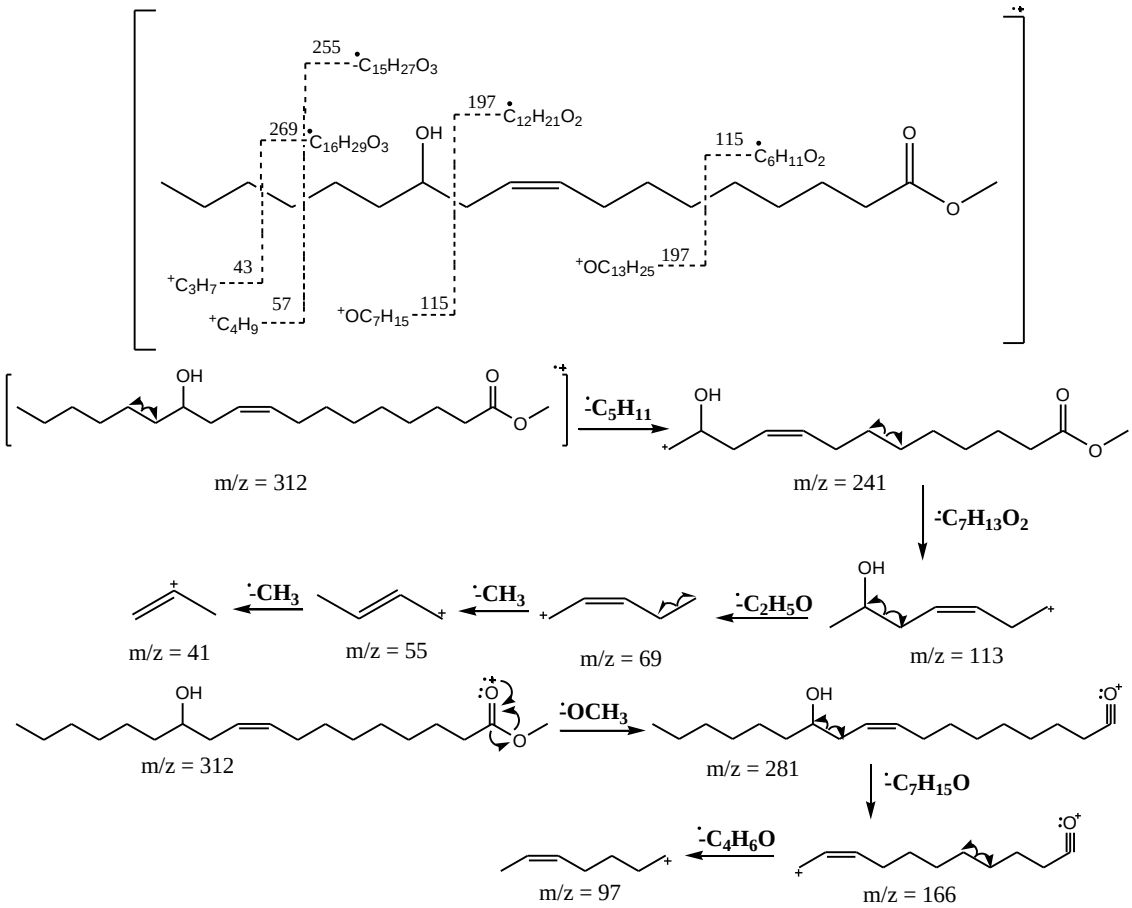
Pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa senyawa target merupakan metil stearat ($C_{19}H_{38}O_2$) dengan ion molekuler m/z 298. Adapun puncak dasar terdapat pada m/z 74 yang berasal dari $C_3H_6O_2^+$. Selanjutnya ion m/z 267 yang terbentuk dari $C_{18}H_{35}O^+$. Adapun puncak-puncak lainnya terbentuk dari pemutusan ikatan C-C.

Berdasarkan stadart WILLEY7/LIB spektra dengan rentang waktu retensi 18.999-19,296 menit diduga memiliki kemiripan spektra massa dengan metil risinoleat. Adapun

hasil spektra massa ditunjukkan pada Gambar 4.15. Pola fragmentasi ditunjukkan pada Gambar 4.16.



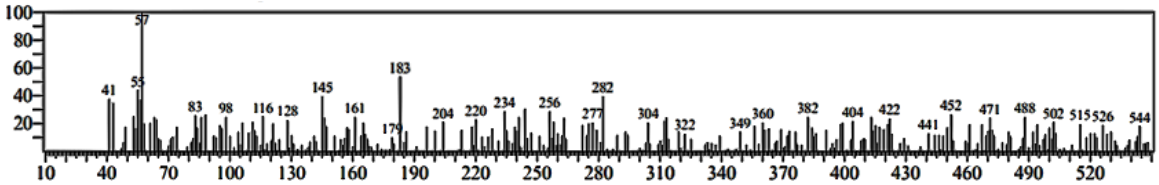

**Gambar 4.15** Spektra massa senyawa target (metil risinoleat) pada waktu retensi 18,999 - 19,296



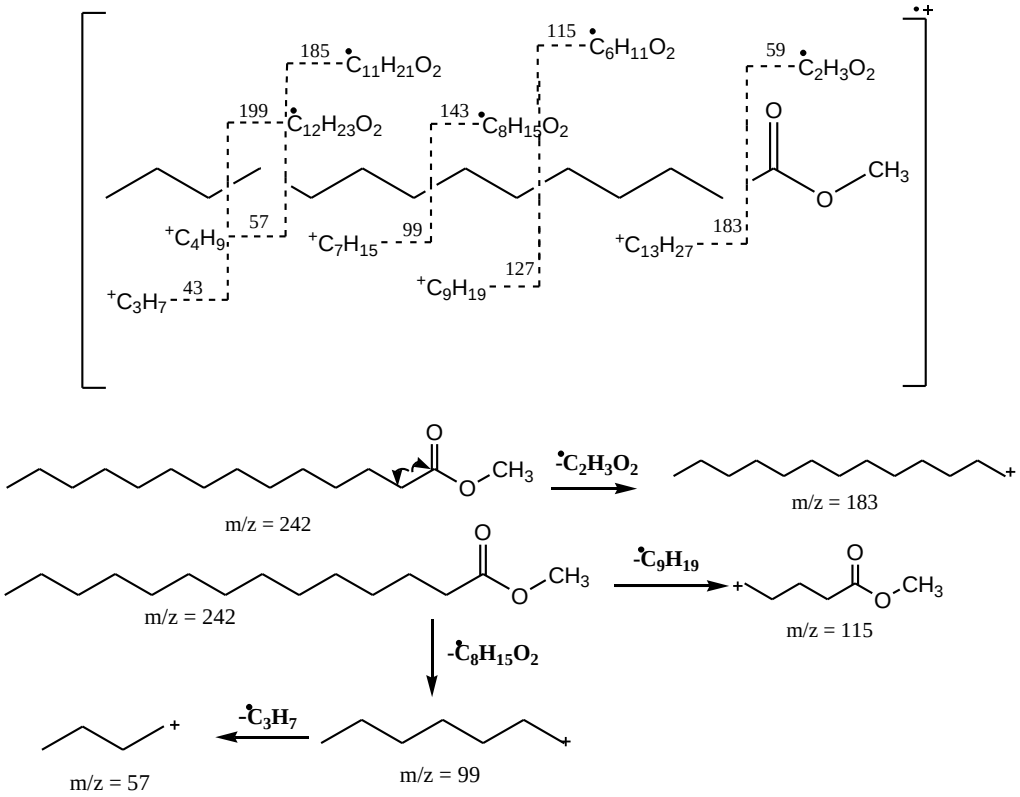

**Gambar 4.16** Perkiraan fragmentasi metil risinoleat pada waktu retensi 18,999-19,296

Pada Gambar 4.15 ditunjukkan spektra massa dari metil risinoleat ($C_{19}H_{36}O_3$). Ion molekuler m/z 312 tidak teridentifikasi melainkan muncul m/z 166. Hal ini dapat terjadi sebab metil risinoleat tidak stabil sehingga terfragmentasi secara langsung saat diuapkan menjadi m/z 166. Puncak dasar (*base peak*) terletak pada m/z 55 yang berasal dari $C_4H_7^+$. Sedangkan puncak-puncak lainnya terbentuk dari pemutusan ikatan C-C.

Puncak spektra massa pada waktu retensi 24,515 menit diduga meupakan metil miristat. Hal ini dapat terjadi sebab adanya kemiripan puncak spektra massa standar setelah dibandingkan dengan WILLEY7.LIB. Adapun spektra massa ditunjukkan pada Gambar 4.17 dan dugaan pola fragmentasi pada Gambar 4.18.




**Gambar 4.17** Spektra massa senyawa target (metil miristat) pada waktu retensi 24,515




**Gambar 4.18** Perkiraan fragmentasi metil miristat pada waktu retensi 24,515

Ion molekuler m/z 242 pada Gambar 4.12 tidak teridentifikasi, akan tetapi muncul pada m/z 183. Hal ini dapat tejrjadi sebab tidak stabilnya metil miristat ($C_{15}H_{30}O_2$) ketika diuapkan sehingga langsung terfragmentasi menjadi m/z 183. Puncak dasar terdapat pada m/z 57 dalam bentuk $C_4H_9^+$. Puncak lainnya m/z 128 berasal dari m/z $C_9H_{20}^+$. Sedangkan puncak-puncak lainnya dapat terbentuk sebab putusnya ikatan C-C.

Hasil penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa pengembanan suatu katalis dapat mempengaruhi banyaknya konversi metil ester yang terbentuk dari reaksi transesterifikasi menggunakan minyak jarak. Hal ini menunjukkan bahwa minyak jarak yang berasal dari ekstraksi biji tanaman jarak dapat digunakan sebagai salah satu alternatif dalam pembuatan biodiesel dengan bantuan katalis. Allah SWT berfirman dalam surat Abasa ayat 27-32:

فَأَنْبَتْنَا فِيْهَا حَبًّا ﴿٢٧﴾ وَّعِنَبًا وَّقَضْبًا ﴿٢٨﴾ وَّزَيْتُوْنًا وَّنَخْلًا ﴿٢٩﴾ وَحَدَآئِقَ غُلْبًا ﴿٣٠﴾ وَفَاكِهَةً وَّأَبًّا ﴿٣١﴾ مَتَاعًا لَّكُمْ وَلِأَنْعَامِكُمْ ﴿٣٢﴾

Artinya: *"Lalu, Kami tumbuhkan padanya biji-bijian (27) anggur dan sayur-sayuran (28) zaitun dan pohon kurma (29) kebun-kebun (yang) rindang (30) buah-buahan dan*

*rerumputan (31) (Semua itu disediakan) untuk kesenanganmu dan hewan-hewan ternakmu* (32)*".*

Mengutip Kitab tafsir Al-Misbah bahwa Allah SWT menciptakan aneka tumbuhan dan buah-buahan di muka bumi tidak lain untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia, diantaranya dengan menjadikan sebagai bahan makanan dan juga kebutuhan hidup lainnya (Shihab, 2009). Berdasarkan ayat tersebut pada penelitian ini bahwa tanaman jarak yang dapat diekstrak menjadi minyak jarak diberikan oleh Allah SWT untuk dimanfaatkan oleh manusia dalam memenuhi kebutuhan hidup. Selain sebagai obat, minyak jarak juga dapat digunakan sebagai bahan dalam reaksi transesterifikasi untuk mengkonversi menjadi metil ester risinoleat yang merupakan salah satu sumber daya alam pada bahan bakar diesel tabarukan. Firman Allah SWT dalam Al-Qur`an surat Ali Imran ayat 190-191:

اِنَّ فِيْ خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ وَاخْتِلاَفِ الَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَاٰيٰتٍ لِّاُولِيْ الْاَلْبَابِ{١٩٠}الَّذِيْنَ يَذْكُرُوْنَ اللهَ قِيَماًوَّقُعُوْداًوَعَلٰي جُنُوْبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُوْنَ فِي خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ رَّبَّنَامَاخَلَقْتَ هَذَا بَاطِلاً سُّبْحٰنَكَ فَقِنَاعَذَابَ النَّارِ{١٩١}

Artinya: *"Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal (190) (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), "Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia; Mahasuci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka (191)".*

Keterkaitan surat Ali Imran ayat 190-191 dengan penelitian ini yakni bahwa Allah SWT menciptakan akal pikiran guna memahami semua petunjuk dan ciptaan-Nya termasuk dalam mengembangkan ilmu pengetahuan. Adapun ilmu pengetahuan dapat diperoleh oleh manusia dengan mengembangkan potensi yang dimiliki diantaranya potensi dari akal, sebab melalui akal manusia dapat berpikir secara kritis dan logis sehingga mampu menghasilkan banyak pengetahuan. Hal ini sesuai dengan makna kalimat ( لِّاُولِيْ الْاَلْبَابِ ) yakni orang-orang yang memiliki akal murni, yaitu yang merenungkan mengenai fenomena alam sehingga dapat menjadi bukti keesaan dan kekuasaan Allah SWT secara nyata (Shihab, 2009). Pemanfaatan katalis CaO,γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ sebagai katalis dalam reaksi transesterfikasi menggunakan minyak jarak menjadi salah satu pengembangan ilmu pengetahuan. Allah SWT berfirman dalam surat Al-Baqarah ayat 82:

وَالَّذِيْنَ اٰمَنُوْا وَعَمِلُوْاالصّٰلِحٰتِ اُولٰٓئِكَ اَصْحٰبُ الْجَنَّةِۚ هُمْ فِيْهَا خٰلِدُوْنَ{٨٢}

Artinya: *"Dan orang-orang yang beriman dan mengerjakan kebajikan, mereka itu penghuni surga, mereka kekal di dalamnya".*

Mengutip dari kitab tafsir Al-Misbah pada surat Al-Baqarah ayat 82 bahwa orang-orang yang beriman dengan benar sebagaimana ajaran para nabi dan senantiasa melakukan amal shalih sesuai dengan tuntunan Allah dan rasul maka akan kekal di dalam surga (Shihab, 2009). Sesuatu dapat dipandang sebagai amal shalih jika dapat mendatangkan

nilai manfaat baik bagi diri yang melakukan, keluarga, masyarakat, maupun umat manusia. Adapun dalam konteks akademik salah satu bentuk amal shalih ialah melakukan penelitian dengan mengeksplorasi dan melestarikan alam. Oleh sebab itu, manusia memiliki kewajiban untuk menggunakan akal fikirnya guna melakukan hal-hal yang bermanfaat dan kemaslahatan umat.

# BAB V

# PENUTUP

## 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil karakterisasi katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ yang disintesis menggunakan metode sonikasi selama 3 jam setelah dianalisis menggunakan XRD menunjukkan keberhasilan proses pengembanan dengan menurunnya puncak difrakrogram dari γ-$Al_2O_3$ dan munculnya puncak baru yang sesuai dengan puncak CaO komersil. Karakterisasi menggunakan XRF kandungan dalam senyawa hasil pengembanan yakni unsur Al mengalami penurunan menjadi 61,9 % dan Ca mengalami peningkatan menjadi 36,4%. Hal tersebut menandakan CaO berhasil terembankan dengan baik dalam γ-$Al_2O_3$. Karakerisasi menggunakan SAA menunjukkan bahwa luas permukaan γ-Al2O3 menurun dan CaO mengalami peningkatan setelah pengembanan dibandingkan luas permukaan awal γ-$Al_2O_3$ dan CaO.
2. Hasil uji katalis CaO, γ-$Al_2O_3$, dan CaO/γ-$Al_2O_3$ pada reaksi transesterifikasi menggunakan minyak menghasilkan konversi metil ester risinoleat secara berurut 84,63%; 84,68%; dan 85,82%. Akan tetapi, intensitas puncak kromatogram CaO/γ-$Al_2O_3$ lebih rendah dibandingkan dengan kromatogram CaO dan γ-$Al_2O_3$ dengan intensitas puncak lebih tinggi.yang menandakan kelimpahannya lebih sedikit.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disarankan melakukan beberapa penelitian lanjutan sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan uji kebasaan dari katalis menggunakan adsorpsi uap asam $CO_2$.
2. Perlu dilakukan uji karakterisitik metil ester sebagai biodiesel meliputi uji titik nyala, uji densitas, uji viksositas, bilangan setana, titik kabut, dan stabilitas oksidatif metil ester hasil.
3. Perlu dilakukan uji FESEM dari katalis pengembanan untuk mengetahui pemerataan sebaran logam pada katalis pengemban.
4. Perlu ditambahkan jumlah katalis hasil pengembanan lebih banyak dari 0,5% (b/b) yang digunakan pada reaksi transesterifikasi minyak jarak agar performa katalis dapat lebih maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA


Abdulloh, A. W. (2016). Hidrolisis Minyak Jarak Pagar Menjadi Asam Lemah Bebas Menggunakan Katalis CaO. *Jurnal Kimia Riset* , Vol 1(1): 1-6.

Amalia, S. K. (2019). Biodiesel Production From Castor Oil Using Heterogeneous Catalyst KOH/Zeolite of Natural Zeolite Bandung Indonesia. *International Conferences on Biology and Applied Science (ICOBAS).* Malang: AIP Publishing.

Asyur, I. (1984). *Tafsir At-tahrir Wa Al-tanwir.* Mesir: Dar At-Tunisiyah.

Atmanegara, A. (2010). *Pembuatan Minyak Lumas Dasar dari Tanaman Jarak (Ricinus communis L.)(Castor Oil) Menggunakan 1,4-Nutanadiol dan 1,6-Heksanadiol serta Uji Kompatibilitasnya Terhadap Minyak Mineral .* Depok: Skripsi. Program Studi Kimia. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Indonesia.

Atsabiti, A. M. (2019). *Sintesis dan Karakterisasi $TiO_2$-V Diembankan Pada NaX Mesopori Menggunakan Metode Sonikasi Dengan Variasi Komposisi $TiO_2$-V:NaX.* Malang: Jurusan Kimia. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim .

Bachtiar, M. S. (2020). *Sintesis Dan Karakterisasi KOH/Zeolit Alam Menggunakan Metode Sonikasi Sebagai Katalis Pada Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Dengan Variasi Waktu Reaksi.* Malang: Skripsi. Jurusan Kimia. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

Bahroni. (2019). *Sintesis Dan Karakterisasi $\gamma$-$Al_2O_3$ Dari Boehmit Dengan Penambahan Asam Anorganik Sebagai Penyangga Katalis Hydrotreating.* Jakarta: Skripsi. UIN Syarif Hidayatullah.

Batan, S. (2015). *Penggunaan Katalis $\gamma$-$Al_2O_3$ Untuk Degradasi Gliserol Menggunakan Teknologi Sonikasi.* Surabaya: Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Devita, L. (2015). Biodiesel Sebagai Bioenergi Alternatif Dan Prospeftif. *Agrica Extensia* , Vol 9 No 2: 23-26.

Dewi, D. C. (2015). *Produksi Biodiesel Dari Minyak Jarak(Ricinus Communis) Dengan Microwave.* Semarang: Skripsi. Program Studi Teknik Kimia. Universitas Negeri Semarang.

Fiehn, O. (2016). Metabolomics by Gas Chromatography-Mass Spectrometry: the Combination of Targeted and Untargeted Profiling. *Current Protocols in Molecular Biology* , Vol 30: 1-30.

Fikriandini, N., & Khair, M. (2023). Penentuan Celah Pita Katalis ZnO/Zeolit Yang Disintesis Dengan Metoda Sonikasi. *Journal of Chemistry, Education, and Science* , Vol. 7(1): 42-43.

Fitriana, L. (2018). *Pengaruh Perbandingan Minyak/Metanol Dan Waktu Reaksi Terhadap Hasil Biodiesel Dengan Metode Sonikasi Berbahan Baku Ampas Kelapa Dengan Katalis CaO.* Surakarta: Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah.

Futanti, D. T. (2023). *Sintesis dan Karakterisasi Katalis NiMo/$\gamma$-$Al_2O_3$ dengan Variasi Magnesium untuk Mengolah Light Coker Gas Oil 9LCGO.* Jakarta: Skripsi. Program Studi Kimia. Faklultas Sains dan Teknologi. Uin Syarif Hidayatullah.

Gutierrez, G. T. (2001). Theoritical Structure Determination of γ-$Al_2O_3$. *Journal of Physical Review* , Vol 65.

Hanun, H. (2020). *Sintesis Kalsium Aluminat ($Ca_2Al_2O_4$) Dengan Variasi Suhu Dan Waktu Menggunakan Metode Hidrotermal Sebagai Katalis Biodiesel.* Skripsi. Jember: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Hartini, H. Y. (2015). Study Karakter Pori Terhadap Komposit γ-$Al_2O_3$ Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Singkong (*Manihot esculenta Cranz*). *Jurnal Penelitia Kimia ALCHEMY* , Vol 11 (1):47-57.

Intarapong, P. L. (2014). Biodesel Production from Palm Oil Using Potassium Hydroxide Loaded on $ZrO_2$ Catalyst in a Batch Reactor. *Chiang Mai J. Sci* , Vol 41: 128-137.

Irawati, U. S. (2013). Sintesis Dan Karakterisasi Gamma Alumina (γ-$Al_2O_3$) Dari Kaolin Asal Tatakan, Kalimantan Selatan Berdasarkan Variasi Temperatur Kalsinasi. *Jurnal Molekul* , Vol 8 (1): 31-42.

Ismarani, M. S. (2011). Karakterisasi dan Komposisi Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar (jatropha curcas L .). *Jurnal Agrobisnis dan Pengembangan* , Vol 2(2):24.

Istiningrum, R. H. (2018). Analisis Komposisi Biodiesel Hasil Konversi Minyak Biji Carica (Carica pubescens) Menggunakan Enzim Lipase Bekatul . *Journal of Chemical Analysis (IJCA)* , Vol 1 No 1: 01.

Jannah, R. (2008). *Reaksi Transesterifikasi Trigliserida Minyak Jarak Pagar dengan Metanol Menggunakan Katalis Padatan Basa $K_2CO_3$/γ-$Al_2O_3$ .* Depok: Universitas Indonesia.

Justo, R. L. (2019). Biodiesel Production from Heterogeneous Catalysts Based $K_2CO_3$ Supported on Extruded γ-$Al_2O_3$. *E.G. Silveira Junior et al.* , 311-318.

Kamala, F. (2018). *Sintesis Katalis NiMo//γ-$Al_2O_3$, CoMo//γ-$Al_2O_3$, dan CoNiMo//γ-$Al_2O_3$ Untuk Hidrodesulfurisasi Kerosin.* Jakarta: Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi.

Khariruddin. (2015). *Morfologi dan Anatomi Buah dalam Al-Qur`an.* Semarang: Jurusan Tafsir dan Hadits, Fakultas Ushuluddin dan Humaniora, UIN Walisongo.

Kim., L. S. (2013). Effect of Particle Size on Phase Transitions in Metastable $Al_2O_3$ Nanoparticles: A View from High-Resolution Solid-State $^{27}$Al NMR study. *American Mineralogist* , Vol 98: 1199.

Kolo, S. R. (2016). Produksi Biodiesel dari Minyak Biji Jarak Pagar (Jatropha curcas L.) . *Jurnal Pendidikan Biologi* , Vol 1 No 1: 6-8.

Kosim., M. (2014). Studi Pengaruh Penambahan $SiO_2$ Terhadap Porositas γ-$Al_2O_3$. *Jurnal Fiskia* , Vol 3 No 3:34-40.

Lam, M. K. (2010). Homogeneous, Heterogeneous and Enzymatic Catalysis for Transesterification of High Free Fatty Acid Oil (Waste Cooking Oil) to Biodiesel: A Review. *Journal Biotechnology Advances* , 500-518.

Lestari, H. S. (2006). Sintesis Katalis NiMo Untuk Hydrotreating Coker Nafta. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia* , Vol 6(1): 355.

Liberto, D. G. (2022). pH Dependence of MgO, $TiO_2$, and γ-$Al_2O_3$ Surface Chemistry from First Principles. *Journal of Physical Chemistry* , Vol 126: 10216-10223.

Lourentius, S. (2021). Synthesis of Syngas into Dimethyl Ether Using Cu-Zn-Al/γ-$Al_2O_3$ Bifunctional Catalyst as an Environmentally Friendly Fuel for Substituting Liquified Petroleum Gas. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering* , Vol 5 (2): 117-126.

Maisyaroh, A. S. (2019). Sintesis CaO Dari Cangkang Kerang Ale-Ale (Meretrix meretrix) Pada Suhu Kalsinasi 900°C. *Jurnal Kimia Khatulistiwa* , Vol 8 (1): 32-35.

Marinkovic, D. A. (2017). Synthesis and Characterization of Spherically-Shaped CaO/γ-$Al_2O_3$ Catalyst and its Application in Biodiesel Production. *Journal Energy Conversion and Management* , Vol 144 : 399-413.

Marinkovic, D. M. (2015). The Synthesis of CaO Loaded Onto $Al_2O_3$ from Calcium Acetate And Its Application in Transesterification of The Sunflower Oil. *Advanced Technologies* , Vol 4(1) : 26-32.

Mega, K. (2017). *Analisis Struktur Nano Batu Apung Lombok Menggunakan Metode BET (Brunauer-Emmet-Teller).* Surabaya: Skripsi. Fakultas Metematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Mengistu, G. R. (2022). Synthesis and Characterization of a heterogeneous Catalyst From a Mixture of Waste Animal Teeth and Bone for Castor Seed Oil Biodiesel Production. *Journal Heliyon* , Vol 8.

Moradi, G. d. (2015). Biodiesel Production using CaO/γ-$Al_2O_3$ Catalyst Synthesized by Sol-Gel Method. *The Canadian Journal Of Chemical Engineering* , 1532.

Munnik, P. P. (2015). Recent Developments in The Synthesis of Supported Catalyst. *American Chemical Society* , Vol 155.

Nairil, S. (2019). *Sintesis dan Karakterisasi ZnO yang Diembankan Pada Zeolit dengan Variasi Komposisi Menggunakan Metode Sonikasi.* Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

Navas, B. M. (2019). Transesterification Of Soybean Oil With Methanol On $Al_2O_3$-Supported CaO Catalysts Modified With MgO or ZnO. *Anales de la Asociación Química Argentina* , Vol 106:70-86.

Ningrum, K. P. (2010). *Pemanfaatan Admisel γ-$Al_2O_3$/SDS dan Nanopartikel Perak Untuk Penentuan Kadar Arsen Berdasarkan Reaksi Reduksi Metilen Biru.* Depok: Skripsi. Program Studi Kimia. Universitas Indonesia.

Ningsih, S. M. (2018). *Produksi Biodiesel Berbasis Minyak Jelantah Menggunakan Katalis CaO-$AlCl_3$ Dengan Metode Ultrasonik.* Makassar: Skripsi. Universitas Hasanuddin.

Ningtyas, A. S. (2017). *Aktivitas Katalitik CoMo/$Al_2O_3$ dan CoMo/MgO-$Al_2O_3$ Pada Reaksi Hidrogenasi Rosin Oil.* Semarang: Skripsi. Jurusan Kimia. Fakultas MIPA. Universitas Negeri Semarang.

Noiroj, K. I. (2008). A Comparative Study of KOH/$Al_2O_3$ and KOH/NaY Catalysts for Biodiesel Production Via Transesterification From Palm Oil. *J Elsevier: Renewable Energy* , Vol 34(4): 1145-1150.

Nordin, N. H. (2015). Effect of Temperature in Calcination Process of Seashells. *The Malaysian Journal Of Analytical Sciences* , Vol 19 (1): 65-70.

Oko. (2019). Pengaruh Rasio Mol Dan Waktu Reaksi Pada Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jarak Dengan Menggunakan Katalis CaO/$Al_2O_3$. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat* , 17-21.

Oko. (2019). Pengembangan Katalis CaO Dari Cangkang Telur Ayam Dengan Impregnasi KOH Dan Aplikasinya Terhadap Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jarak. *Jurnal Teknologi* , Vol 11(2).

Permana, E. C. (2020). Preparasi dan Karakterisasi Katalis Cu/ZnO Dengan Support Karbon Aktif Menggunakan Aktivator $H_3PO_4$ dan $ZnCl_2$. *Jurnal Teknologi* , Vol 13(1):6-15.

Pradana, L. N. (2008). Sintesis Penyangga Katalis γ-$Al_2O_3$ Dari Alumunium Sulfat. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia* , Vol 7 (2): 786-791.

Prins, R. (2020). Mini-review: On the structure of γ-$Al_2O_3$. *Journal of Catalysis* , 336-346.

Purnomo, V. S. (2020). Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar dengan Transesterifikasi Metanol Subkritis. *Jurnal Teknik Kimia* , Vol 14(2):73.

Putera, D. (2008). *Sintesis Fotokatalisis CuO/ZnO untuk Konversi Metanol Menjadi Hidrogen.* Bandung: Skripsi. Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Bandung.

Rachmawati, A. (2009). *Sintesis Katalis Padatan Asam γ-$Al_2O_3$/$SO_4^{2-}$ dan Digunakan Pada Sintesis Senyawa Metil Ester Asam Lemak Dari Limbah Produksi Margarin Minyak Kelapa Sawit.* Depok: Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Regnant, Y. (2018). *Sintesis dan Karakterisasi CaO/γ-$Al_2O_3$ dengan Metode Impregnasi Basah, Hidrotermal, dan Sonikasi Sebagai Katalis Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit.* Malang: Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi.

Rodiansono, T. T. (2007). Pengaruh Pengemban Logam Ni dan $Nb_2O_5$ Pada Karakter Katalis Ni/Zeolit dan Ni/Zeolit-$Nb_2O_5$. *Sains dan Terapan Kimia.* , Vol 1(1): 20-28.

Said, A. (2017). *Fikih Energi Tabarukan.* Jakarta: LAKPESDAM-PBNU.

Samain, L. J. (2014). Structural Analysis of Highly Porous γ-$Al_2O_3$. *Journal of Solid State Chemistry* , Vol 217:1-8.

Sari, A. D. (2009). *Pemanfaatan Katalis Padatan Asam dan Basa Berbasis γ-$Al_2O_3$ Pada Reaksi Esterifikasi/Transesterifikasi dari Minyak Kelapa (VCO).* Depok: Skripsi. Departemen Kimia. Fakultas Matematikan dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia.

Savitri, N. A. (2016). Pembuatan Katalis Asam (Ni/γ-$Al_2O_3$) dan Katalis Basa (Mg/γ-$Al_2O_3$) untuk Aplikasi Pembuatan Biodiesel dari Bahan Baku Minyak Jelantah. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia* , Vol 2(1):1-10.

Shihab, M. Q. (2009). *Tafsir Al-Misbah: Pesan dan Kesan Keserasian Al-Qur`an .* Jakarta: Lentera Hati.

Simpen, I. N. (2021). Karakteristik Fisika-Kimia Katalis Heterogen CaO-Base Dan Pemanfaatannya Untuk Konversi Minyak Goreng Bekas Secara Sinambung Menjadi Biodiesel . *Jurnal Kimia* , Vol 15 (2): 188-194.

Sivasamy, A. C. (2009). Catalytic Applications in The Production of Biodiesel From Vegetable Oils. *ChemSusChem* , Vol 2.

Suhartanta, A. Z. (2008). Pemanfaatan Minyak Jarak Pagar Sebagai Bahan Bakar Alternatif Mesin Diesel. *Jurnal Penelitian Saintek* , Vol 13 (1):19-46.

Suryanto, A. W. (2021). Proses Produksi Katalis CaO/γ-$Al_2O_3$ Dengan Metode Impregnasi Dalam Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa . *Jurnal Industri Hasil Perkebunan* , Vol 16(2):1-8.

Syafrinaldy, A. Z. (2017). Formulasi Katalis Bifungsional Sintesa DME Satu Tahap. *Jurnal Energi dan Lingkungan* , Vol 13 (2):71-78.

Syah, D. (2006). *Biodiesel Jarak Pagar.* Depok: Agromedia Pustaka.

Tsani. (2011). *Preparasi dan Karakterisasi Katalis NiMo/*γ-$Al_2O_3$ *untuk Sintesis Bahan Bakar Bio dari Minyak Jarak Melalui Pirolisis Berkatalis. Skripsi.* Depok: Universitas Indonesia.

Tsani, F. (2011). *Preparasi dan Karakterisasi Katalis NiMo/γ-$Al_2O_3$ Untuk Sintesis Bahan Bakar Bio Dari Minyak Jarak Melalui Pirolisis Berkatalis.* Depok: Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Ulfah, M. S. (2012). Pengaruh Perbedaan Sifat Penyangga Alumina Terhadap Sifat Katalis Hydrotreating Berbasis Nikel-Molibdenum . *Jurnal Reaktor* , Vol 14 (2): 151-157.

Umam, M. N. (2018). *Variasi Waktu Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak dengan Menggunakan Katalis KOH/Zeolit dalam Pembuatan Biodiesel.* Malang: Program Studi Kimia. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

Utami, A. W. (2017). *Sintesis Nanopartikel Mangan Dioksida ($MnO_2$) Secara Sonokimia Sebagai Adsorben Ion Logam Timbal ($Pb^{2+}$).* Makassar: Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Alauddin.

Vernes, L. V. (2020). *Ultrasound and Microwave as Green Tools for Solid-Liquid Extraction.* France: Elsiver Inc.

Vlack, V. (1994). *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Non Logam).* Jakarta: Erlangga.

Waisi, H. M. (2016). Influence of Process Parameters on Transesterification Reaction of Corn Oil Over Base Promoted gamma alumina. *Zastita Materijala* , Vol 57 (3) : 473-479.

Watanabe, T. I. (2016). In-situ XAFS study for calcination process of Cr catalyst supported on -$Al_2O_3$ and $SiO_2$. *Journal of Physics* .

Widiarti, N. R. (2016). Sintesis CaO.SrO dan Aplikasinya Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel. *Indonesian Journal of Chemical Science* , Vol 5(1): 22.

Widiarti, N. W. (2017). Catalytic Activity of Calcum Oxide from Fishbone Waste in Waste Cooking Oil Transesterification Process. *Jurnal Bahan Alam Tabarukan* , Vol 6(2): 97-106.

Widyastuti. (2007). *Reaksi Metanolisis Minyak Biji Jarak Pagar Menjadi Metil Ester Sebagai Bahan Bakar Pengganti Minyak Diesel dengan Menggunakan Katalis KOH.* Semarang: Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Semarang.

Widyastuti, L. (2007). *Reaksi Metanolisis Minyak Biji Jarak Pagar Menjadi Metil Ester Sebagai Bahan Bakar Pengganti Minyak Diesel Dengan Menggunakan Katalis KOH.* Semarang: Universitas Negeri Semarang.

Yu, J. G. (2011). Influences of Calcination Temperature on The Efficiency of CaO Promotion Over CaO Modified Pt/γ-$Al_2O_3$ Catalyst. *Elvier : Applied Catalysis A General* , 114-119.

Zabeti, M. d. (2010). Biodiesel Production Using $Al_2O_3$ Supported CaO: An Optimization Study. *Journal Fuel Processing Technology 91* , 243-248.

Zain, S. B. (2021). *Produksi Biodiesel Menggunakan Abu Pelepah Pisang Sebagai Katalis Basa Heterogen Dan Kosolven Aseton Dengan Metode Sonikasi.* Yogyakarta: Program Studi Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Islam Indonesia.

Zakiyah, A. (2023). *Sintesis Zeolit NaP Mesopori Dari Kaolin Dengan Variasi Rasio Mol $SiO_2/Al_2O_3$ Menggunakan Metode Sonikasi Sebagai Katalis Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak (Ricinus communis).* Malang: Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Malang.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Diagram Alir

### 1.1 Sintesis Katalis Heterogen CaO/γ-$Al_2O_3$

CaO

- ditimbang 2,5 gram
- dilarutkan dengan 100 mL aquades

γ-$Al_2O_3$

- ditimbang 10 gram

- dicampur menggunakan erlenmeyer 250 mL
- distirer pada suhu ruang selama 3 jam
- dipindahkan ke dalam sonikator selama 3 jam dengan diberikan radiasi ultrasonik 42 KHz
- dikeringan selama 12 jam pada suhu 120°C
- dikalsinasi selama 3 jam dengan suhu 500°C

CaO/ γ-$Al_2O_3$

### 1.2 Karakterisasi

#### 1.2.1 Karakterisasi Menggunakan XRD

CaO, γ-$Al_2O_3$, CaO/ γ-$Al_2O_3$

- dihaluskan sampel sampai menjadi bubuk halus
- ditempatkan preparat dan dipres dengan alat pengepres
- ditempatkan pada sampel holder
- disinari dengan sinar-X menggunakan radiasi Cu Kα 1,541 Å dengan sudut 2θ 10-90° dan kecepatan scan 0,02°/detik.

Hasil

#### 1.2.2 Karaketrisasi Menggunakan XRF

CaO, γ-$Al_2O_3$, CaO/ γ-$Al_2O_3$

- ditempatkan 5 mg sampel katalis pada sampel holder
- disinari dengan sinar-X

Hasil

**1.2.3 Karakterisasi Menggunakan SAA**

CaO, γ-$Al_2O_3$, CaO/ γ-$Al_2O_3$

- ditempatkan 0,1 gram sampel katalis pada sampel holder
- dituangkan nitrogen cair ke dalam tabung guna proses analis

Hasil

**1.3 Reaksi Transesterifikasi**

CaO, γ-$Al_2O_3$, CaO/ γ-$Al_2O_3$

- ditimbang masing-masing 0,5% (b/b)

Minyak Jarak:Metanol

- dibuat campuran minyak jarak dan metanol 1:15

- di*stirer* selama 5 jam pada suhu 60°C dengan kecepatan pengadukan 600 rpm
- dipisahkan katalis
- didiamkan campuran dalam dalam corong pisah selama 24 jam
- dimurnikan lapisan atas dengan aquades panas dan didiamkan 1 jam
- diambil lapisan atas dan ditambah $Na_2SO_4$ anhidrat

Metil Ester

**1.4 Karakterisasi Metil Ester Hasil Reaksi Transesterifikasi Menggunakan GC-MS**

Metil Ester

- di-*set running* GC-MS
- di injekkan 10 mL
- di-*run*

Hasil

**Lampiran 2. Perhitungan**

**2.1 Pembuatan 25% CaO dalam support γ-alumina**

CaO sebesar 25% dari berat γ-$Al_2O_3$ sehingga perbandingan (b/b) CaO/γ-$Al_2O_3$ yakni 1:4

- Berat γ-$Al_2O_3$ = 10 g
- Berat CaO = $10\ x \frac{1}{4}$ = 2,5 g

**2.2 Penentuan Jumlah Minyak Jarak : Metanol**

Perbandingan molar rasio minyak jarak dan metanol yang digunakan 1:15

- ρ trigliserida = 0,96 g/ml

  BM trigliserida (*Castor oil*) = 871 g/mol

  Volume minyak jarak = 30 mL

  Massa minyak = 30 mL x 0,96 g/mol = 28,8 g

  1 mol trigliserida = 1 x 871 g/mol = 871 g

  mol minyak jarak = $\frac{28,8\ g}{871\ g}$ = 0,0330 mol
- ρ Metanol = 0,8 g/ml

  BM metanol = 32 g/mol

  Mol metanol = 15 mol x mol minyak jarak = 15 mol x 0,0330 mol = 0,495 mol

  Massa metanol = 0,495 mol x 32 g/mol = 15,84 g

  Volume metanol = $\frac{15,84\ g}{0,8\ g/ml}$ = 19,8 mL

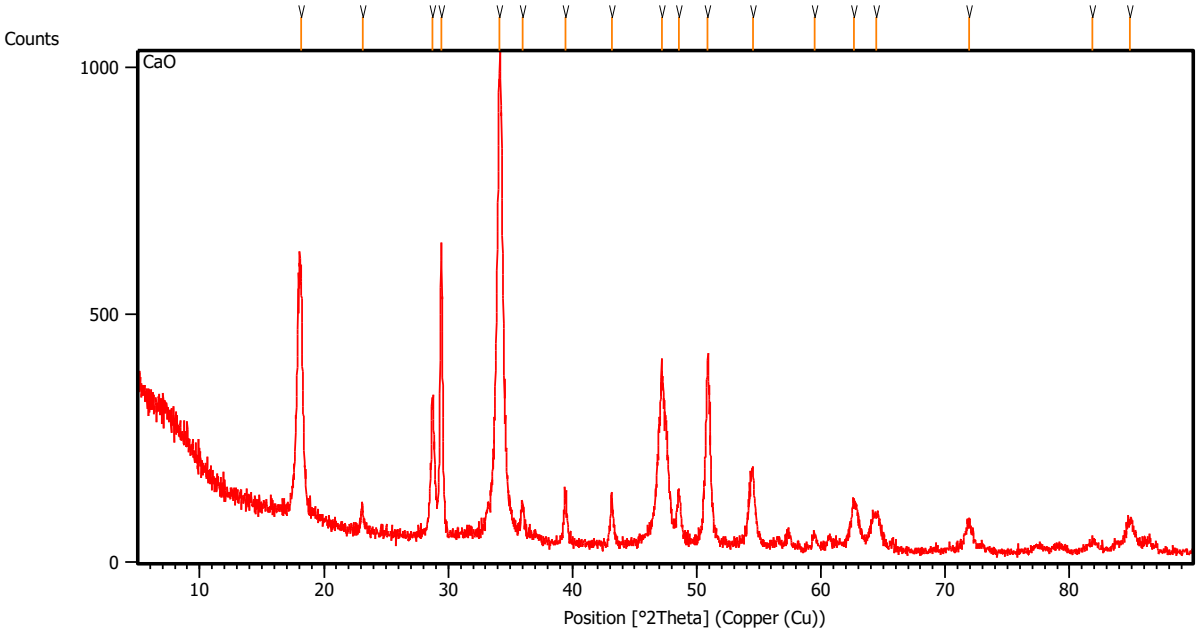
**2.3 Penentuan Jumlah Katalis**

0,5 % (b/b) katalis = $\frac{o,5}{100}$ x berat minyak jarak =$\frac{o,5}{100}$ x 28,8 g = 0,144 g

**Lampiran 3. Hasil Karakterisasi**

3.1 Hasil karakterisasi XRD

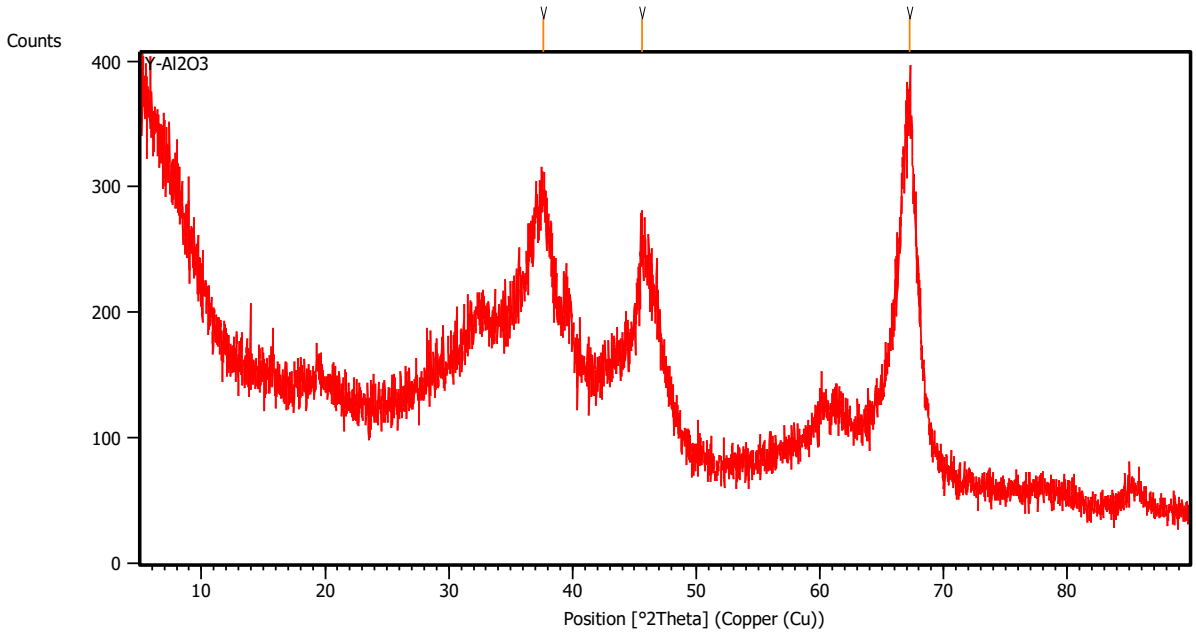
3.1.1 Katalis CaO komersil




**Peak List:** *(Bookmark 3)*

| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|---|---|---|---|---|
| 18.1799 | 453.78 | 0.3680 | 4.87982 | 49.33 |
| 23.0920 | 41.49 | 0.4015 | 3.85170 | 4.51 |
| 28.7272 | 265.02 | 0.2007 | 3.10769 | 28.81 |
| 29.4384 | 590.80 | 0.1171 | 3.03420 | 64.23 |
| 34.1270 | 919.79 | 0.4015 | 2.62732 | 100.00 |
| 35.9575 | 65.36 | 0.2676 | 2.49766 | 7.11 |
| 39.4260 | 93.90 | 0.2342 | 2.28555 | 10.21 |
| 43.1447 | 94.70 | 0.1673 | 2.09678 | 10.30 |
| 47.2137 | 325.75 | 0.6022 | 1.92513 | 35.42 |
| 48.5359 | 97.91 | 0.2676 | 1.87574 | 10.64 |
| 50.8496 | 332.77 | 0.3346 | 1.79569 | 36.18 |
| 54.5026 | 147.30 | 0.3346 | 1.68366 | 16.02 |
| 59.4829 | 23.64 | 0.4015 | 1.55404 | 2.57 |
| 62.6178 | 86.36 | 0.3346 | 1.48356 | 9.39 |
| 64.4706 | 65.07 | 0.8029 | 1.44533 | 7.07 |
| 71.8929 | 52.81 | 0.5353 | 1.31329 | 5.74 |
| 81.8605 | 16.81 | 0.8029 | 1.17675 | 1.83 |
| 84.8421 | 49.35 | 0.5353 | 1.14285 | 5.37 |

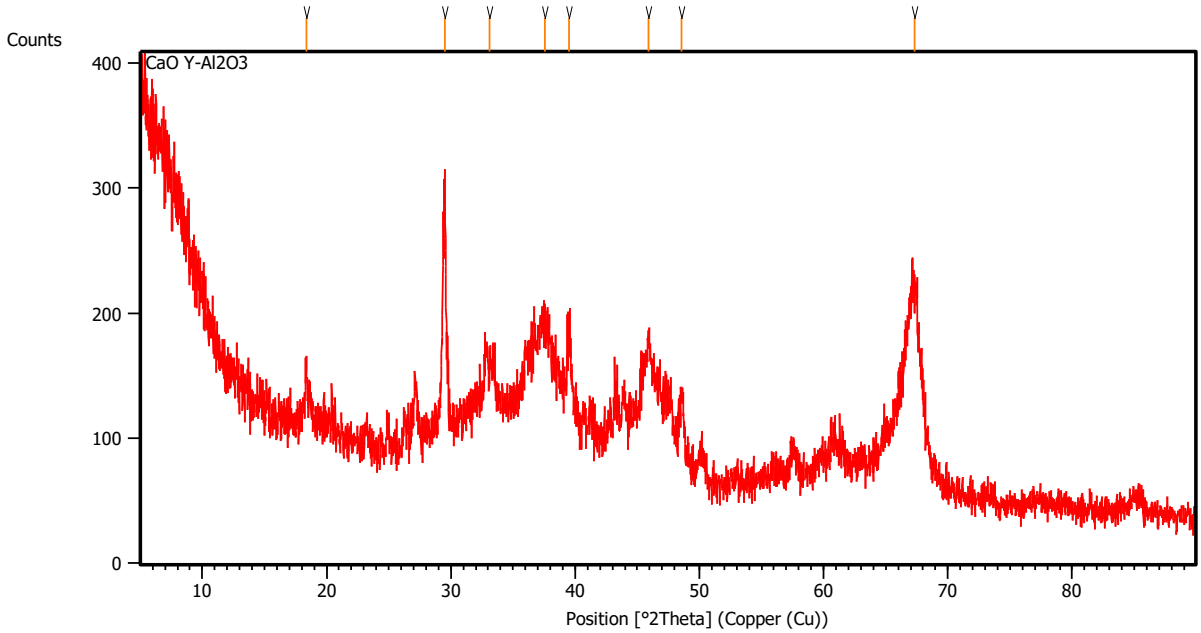
### 3.1.2 Katalis γ-$Al_2O_3$ komersil




**Peak List:** *(Bookmark 3)*

| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|---|---|---|---|---|
| 37.6310 | 83.47 | 1.4721 | 2.39034 | 39.23 |
| 45.6405 | 68.42 | 0.6691 | 1.98777 | 32.15 |
| 67.2416 | 212.79 | 1.3382 | 1.39235 | 100.00 |

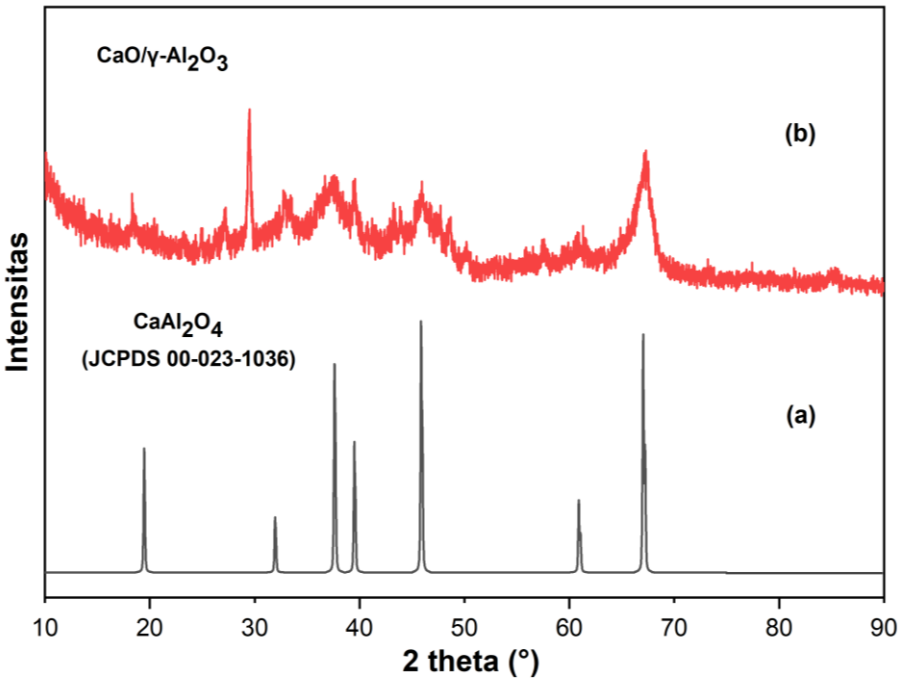
### 3.1.3 Katalis CaO/γ-$Al_2O_3$



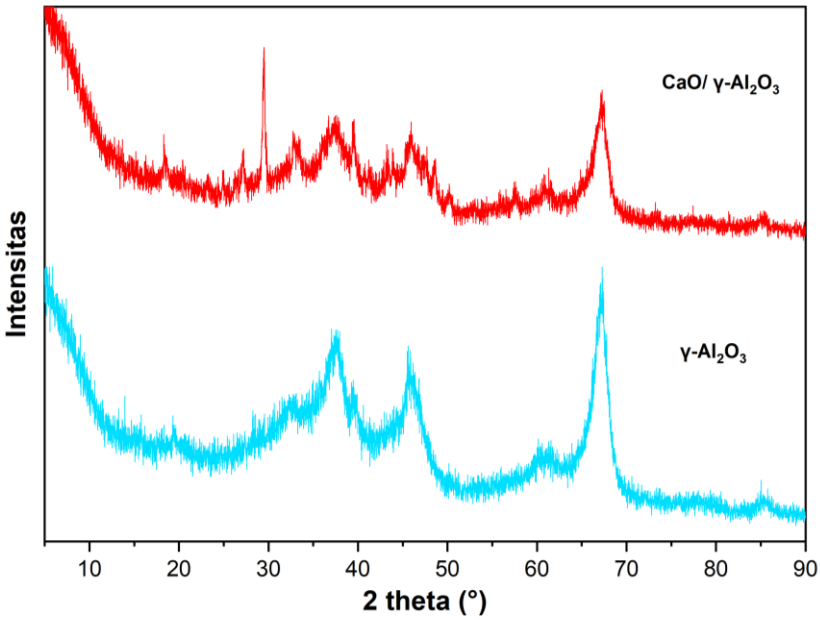
**Peak List:** *(Bookmark 3)*

| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|---|---|---|---|---|
| 18.4102 | 27.85 | 0.8029 | 4.81928 | 15.40 |
| 29.5229 | 180.87 | 0.2342 | 3.02572 | 100.00 |
| 33.1002 | 37.84 | 1.0706 | 2.70643 | 20.92 |
| 37.5445 | 45.26 | 1.0706 | 2.39565 | 25.02 |
| 39.5366 | 55.40 | 0.4015 | 2.27941 | 30.63 |
| 45.9103 | 71.73 | 0.6691 | 1.97671 | 39.66 |
| 48.5698 | 49.09 | 0.4015 | 1.87451 | 27.14 |
| 67.2958 | 123.58 | 1.0706 | 1.39136 | 68.32 |

3.1.4 Katalis CaO/ γ-$Al_2O_3$ (b) dengan standar $CaAl_2O_4$ (a)




3.1.5 Katalis γ-$Al_2O_3$ dengan CaO/ γ-$Al_2O_3$



## 3.2 Hasil karakterisasi XRF

### 3.2.1 Katalis CaO/γ-$Al_2O_3$

06-dec-2023 09:38:08

**Sample results**

Page 1

| Sample ident |
|---|
| E 954 |

| | |
|---|---|
| **Application** | <Standardless> |
| **Sequence** | 1 of 1 |
| **Measurement time** | 06-dec-2023 09:26:43 |
| **Position** | 3 |

| Compound | Al | P | Ca | Cr | Mn | Fe | Ni | Cu | Zn | Ga | Yb | Re |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Conc | 61,9 | 0,78 | 36,4 | 0,13 | 0,089 | 0,22 | 0,01 | 0,10 | 0,04 | 0,078 | 0,2 | 0,08 |
| Unit | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % |

### 3.2.2 Katalis γ-$Al_2O_3$

**Sample results**

| Sample ident |
|---|
| E 68 |

| | |
|---|---|
| **Application** | <Standardless> |
| **Sequence** | 1 of 1 |
| **Measurement time** | 26-feb-2024 10:36:32 |
| **Position** | 3 |

| Compound | Al | P | Ca | Sc | Cr | Mn | Fe | Ni | Cu | Ga | Pr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Conc | 95,3 | 2,0 | 1,1 | 0,02 | 0,17 | 0,13 | 0,30 | 0,061 | 0,17 | 0,16 | 0,51 |
| Unit | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % |

## 3.3 Hasil karakterisasi SAA

### 3.3.1 Katalis CaO

**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**
Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta
LABORATORIUM TERPADU
Quantachrome TouchWin v1.22

| | | | |
|---|---|---|---|
| Report date: | Wed Jan 24 2024 | Operator: | Yusuf |
| Filename: | 00060124_1.qcuPhysIso | | |

**Analysis Information**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Sample** | | | | | |
| ID | 0006_1 | Weight | 0.0802 g | | |
| Description | CaO | | | | |
| **Analysis** | | | | | |
| Data ID | {dc086860-b355-4315-b133-a20f9f4ea720} | | | | |
| Operator | Yusuf | Date | 2024.01.23 | Duration | 47.5 min |
| Instrument | St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001] | | | Firmware | 1.07 |
| Comments | description of sample | | | | |
| Ambient Temp. | 21.57 °C | Void Volume Mode | NOVA mode | Cell ID | 41 |
| Cell Type | 9mm w/o rod | Thermal Delay | 300 sec | Po Mode | Continuous |
| **Adsorbate** | | | | | |
| Name | Nitrogen | Molecular Weight | 28.013 g/mol | Cross Section Area | 16.2 Å²/mol |
| Non-ideality | 6.580000e-05 1/torr | Bath Temperature | 77.35 K | | |
| **Degas information** | | | | | |
| Time | 3.0 hours | Temp | 300.000000 °C | | |

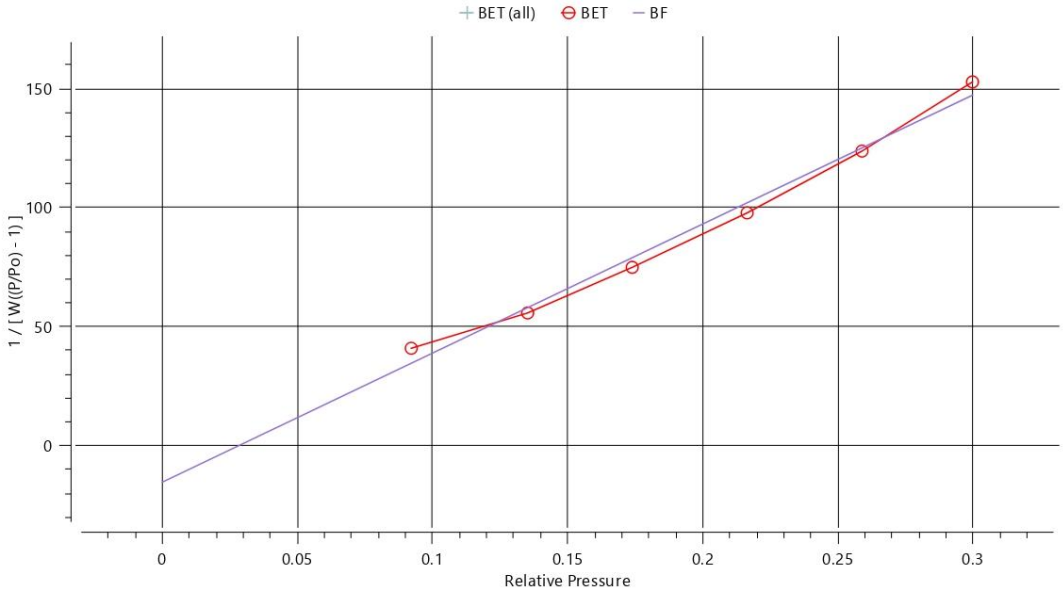
**Data Reduction Parameters**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Thermal Transpiration | yes | | | Eff. Molec. Diameter | 0 Å |
| Eff. Cell Diameter | 0 mm | | | | |
| **Adsorbate Model** | | | | | |
| Name | Nitrogen | Molecular Weight | 28.0134 g | Cross Section Area | 16.2 Å²/molec |
| Bath Temperature | 77.35 K | | | | |

**BET Multi-point BET results**

| | |
|---|---|
| Isotherm Branch | Adsorption |
| Slope | 542.028 |
| Intercept | -15.2364 |
| Correlation coeff., r | 0.993793 |
| C constant | -34.5744 |
| Surface area | 6.611 m²/g |

**Graph - BET Multi-point BET**



### 3.3.2 Katalis γ-$Al_2O_3$

**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**
Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta
LABORATORIUM TERPADU
Quantachrome TouchWin v1.22

| | | | |
|---|---|---|---|
| Report date: | Wed Jan 24 2024 | Operator: | Yusuf |
| Filename: | 00060124_2.qcuPhysIso | | |

**Analysis Information**

**Sample**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ID | 0006_2 | Weight | 0.0813 g | | |
| Description | Λ-Al2O3 | | | | |

**Analysis**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Data ID | {047cf012-a237-44f3-a5cf-59007d4f5159} | | | | |
| Operator | Yusuf | Date | 2024.01.23 | Duration | 50.5 min |
| Instrument | St 2 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001] | | | Firmware | 1.07 |
| Comments | description of sample | | | | |
| Ambient Temp. | 21.43 °C | Void Volume Mode | NOVA mode | Cell ID | 42 |
| Cell Type | 9mm w/o rod | Thermal Delay | 300 sec | Po Mode | Continuous |

**Adsorbate**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Name | Nitrogen | Molecular Weight | 28.013 g/mol | Cross Section Area | 16.2 Å²/mol |
| Non-ideality | 6.580000e-05 1/torr | Bath Temperature | 77.35 K | | |

**Degas information**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Time | 3.0 hours | Temp | 300.000000 °C |

**Data Reduction Parameters**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Thermal Transpiration | yes | Eff. Molec. Diameter | 0 Å |
| Eff. Cell Diameter | 0 mm | | |

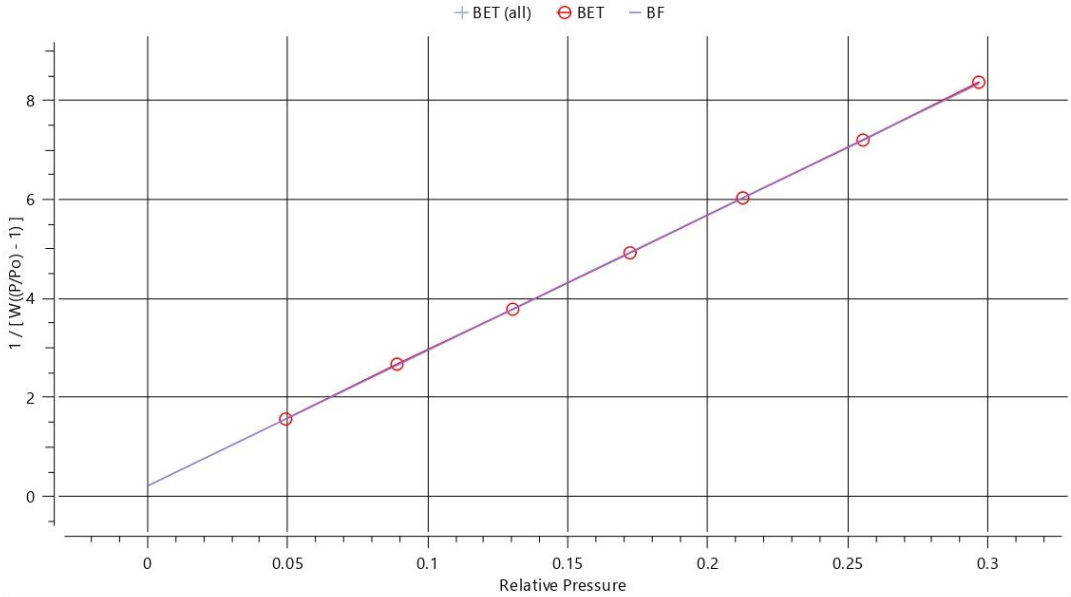
**Adsorbate Model**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Name | Nitrogen | Molecular Weight | 28.0134 g | Cross Section Area | 16.2 Å²/molec |
| Bath Temperature | 77.35 K | | | | |

**BET Multi-point BET results**

| | |
|---|---|
| Isotherm Branch | Adsorption |
| Slope | 27.3773 |
| Intercept | 0.22077 |
| Correlation coeff., r | 0.99998 |
| C constant | 125.008 |
| Surface area | 126.187 m²/g |

**Graph - BET Multi-point BET**



### 3.3.3 Katalis CaO/γ-$Al_2O_3$

**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**
Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta
LABORATORIUM TERPADU
Quantachrome TouchWin v1.22

| | | | |
|---|---|---|---|
| Report date: | Wed Jan 24 2024 | Operator: | Yusuf |
| Filename: | 00060124_3.qcuPhysIso | | |

**Analysis Information**

**Sample**

| | | | |
|---|---|---|---|
| ID | 0006_3 | Weight | 0.0760 g |
| Description | CaO / Λ-Al2O3 | | |

**Analysis**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Data ID | {4b7d22d2-eb11-421f-a5de-013601edba21} | | | | |
| Operator | Yusuf | Date | 2024.01.23 | Duration | 48.5 min |
| Instrument | St 4 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001] | | | Firmware | 1.07 |
| Comments | description of sample | | | | |
| Ambient Temp. | 21.54 °C | Void Volume Mode | NOVA mode | Cell ID | 24 |
| Cell Type | 9mm w/o rod | Thermal Delay | 300 sec | Po Mode | Continuous |

**Adsorbate**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Name | Nitrogen | Molecular Weight | 28.013 g/mol | Cross Section Area | 16.2 Å²/mol |
| Non-ideality | 6.580000e-05 1/torr | Bath Temperature | 77.35 K | | |

**Degas information**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Time | 3.0 hours | Temp | 300.000000 °C |

**Data Reduction Parameters**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Thermal Transpiration | yes | | | Eff. Molec. Diameter | 0 Å |
| Eff. Cell Diameter | 0 mm | | | | |

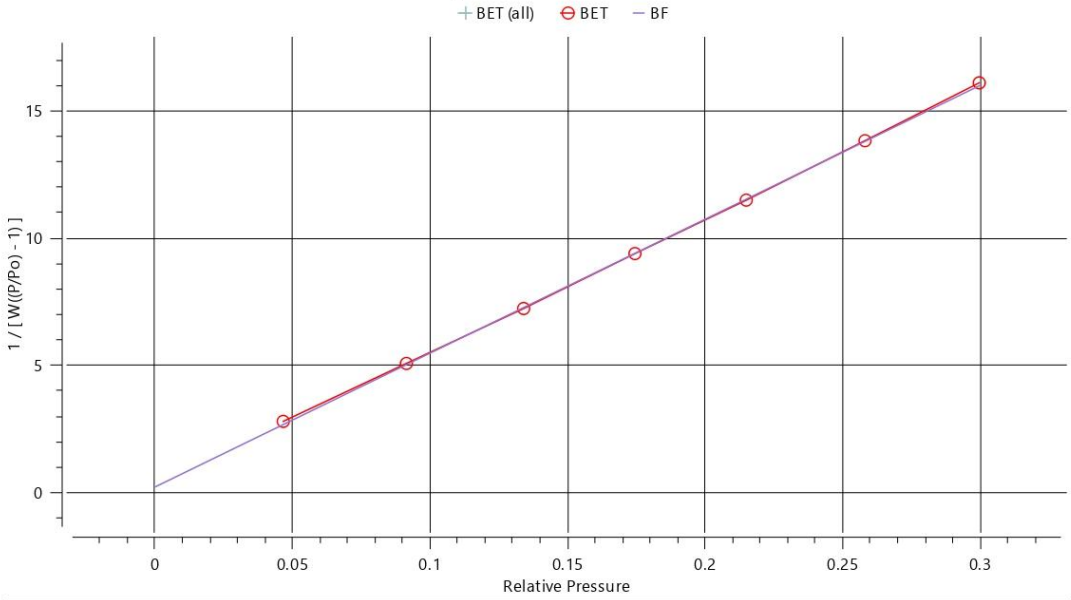
**Adsorbate Model**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Name | Nitrogen | Molecular Weight | 28.0134 g | Cross Section Area | 16.2 Å²/molec |
| Bath Temperature | 77.35 K | | | | |

**BET Multi-point BET results**

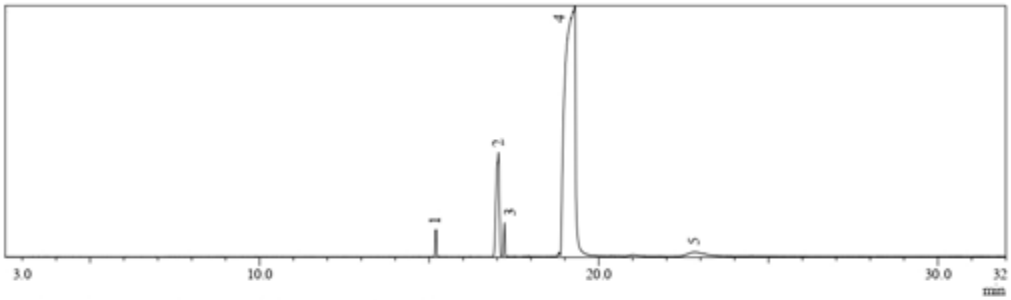
| | |
|---|---|
| Isotherm Branch | Adsorption |
| Slope | 52.5994 |
| Intercept | 0.245932 |
| Correlation coeff., r | 0.999902 |
| C constant | 214.878 |
| Surface area | 65.900 m²/g |

**Graph - BET Multi-point BET**



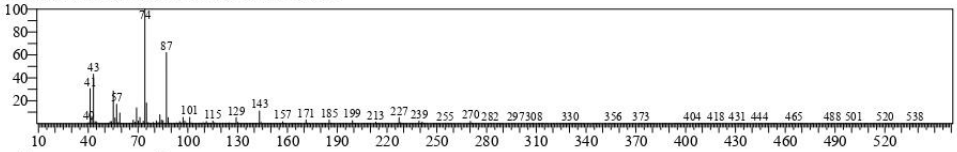
## 3.4 Hasil karakterisasi GCMS

### 3.4.1 Transesterifikasi menggunakan katalis CaO

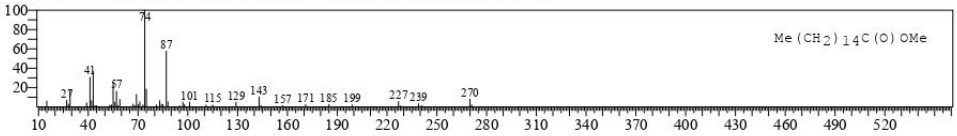



| Peak# | R.Time | I.Time | F.Time | Area | Area% |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 15.199 | 15.120 | 15.285 | 2736424 | 1.01 |
| 2 | 17.042 | 16.870 | 17.145 | 29041628 | 10.75 |
| 3 | 17.218 | 17.145 | 17.315 | 3580891 | 1.33 |
| 4 | 19.296 | 18.860 | 19.795 | 228472332 | 84.63 |
| 5 | 22.833 | 22.365 | 23.855 | 6140571 | 2.28 |
| | | | | 269971846 | 100.00 |

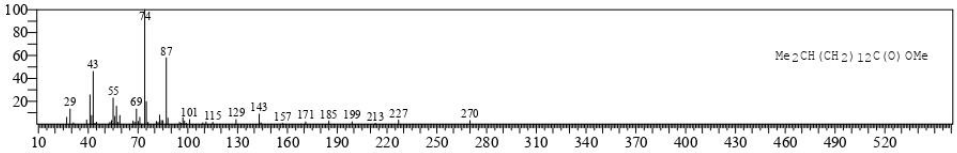
<< Target >>
Line#:1 R.Time:15.200(Scan#:3041) MassPeaks:366
RawMode:Averaged 15.195-15.205(3040-3042) BasePeak:74.10(241202)
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



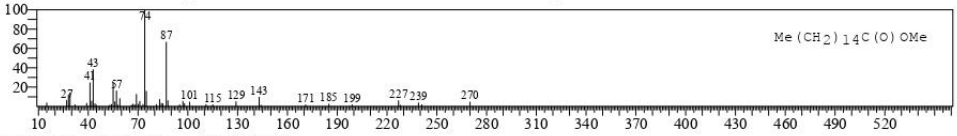
Hit#:1 Entry:180433 Library:WILEY7.LIB
SI:97 Formula:C17 H34 O2 CAS:112-39-0 MolWeight:270 RetIndex:0
CompName:Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate $$ Methyl hexadecanoate $$ Methyl n-hexadecanoate $$ Uniphat A60 $$ Methylene 2216 $$ Palmitic acid methyl ester $$ Palmitic acid, methyl ester $$ n-Hexadecanoic acid methyl ester $$ PALMITIC ACID-METHYL ESTER $$ METHYLPALMITATE $$ HEXADECANCARBONSAEUREMETHYLESTER $$



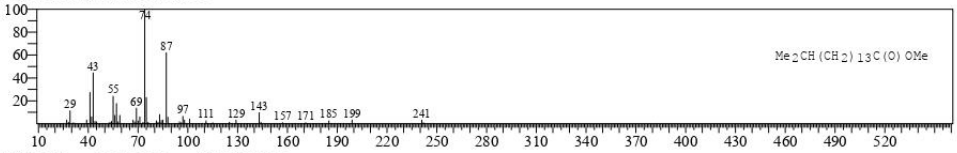

Hit#:2 Entry:180473 Library:WILEY7.LIB
SI:96 Formula:C17 H34 O2 CAS:5129-60-2 MolWeight:270 RetIndex:0
CompName:Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester (CAS) METHYL 14-METHYL-PENTADECANOATE $$ 14-METHYL-PENTADECANSAEUREMETHYLESTER $$ methyl 14-methylpentadecanoate $$



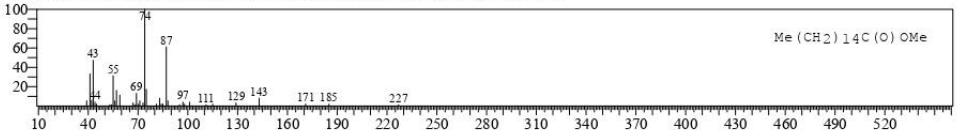

Hit#:3 Entry:180432 Library:WILEY7.LIB
SI:96 Formula:C17 H34 O2 CAS:112-39-0 MolWeight:270 RetIndex:0
CompName:Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate $$ Methyl hexadecanoate $$ Methyl n-hexadecanoate $$ Uniphat A60 $$ Methylene 2216 $$ Palmitic acid methyl ester $$ Palmitic acid, methyl ester $$ n-Hexadecanoic acid methyl ester $$ PALMITIC ACID-METHYL ESTER $$ METHYLPALMITATE $$ HEXADECANCARBONSAEUREMETHYLESTER $$



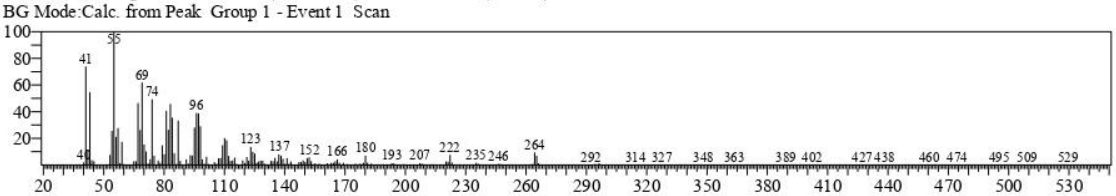

Hit#:4 Entry:195602 Library:WILEY7.LIB
SI:96 Formula:C18 H36 O2 CAS:6929-04-0 MolWeight:284 RetIndex:0
CompName:Hexadecanoic acid, 15-methyl-, methyl ester (CAS) METHYL-15-METHYL HEXADECANOATE $$ Methyl isoheptadecanoate $$ Methyl 15-methylhexadecanoate $$



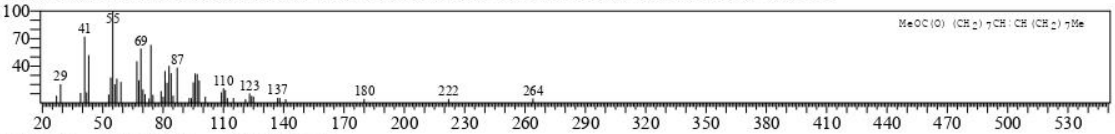

Hit#:5 Entry:180455 Library:WILEY7.LIB
SI:96 Formula:C17 H34 O2 CAS:112-39-0 MolWeight:270 RetIndex:0
CompName:Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate $$ Methyl hexadecanoate $$ Methyl n-hexadecanoate $$ Uniphat A60 $$ Methylene 2216 $$ Palmitic acid methyl ester $$ Palmitic acid, methyl ester $$ n-Hexadecanoic acid methyl ester $$ PALMITIC ACID-METHYL ESTER $$ METHYLPALMITATE $$ HEXADECANCARBONSAEUREMETHYLESTER $$



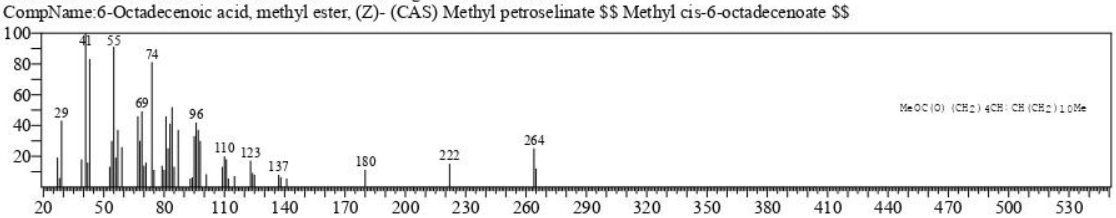
<< Target >>
Line#:2 R.Time:17.040(Scan#:3409) MassPeaks:367
RawMode:Averaged 17.035-17.045(3408-3410) BasePeak:55.10(345074)
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



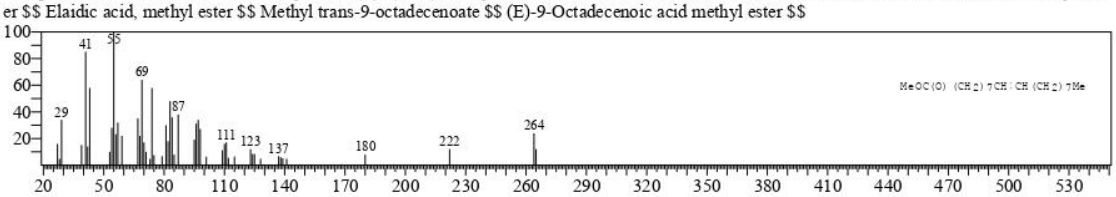
Hit#:1 Entry:207865 Library:WILEY7.LIB
SI:96 Formula:C19 H36 O2 CAS:112-62-9 MolWeight:296 RetIndex:0
CompName:9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS) Methyl oleate $$ Methyl cis-9-octadecenoate $$ Oleic acid methyl ester $$ Oleic acid, methyl ester $$ Emery oleic acid ester 2301 $$ OLEIC ACID-METHYL ESTER $$ (Z)-9-OCTADECENOIC ACID, METHYL ESTER $$ (Z)-9-Octadecenoic acid methyl ester $$ Methyl-o-octadecenoate $$ cis-9-Octyldecenoic acid, methyl ester $$ Emery $$ Emery, oleic acid ester $$ Methyl 9-octadecenoate $$ Oleic acid, methyl ester, cis- $$ Emerest 2301 $$ Emerest 2801 $$ Kemester 105 $$ Kemester 115



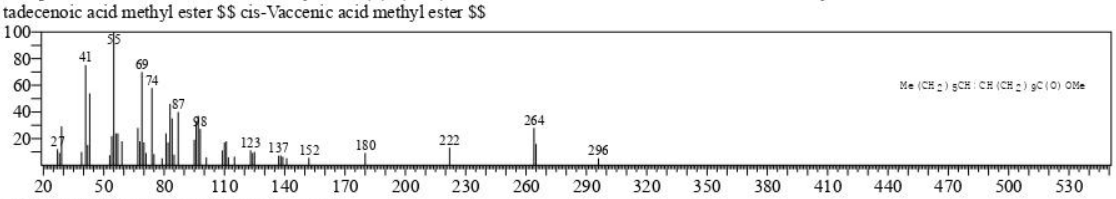
Hit#:2 Entry:207846 Library:WILEY7.LIB
SI:94 Formula:C19 H36 O2 CAS:2777-58-4 MolWeight:296 RetIndex:0
CompName:6-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) Methyl petroselinate $$ Methyl cis-6-octadecenoate $$



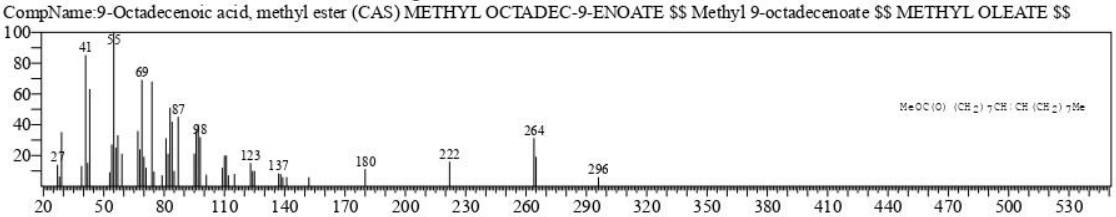
Hit#:3 Entry:207872 Library:WILEY7.LIB
SI:94 Formula:C19 H36 O2 CAS:1937-62-8 MolWeight:296 RetIndex:0
CompName:9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)- (CAS) Methyl elaidate $$ METHYL-TRANS 9-OCTADECENOATE $$ Elaidic acid methyl ester $$ Elaidic acid, methyl ester $$ Methyl trans-9-octadecenoate $$ (E)-9-Octadecenoic acid methyl ester $$



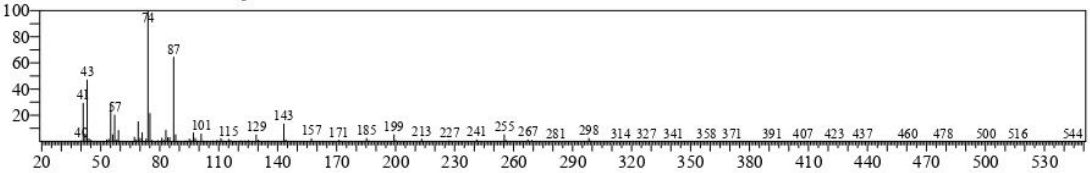
Hit#:4 Entry:207531 Library:WILEY7.LIB
SI:94 Formula:C19 H36 O2 CAS:1937-63-9 MolWeight:296 RetIndex:0
CompName:11-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) METHYL CIS OCTADEC-11-ENOATE $$ Methyl cis-octadec-11-enoate $$ cis-11-Octadecenoic acid methyl ester $$ cis-Vaccenic acid methyl ester $$



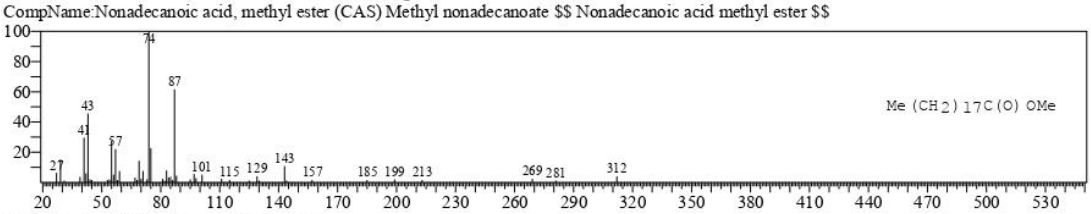
Hit#:5 Entry:207859 Library:WILEY7.LIB
SI:93 Formula:C19 H36 O2 CAS:2462-84-2 MolWeight:296 RetIndex:0
CompName:9-Octadecenoic acid, methyl ester (CAS) METHYL OCTADEC-9-ENOATE $$ Methyl 9-octadecenoate $$ METHYL OLEATE $$



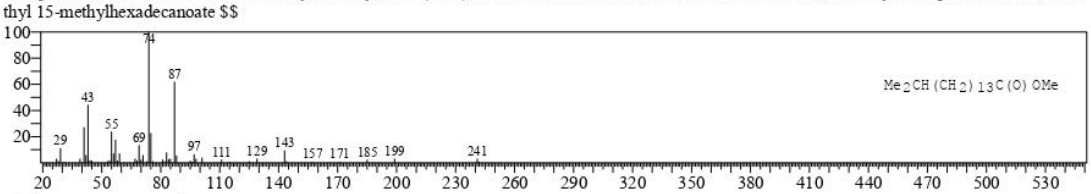
<< Target >>
Line#:3 R.Time:17.220(Scan#:3445) MassPeaks:354
RawMode:Averaged 17.215-17.225(3444-3446) BasePeak:74.05(278471)
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



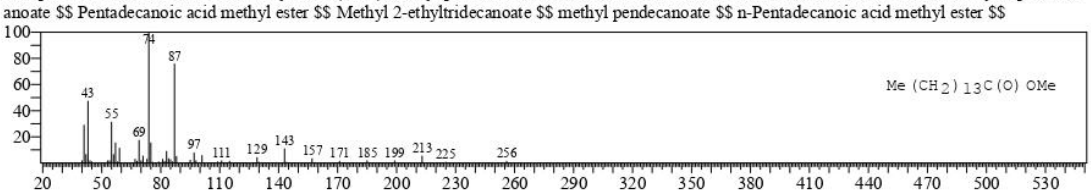
Hit#:1 Entry:223360 Library:WILEY7.LIB
SI:96 Formula:C20 H40 O2 CAS:1731-94-8 MolWeight:312 RetIndex:0
CompName:Nonadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl nonadecanoate $$ Nonadecanoic acid methyl ester $$



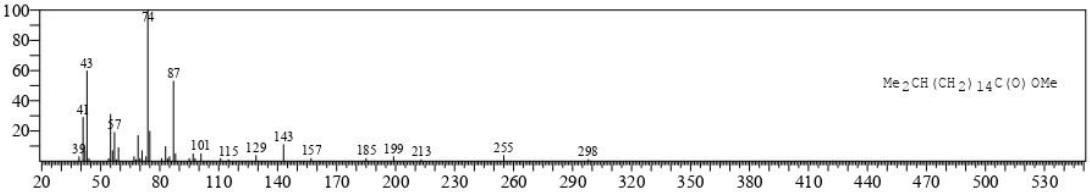

Hit#:2 Entry:195602 Library:WILEY7.LIB
SI:96 Formula:C18 H36 O2 CAS:6929-04-0 MolWeight:284 RetIndex:0
CompName:Hexadecanoic acid, 15-methyl-, methyl ester (CAS) METHYL-15-METHYL HEXADECANOATE $$ Methyl isoheptadecanoate $$ Methyl 15-methylhexadecanoate $$



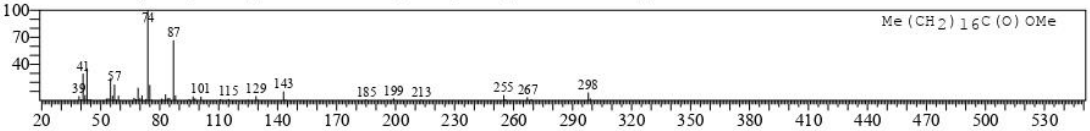

Hit#:3 Entry:164480 Library:WILEY7.LIB
SI:95 Formula:C16 H32 O2 CAS:7132-64-1 MolWeight:256 RetIndex:0
CompName:Pentadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl pentadecanoate $$ PENTADECANOIC ACID-METHYL ESTER $$ Methyl n-pentadecanoate $$ Pentadecanoic acid methyl ester $$ Methyl 2-ethyltridecanoate $$ methyl pendecanoate $$ n-Pentadecanoic acid methyl ester $$



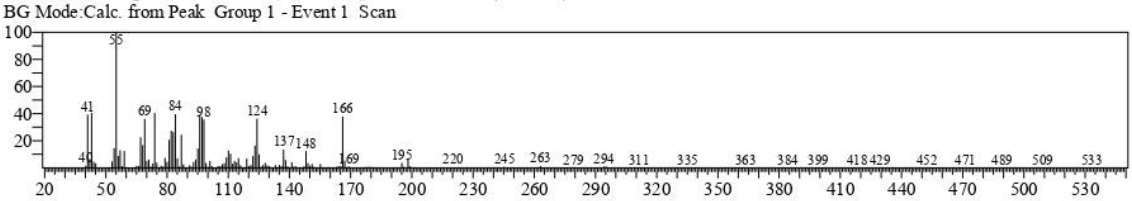

Hit#:4 Entry:209916 Library:WILEY7.LIB
SI:95 Formula:C19 H38 O2 CAS:5129-61-3 MolWeight:298 RetIndex:0
CompName:Heptadecanoic acid, 16-methyl-, methyl ester (CAS) Methyl isostearate $$ Methyl 16-methylheptadecanoate $$



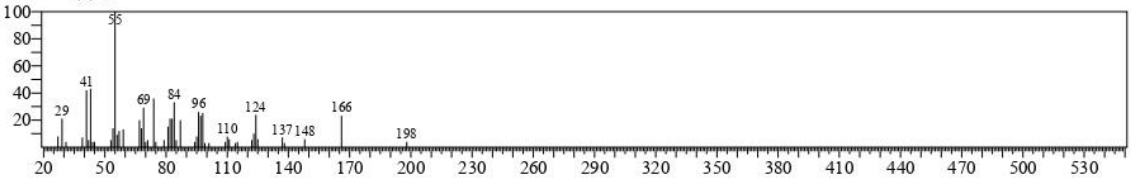

Hit#:5 Entry:209836 Library:WILEY7.LIB
SI:95 Formula:C19 H38 O2 CAS:112-61-8 MolWeight:298 RetIndex:0
CompName:Octadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl stearate $$ Methyl octadecanoate $$ Methyl n-octadecanoate $$ Stearic acid methyl ester $$ Kemester 9718 $$ Stearic acid, methyl ester $$ n-Octadecanoic acid methyl ester $$ Methyl-octadecanoate $$ Methyl ester of octadecanoic acid $$ METHYL-N-OCTADECANOATE $$ methyl stearate $$ methyl octadecanoate $$ octadecanoic acid methyl ester $$ METHYLSTEARATE $$ n-Octadecanoic acid, methyl ester $$ Metholene 2218 $$ Emery 2218 $$ Kemester 9018 $$ STEARINSAEUREMETHYLEST



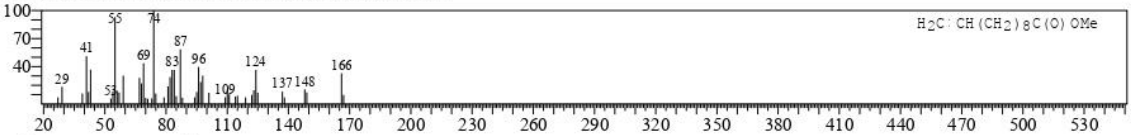
<< Target >>
Line#:4 R.Time:19.295(Scan#:3860) MassPeaks:432
RawMode:Averaged 19.290-19.300(3859-3861) BasePeak:55.05(1072407)
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



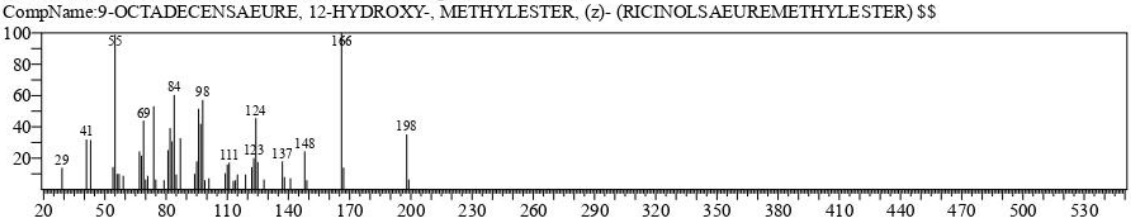
Hit#:1 Entry:223327 Library:WILEY7.LIB
SI:92 Formula:C19 H36 O3 CAS:141-24-2 MolWeight:312 RetIndex:0
CompName:METHYL ESTER OF RICINOLEIC ACID $$ Methyl 12-hydroxy-9-octadecenoate $$ methyl ricinoleate $$ methyl 12-hydroxy-9-octadecenoate (Z) $$



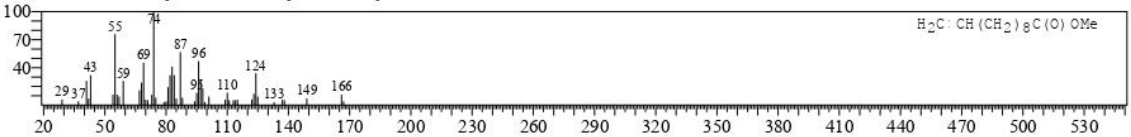
Hit#:2 Entry:93462 Library:WILEY7.LIB
SI:91 Formula:C12 H22 O2 CAS:111-81-9 MolWeight:198 RetIndex:0
CompName:10-Undecenoic acid, methyl ester (CAS) Methyl 10-undecenoate $$ METHYL UNDEC-10-ENOATE $$ Methyl undecenate $$ Methyl undecenoate $$ Methyl 10-undecenate $$ Undecenoic acid, methyl ester $$ Undecylenic acid, methyl ester $$ 10-Hendecenoic acid, methyl ester $$ Undecylenic acid methyl ester $$ METHYL UNDECYLENATE $$ Methyl ester of 10-Undecenoic acid $$ METHYL-10-UNDECENOATE $$ 10-Hendecenoic acid methyl ester $$ Methyl 10-undecylenate $$



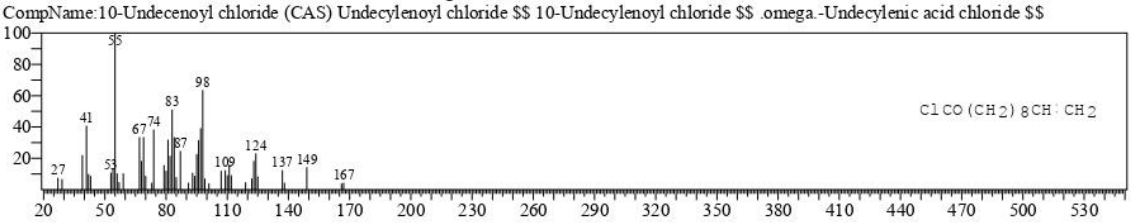

Hit#:3 Entry:222905 Library:WILEY7.LIB
SI:90 Formula:C19 H36 O3 CAS:127062-53-7 MolWeight:312 RetIndex:0
CompName:9-OCTADECENSAEURE, 12-HYDROXY-, METHYLESTER, (z)- (RICINOLSAEUREMETHYLESTER) $$



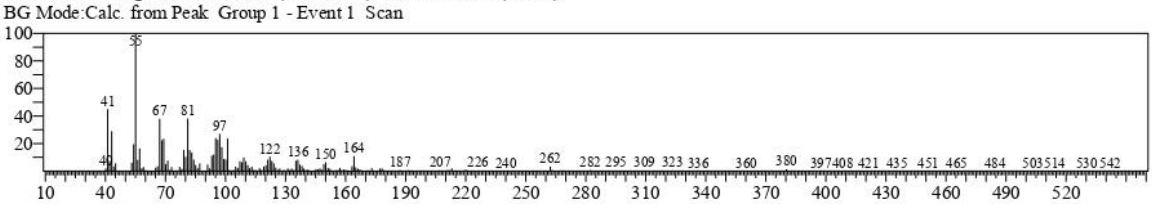
Hit#:4 Entry:93464 Library:WILEY7.LIB
SI:87 Formula:C12 H22 O2 CAS:111-81-9 MolWeight:198 RetIndex:0
CompName:10-Undecenoic acid, methyl ester (CAS) Methyl 10-undecenoate $$ METHYL UNDEC-10-ENOATE $$ Methyl undecenate $$ Methyl undecenoate $$ Methyl 10-undecenate $$ Undecenoic acid, methyl ester $$ Undecylenic acid, methyl ester $$ 10-Hendecenoic acid, methyl ester $$ Undecylenic acid methyl ester $$ METHYL UNDECYLENATE $$ Methyl ester of 10-Undecenoic acid $$ METHYL-10-UNDECENOATE $$ 10-Hendecenoic acid methyl ester $$ Methyl 10-undecylenate $$



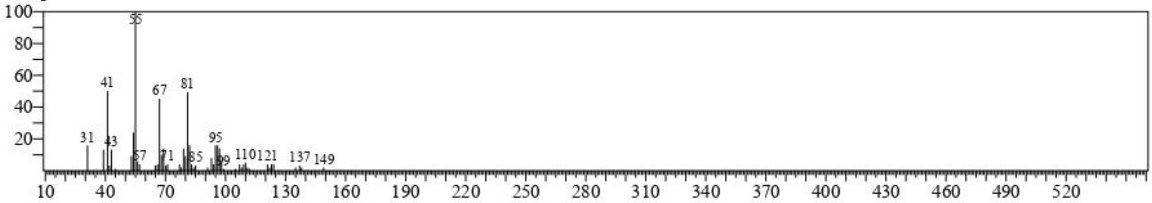

Hit#:5 Entry:98093 Library:WILEY7.LIB
SI:87 Formula:C11 H19 CL O CAS:38460-95-6 MolWeight:202 RetIndex:0
CompName:10-Undecenoyl chloride (CAS) Undecylenoyl chloride $$ 10-Undecylenoyl chloride $$ .omega.-Undecylenic acid chloride $$



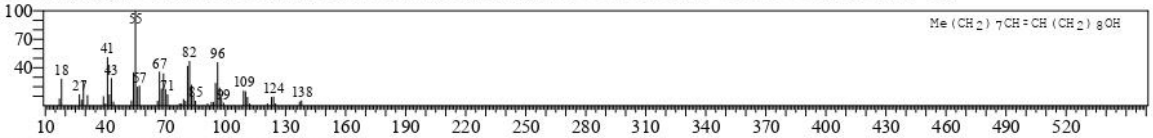
<< Target >>
Line#:5 R.Time:22.835(Scan#:4568) MassPeaks:382
RawMode:Averaged 22.830-22.840(4567-4569) BasePeak:55.10(20291)
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



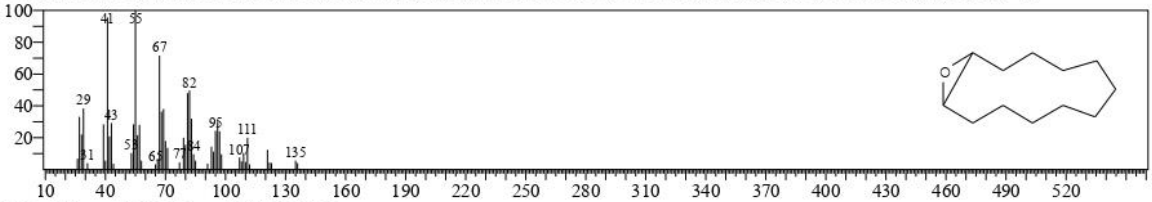
Hit#:1 Entry:143464 Library:WILEY7.LIB
SI:84 Formula:C16 H30 O CAS:0-00-0 MolWeight:238 RetIndex:0
CompName:Hexadecadien-7,11 ol-1 $$



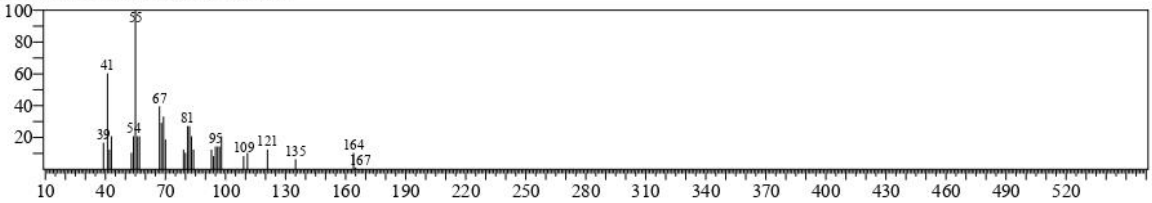
Hit#:2 Entry:178158 Library:WILEY7.LIB
SI:83 Formula:C18 H36 O CAS:143-28-2 MolWeight:268 RetIndex:0
CompName:9-Octadecen-1-ol, (Z)- (CAS) cis-9-Octadecen-1-ol $$ Oleol $$ Satol $$ Ocenol $$ Sipol O $$ Adol 85 $$ Atalco O $$ Adol 320 $$ Lo xanol M $$ Dermaffine $$ Loxanol 95 $$ Crodacol-O $$ Siponol OC $$ Oleo alcohol $$ Cachalot O-1 $$ Oleyl alcohol $$ Conditioner 1 $$ Oleic a lcohol $$ Oleoyl alcohol $$ HD-Ocenol 90/95 $$ cis-9-Octadecenyl alcohol $$ Cachalot O 1 $$ Crodacol O $$ HD-Ocenol K $$ cis-.DELTA.9-Octa decenol $$ (Z)-9-Octadecen-1-ol $$ Anjecol 90N $$ Anjecol 90NR $$ Z-9-OCTADECEN-1-OL $$ Z-OCTADECEN-1-OL



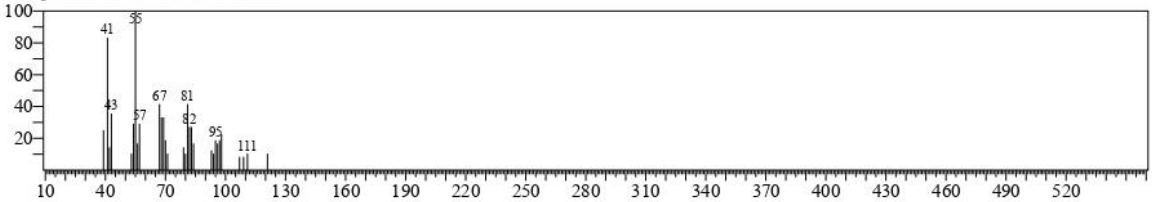

Hit#:3 Entry:74531 Library:WILEY7.LIB
SI:83 Formula:C12 H22 O CAS:286-99-7 MolWeight:182 RetIndex:0
CompName:13-Oxabicyclo[10.1.0]tridecane (CAS) Epoxycyclododecane $$ Cyclododecene epoxide $$ Cyclododecane, 1,2-epoxy- $$



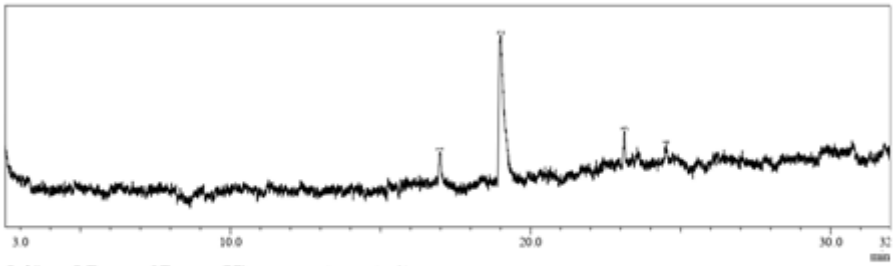
Hit#:4 Entry:73942 Library:WILEY7.LIB
SI:83 Formula:C12 H22 O CAS:0-00-0 MolWeight:182 RetIndex:0
CompName:10-DODECEN-1-AL $$



Hit#:5 Entry:73943 Library:WILEY7.LIB
SI:83 Formula:C12 H22 O CAS:0-00-0 MolWeight:182 RetIndex:0
CompName:11-DODECEN-1-AL $$

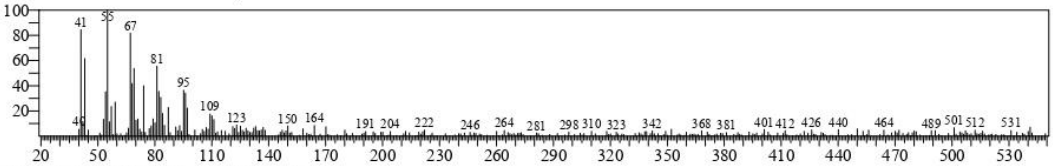


### 3.4.2 Transesterifikasi menggunakan katalis γ-$Al_2O_3$

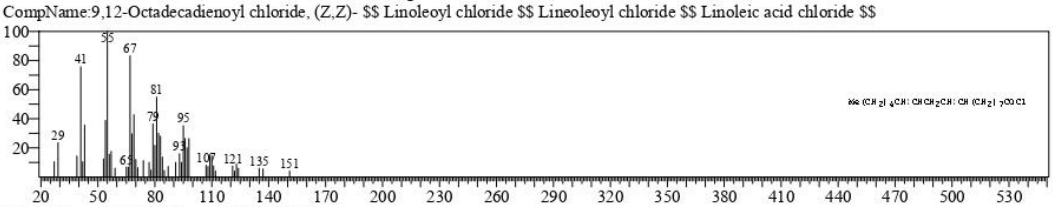



| Peak# | R.Time | I.Time | F.Time | Area | Area% |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 16.985 | 16.875 | 17.065 | 48676 | 9.36 |
| 2 | 18.999 | 18.905 | 19.110 | 440239 | 84.69 |
| 3 | 23.133 | 23.105 | 23.170 | 23164 | 4.46 |
| 4 | 24.515 | 24.450 | 24.545 | 7750 | 1.49 |
| | | | | 519829 | 100.00 |

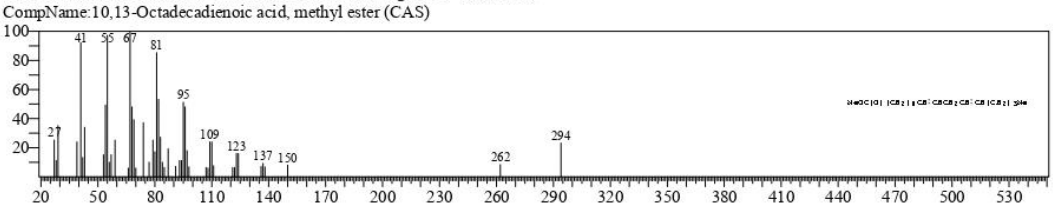
<< Target >>
Line#:1 R.Time:16.985(Scan#:3398) MassPeaks:303
RawMode:Averaged 16.980-16.990(3397-3399) BasePeak:55.10(846)
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



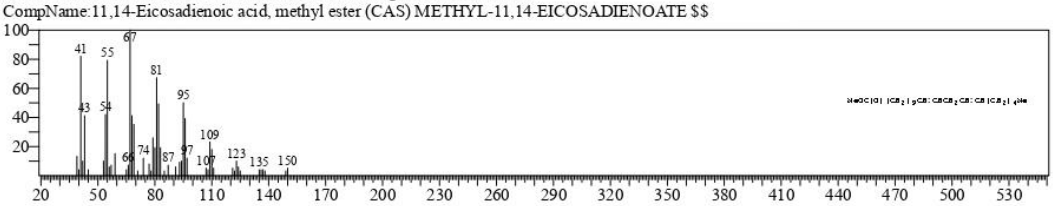
Hit#:1 Entry:209385 Library:WILEY7.LIB
SI:87 Formula:C18 H31 CL O CAS:7459-33-8 MolWeight:298 RetIndex:0
CompName:9,12-Octadecadienoyl chloride, (Z,Z)- $$ Linoleoyl chloride $$ Lineoleoyl chloride $$ Linoleic acid chloride $$



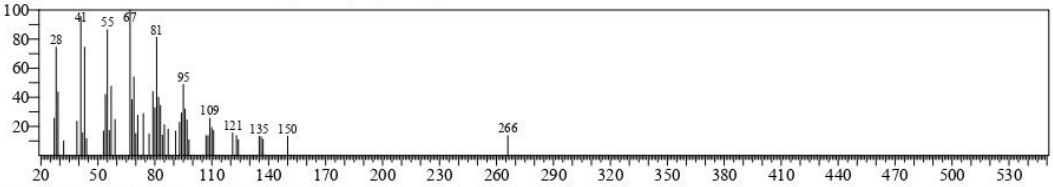
Hit#:2 Entry:205815 Library:WILEY7.LIB
SI:86 Formula:C19 H34 O2 CAS:56554-62-2 MolWeight:294 RetIndex:0
CompName:10,13-Octadecadienoic acid, methyl ester (CAS)



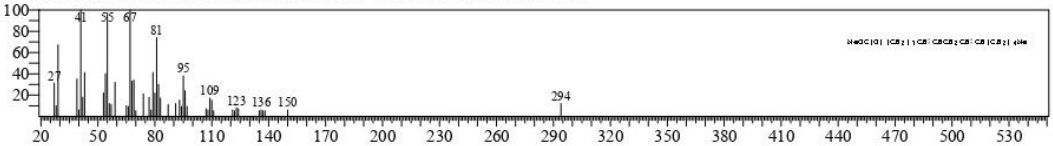
Hit#:3 Entry:232178 Library:WILEY7.LIB
SI:86 Formula:C21 H38 O2 CAS:2463-02-7 MolWeight:322 RetIndex:0
CompName:11,14-Eicosadienoic acid, methyl ester (CAS) METHYL-11,14-EICOSADIENOATE $$



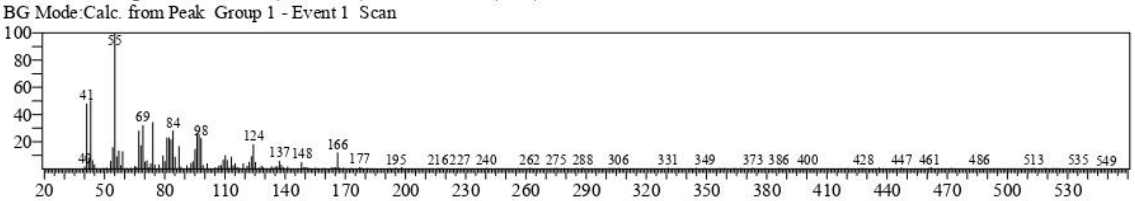
Hit#:4 Entry:175885 Library:WILEY7.LIB
SI:85 Formula:C17 H30 O2 CAS:29961-54-4 MolWeight:266 RetIndex:0
CompName:Hexadecadienoic acid, methyl ester (CAS) Methyl hexadecadienoate $$



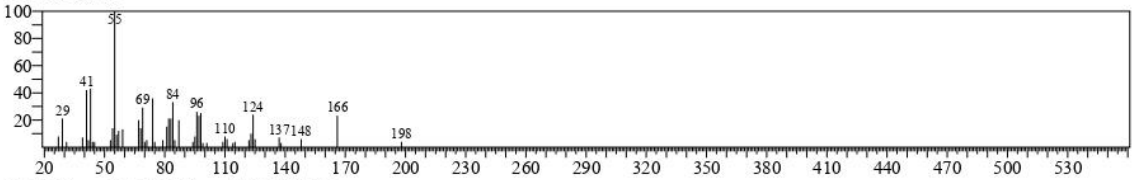
Hit#:5 Entry:205823 Library:WILEY7.LIB
SI:85 Formula:C19 H34 O2 CAS:112-63-0 MolWeight:294 RetIndex:0
CompName:9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (CAS) Methyl linoleate $$ METHYL CIS-9,CIS-12-OCTADECADIENOATE $$ Methyl octadecadienoate $$ Linoleic acid methyl ester $$ Linoleic acid, methyl ester $$ Methyl cis,cis-9,12-octadecadienoate $$ Methyl 9-cis, 12-cis-octadecadienoate $$ METHYLLINOLEATE $$ Methyl 9-cis,12-cis-octadecadienoate $$



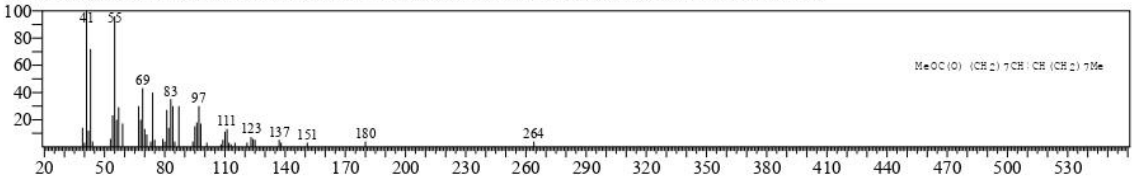
<< Target >>
Line#:2 R.Time:19.000(Scan#:3801) MassPeaks:322
RawMode:Averaged 18.995-19.005(3800-3802) BasePeak:55.10(5736)
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



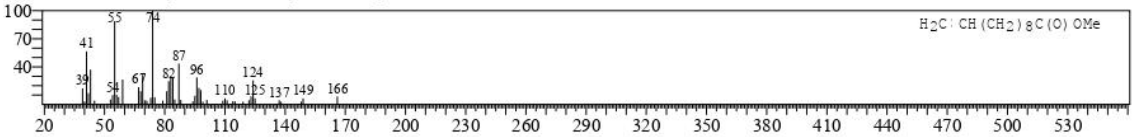
Hit#:1 Entry:223327 Library:WILEY7.LIB
SI:93 Formula:C19 H36 O3 CAS:141-24-2 MolWeight:312 RetIndex:0
CompName:METHYL ESTER OF RICINOLEIC ACID $$ Methyl 12-hydroxy-9-octadecenoate $$ methyl ricinoleate $$ methyl 12-hydroxy-9-octadecenoate (Z) $$



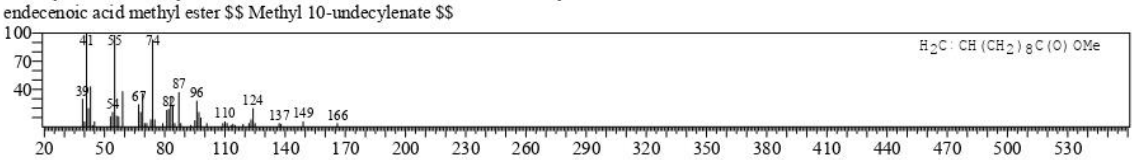
Hit#:2 Entry:207873 Library:WILEY7.LIB
SI:89 Formula:C19 H36 O2 CAS:1937-62-8 MolWeight:296 RetIndex:0
CompName:9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)- (CAS) Methyl elaidate $$ METHYL-TRANS 9-OCTADECENOATE $$ Elaidic acid methyl ester $$ Elaidic acid, methyl ester $$ Methyl trans-9-octadecenoate $$ (E)-9-Octadecenoic acid methyl ester $$



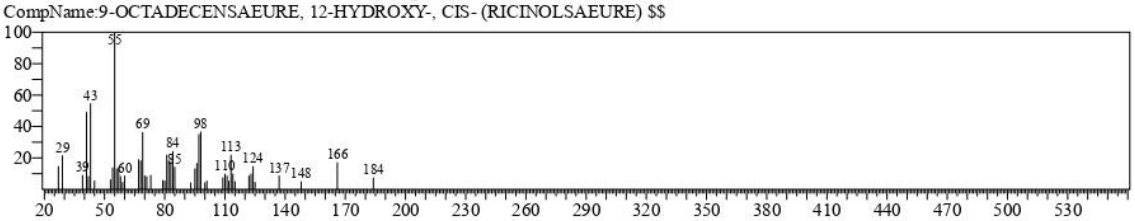

Hit#:3 Entry:93463 Library:WILEY7.LIB
SI:88 Formula:C12 H22 O2 CAS:111-81-9 MolWeight:198 RetIndex:0
CompName:10-Undecenoic acid, methyl ester (CAS) Methyl 10-undecenoate $$ METHYL UNDEC-10-ENOATE $$ Methyl undecenate $$ Methyl undecenoate $$ Methyl 10-undecenate $$ Undecenoic acid, methyl ester $$ Undecylenic acid, methyl ester $$ 10-Hendecenoic acid, methyl ester $$ Undecylenic acid methyl ester $$ METHYL UNDECYLENATE $$ Methyl ester of 10-Undecenoic acid $$ METHYL-10-UNDECENOATE $$ 10-Hendecenoic acid methyl ester $$ Methyl 10-undecylenate $$



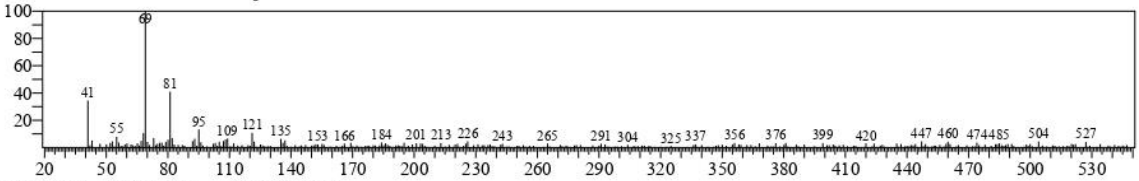

Hit#:4 Entry:93465 Library:WILEY7.LIB
SI:88 Formula:C12 H22 O2 CAS:111-81-9 MolWeight:198 RetIndex:0
CompName:10-Undecenoic acid, methyl ester (CAS) Methyl 10-undecenoate $$ METHYL UNDEC-10-ENOATE $$ Methyl undecenate $$ Methyl undecenoate $$ Methyl 10-undecenate $$ Undecenoic acid, methyl ester $$ Undecylenic acid, methyl ester $$ 10-Hendecenoic acid, methyl ester $$ Undecylenic acid methyl ester $$ METHYL UNDECYLENATE $$ Methyl ester of 10-Undecenoic acid $$ METHYL-10-UNDECENOATE $$ 10-Hendecenoic acid methyl ester $$ Methyl 10-undecylenate $$



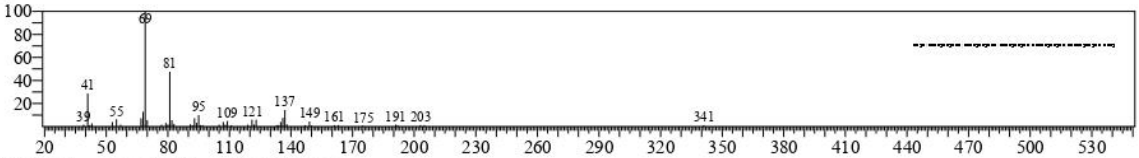

Hit#:5 Entry:209403 Library:WILEY7.LIB
SI:87 Formula:C18 H34 O3 CAS:141-22-0 MolWeight:298 RetIndex:0
CompName:9-OCTADECENSAEURE, 12-HYDROXY-, CIS- (RICINOLSAEURE) $$



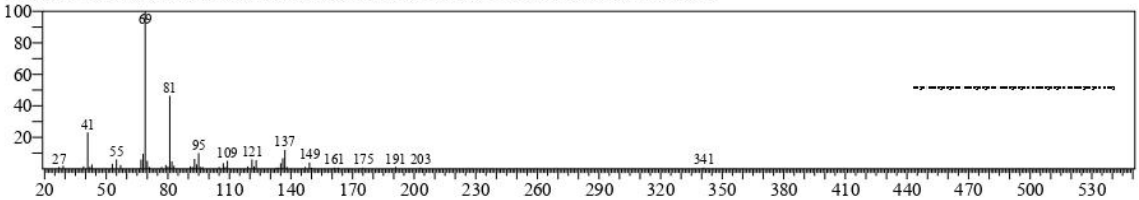
<< Target >>
Line#:3 R.Time:23.135(Scan#:4628) MassPeaks:350
RawMode:Averaged 23.130-23.140(4627-4629) BasePeak:69.10(1432)
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



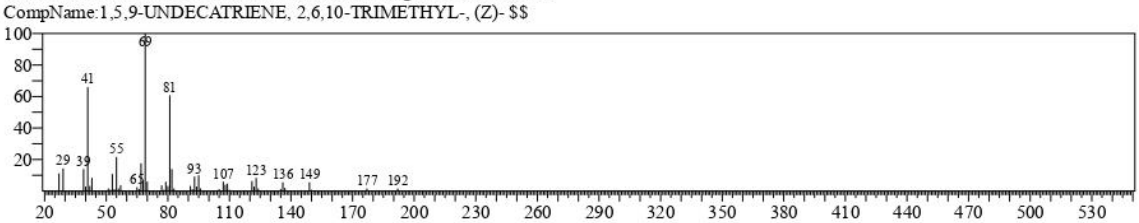

Hit#:1 Entry:289266 Library:WILEY7.LIB
SI:77 Formula:C30 H50 CAS:7683-64-9 MolWeight:410 RetIndex:0
CompName:2,6,10,14,18,22-Tetracosahexaene, 2,6,10,15,19,23-hexamethyl- (CAS) Squalene $$ Skvalen $$ Supraene $$ Spinacene $$ 2,6,10,15,19,23-HEXAMETHYL-2,6,10,14,18,22,-TETRACOSAHEXAENE $$ 2,6,10,14,18,22,-TETRACOSAHEXAEN, 2,6,10,15,19,23-HEXAMETHYL- $$



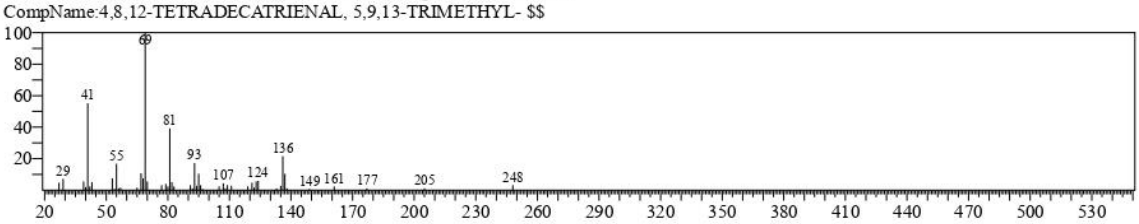

Hit#:2 Entry:289263 Library:WILEY7.LIB
SI:77 Formula:C30 H50 CAS:7683-64-9 MolWeight:410 RetIndex:0
CompName:2,6,10,15,19,23-HEXAMETHYL-2,6,10,14,18,22,-TETRACOSAHEXAENE $$



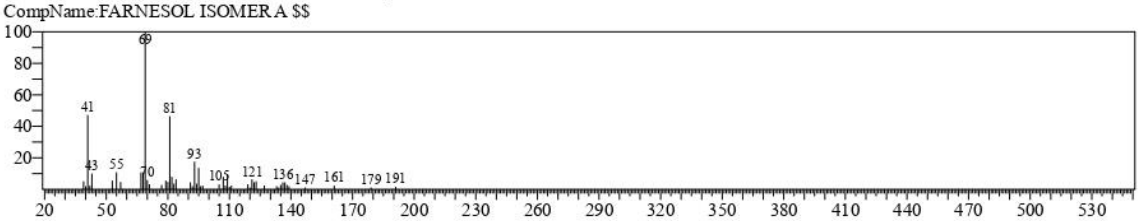

Hit#:3 Entry:85400 Library:WILEY7.LIB
SI:77 Formula:C14 H24 CAS:62951-96-6 MolWeight:192 RetIndex:0
CompName:1,5,9-UNDECATRIENE, 2,6,10-TRIMETHYL-, (Z)- $$



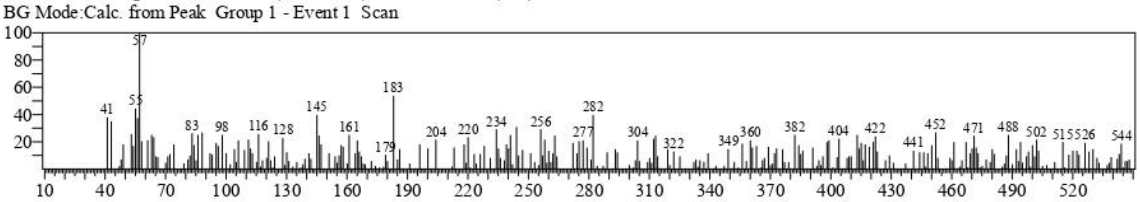

Hit#:4 Entry:154852 Library:WILEY7.LIB
SI:77 Formula:C17 H28 O CAS:66408-55-7 MolWeight:248 RetIndex:0
CompName:4,8,12-TETRADECATRIENAL, 5,9,13-TRIMETHYL- $$



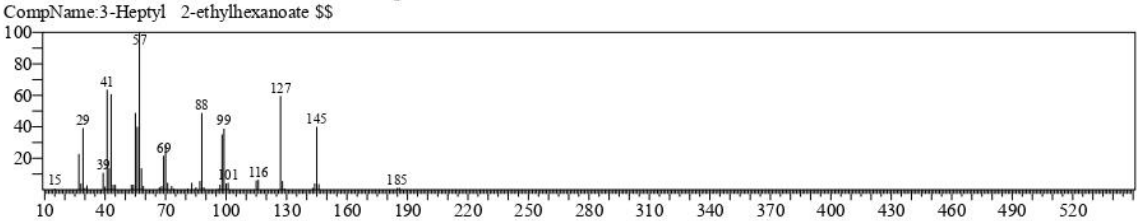

Hit#:5 Entry:123362 Library:WILEY7.LIB
SI:77 Formula:C15 H26 O CAS:0-00-0 MolWeight:222 RetIndex:0
CompName:FARNESOL ISOMER A $$



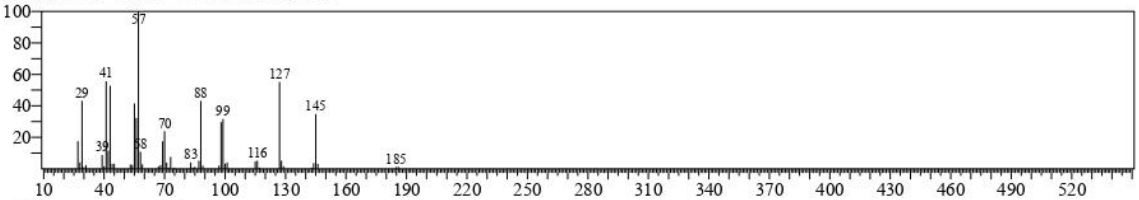
<< Target >>
Line#:4 R.Time:24.515(Scan#:4904) MassPeaks:283
RawMode:Averaged 24.510-24.520(4903-4905) BasePeak:57.10(171)
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



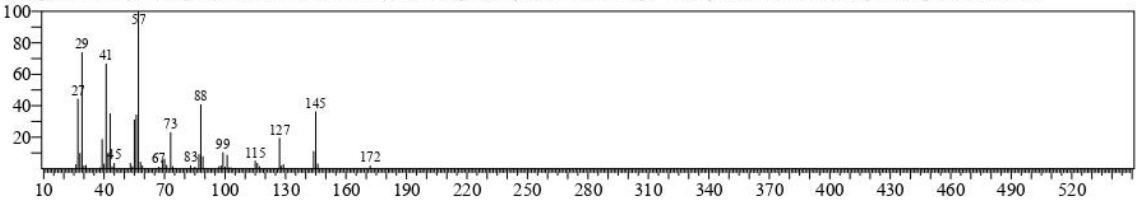
Hit#:1 Entry:147950 Library:WILEY7.LIB
SI:42 Formula:C15 H30 O2 CAS:0-00-0 MolWeight:242 RetIndex:0
CompName:3-Heptyl 2-ethylhexanoate $$



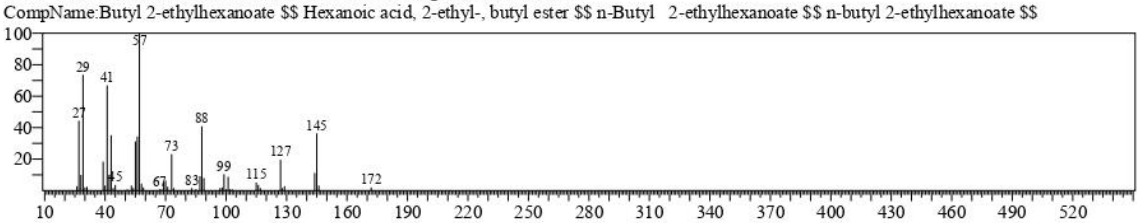
Hit#:2 Entry:147951 Library:WILEY7.LIB
SI:41 Formula:C15 H30 O2 CAS:0-00-0 MolWeight:242 RetIndex:0
CompName:3-Heptyl 2-ethylhexanoate $$



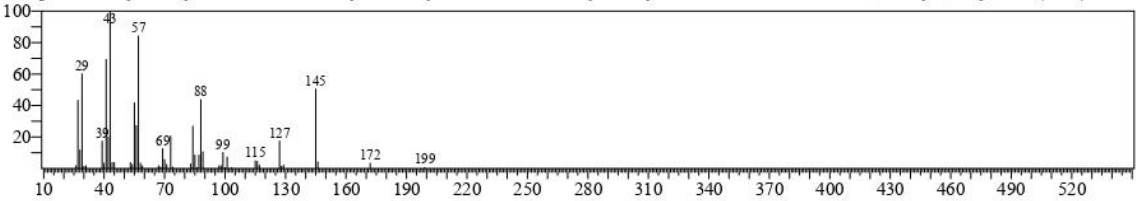
Hit#:3 Entry:95965 Library:WILEY7.LIB
SI:40 Formula:C12 H24 O2 CAS:68443-63-0 MolWeight:200 RetIndex:0
CompName:Butyl 2-ethylhexanoate $$ Hexanoic acid, 2-ethyl-, butyl ester $$ n-Butyl 2-ethylhexanoate $$ n-butyl 2-ethylhexanoate $$



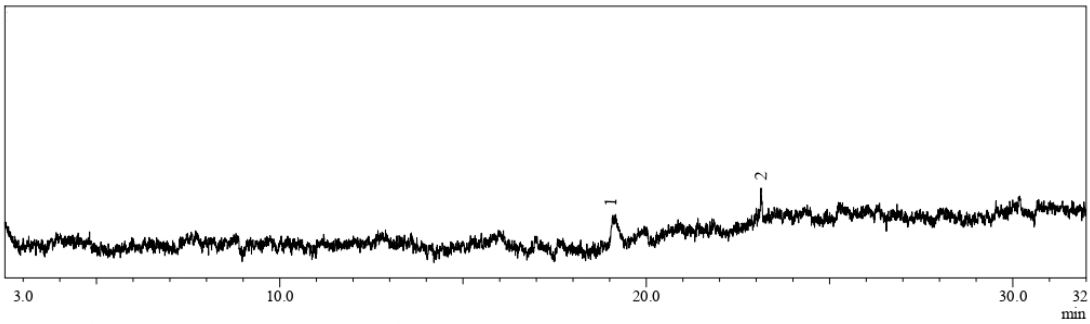
Hit#:4 Entry:95966 Library:WILEY7.LIB
SI:40 Formula:C12 H24 O2 CAS:68443-63-0 MolWeight:200 RetIndex:0
CompName:Butyl 2-ethylhexanoate $$ Hexanoic acid, 2-ethyl-, butyl ester $$ n-Butyl 2-ethylhexanoate $$ n-butyl 2-ethylhexanoate $$



Hit#:5 Entry:131496 Library:WILEY7.LIB
SI:40 Formula:C14 H28 O2 CAS:20748-87-2 MolWeight:228 RetIndex:0
CompName:hexyl 2-ethylhexanoate $$ n-Hexyl 2-ethylhexanoate $$ n-hexyl 2-ethylhexanoate $$ Hexanoic acid, 2-ethyl-, hexyl ester (CAS)

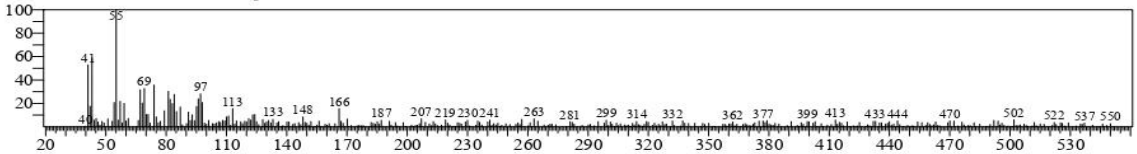


### 3.4.3 Transesterifikasi menggunakan katalis CaO/ γ-$Al_2O_3$

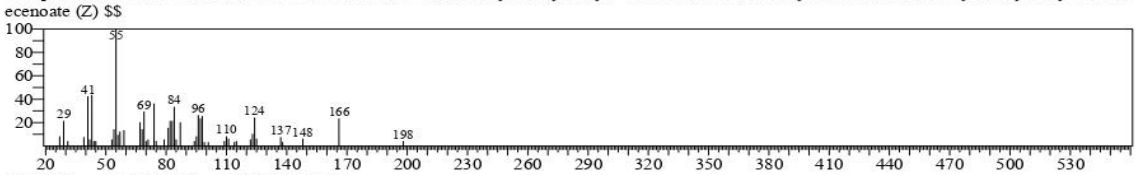



| Peak# | R.Time | I.Time | F.Time | Area | Area% |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 19.164 | 18.940 | 19.390 | 165361 | 85.82 |
| 2 | 23.129 | 23.050 | 23.210 | 27329 | 14.18 |
| | | | | 192690 | 100.00 |

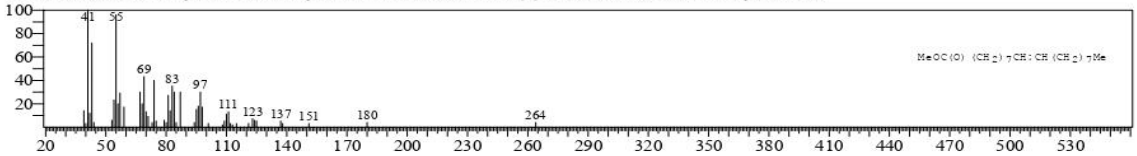
<< Target >>
Line#:1 R.Time:19.165(Scan#:3834) MassPeaks:356
RawMode:Averaged 19.160-19.170(3833-3835) BasePeak:55.10(768)
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



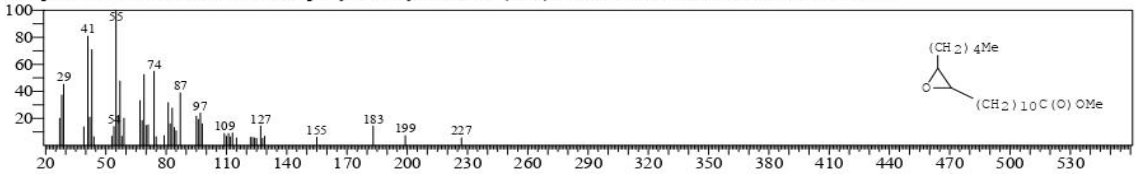
Hit#:1 Entry:223327 Library:WILEY7.LIB
SI:83 Formula:C19 H36 O3 CAS:141-24-2 MolWeight:312 RetIndex:0
CompName:METHYL ESTER OF RICINOLEIC ACID $$ Methyl 12-hydroxy-9-octadecenoate $$ methyl ricinoleate $$ methyl 12-hydroxy-9-octad ecenoate (Z) $$



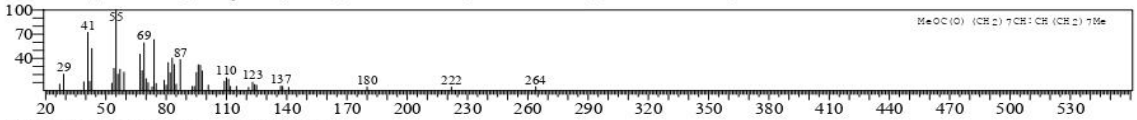
Hit#:2 Entry:207873 Library:WILEY7.LIB
SI:83 Formula:C19 H36 O2 CAS:1937-62-8 MolWeight:296 RetIndex:0
CompName:9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)- (CAS) Methyl elaidate $$ METHYL-TRANS 9-OCTADECENOATE $$ Elaidic acid methyl est er $$ Elaidic acid, methyl ester $$ Methyl trans-9-octadecenoate $$ (E)-9-Octadecenoic acid methyl ester $$



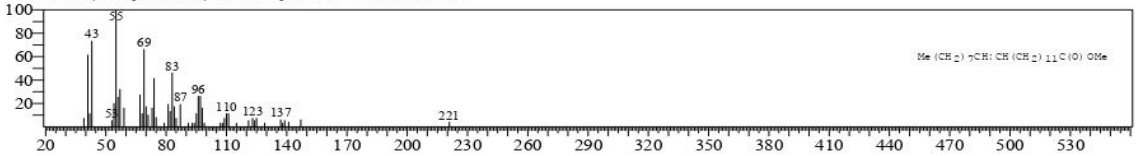
Hit#:3 Entry:223331 Library:WILEY7.LIB
SI:81 Formula:C19 H36 O3 CAS:38520-30-8 MolWeight:312 RetIndex:0
CompName:Oxiraneundecanoic acid, 3-pentyl-, methyl ester, cis- (CAS) METHYL CIS-12,13-EPOXISTEARATE $$



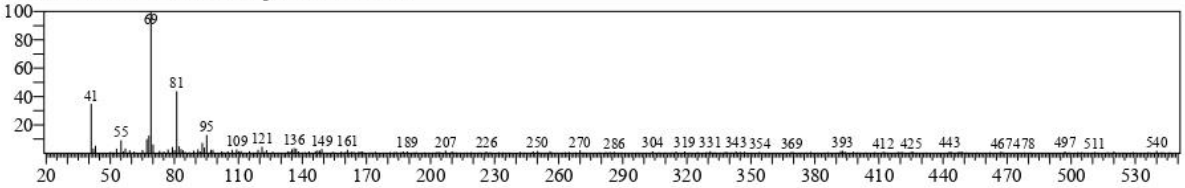
Hit#:4 Entry:207865 Library:WILEY7.LIB
SI:81 Formula:C19 H36 O2 CAS:112-62-9 MolWeight:296 RetIndex:0
CompName:9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS) Methyl oleate $$ Methyl cis-9-octadecenoate $$ Oleic acid methyl ester $$ Oleic acid, me thyl ester $$ Emery oleic acid ester 2301 $$ OLEIC ACID-METHYL ESTER $$ (Z)-9-OCTADECENOIC ACID, METHYL ESTER $$ (Z)-9-Octad ecenoic acid methyl ester $$ Methyl-o-octadecenoate $$ cis-9-Octyldecenoic acid, methyl ester $$ Emery $$ Emery, oleic acid ester $$ Methyl 9-octa decenoate $$ Oleic acid, methyl ester, cis- $$ Emerest 2301 $$ Emerest 2801 $$ Kemester 105 $$ Kemester 115



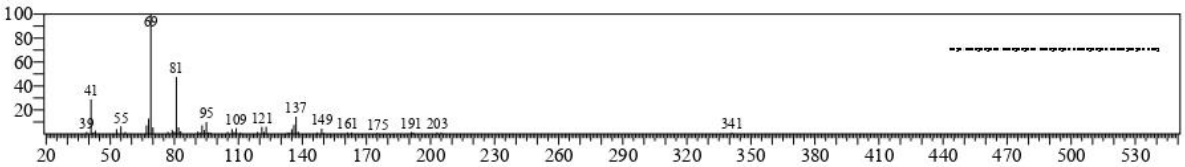
Hit#:5 Entry:255934 Library:WILEY7.LIB
SI:81 Formula:C23 H44 O2 CAS:1120-34-9 MolWeight:352 RetIndex:0
CompName:13-Docosenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) Methyl erucate $$ Erucic acid methyl ester $$ Methyl (Z)-13 docosenoate $$ Methyl 13-d ocosenoate(methyl erucate) $$ Methyl cis-13-docosenoate $$



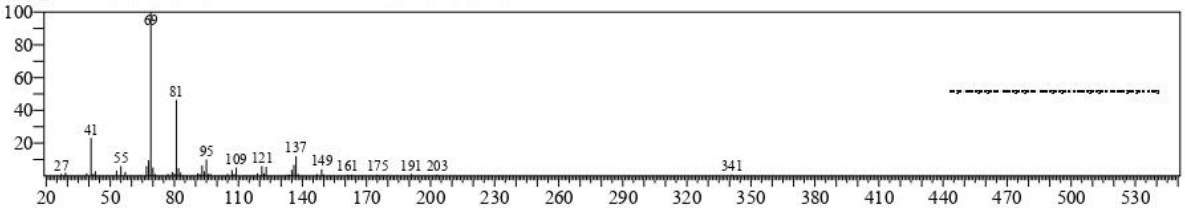
<< Target >>
Line#:2 R.Time:23.130(Scan#:4627) MassPeaks:278
RawMode:Averaged 23.125-23.135(4626-4628) BasePeak:69.10(2613)
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



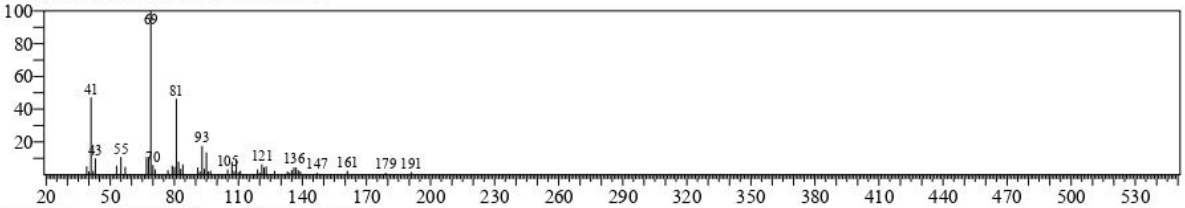
Hit#:1 Entry:289266 Library:WILEY7.LIB
SI:88 Formula:C30 H50 CAS:7683-64-9 MolWeight:410 RetIndex:0
CompName:2,6,10,14,18,22-Tetracosahexaene, 2,6,10,15,19,23-hexamethyl- (CAS) Squalene $$ Skvalen $$ Supraene $$ Spinacene $$ 2,6,10,15,19,23-HEXAMETHYL-2,6,10,14,18,22,-TETRACOSAHEXAENE $$ 2,6,10,14,18,22,-TETRACOSAHEXAEN, 2,6,10,15,19,23-HEXAMETHYL- $$



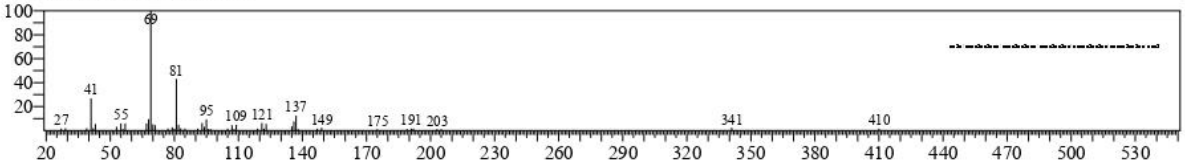
Hit#:2 Entry:289263 Library:WILEY7.LIB
SI:87 Formula:C30 H50 CAS:7683-64-9 MolWeight:410 RetIndex:0
CompName:2,6,10,15,19,23-HEXAMETHYL-2,6,10,14,18,22,-TETRACOSAHEXAENE $$



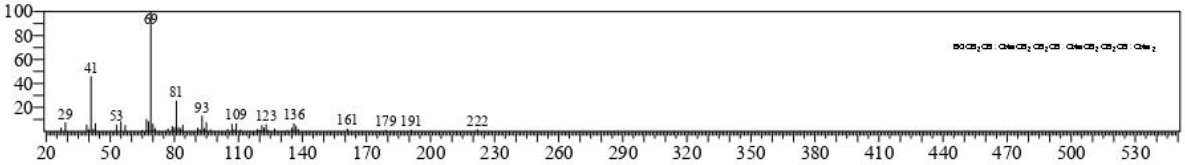
Hit#:3 Entry:123362 Library:WILEY7.LIB
SI:87 Formula:C15 H26 O CAS:0-00-0 MolWeight:222 RetIndex:0
CompName:FARNESOL ISOMER A $$



Hit#:4 Entry:289269 Library:WILEY7.LIB
SI:86 Formula:C30 H50 CAS:111-02-4 MolWeight:410 RetIndex:0
CompName:2,6,10,14,18,22-Tetracosahexaene, 2,6,10,15,19,23-hexamethyl-, (all-E)- (CAS) Squalen $$ Supraene $$ Squalene $$ Spinacen $$ Spinacene $$ trans-Squalene $$ all-trans-Squalene $$ 2,6,10,15,19,23-Hexamethyl-2,6,10,14,18,22-tetracosahexaene $$ 2,6,10,15,19,23-Hexamethyltetracosa-2,6,10,14,18,22-hexaene $$



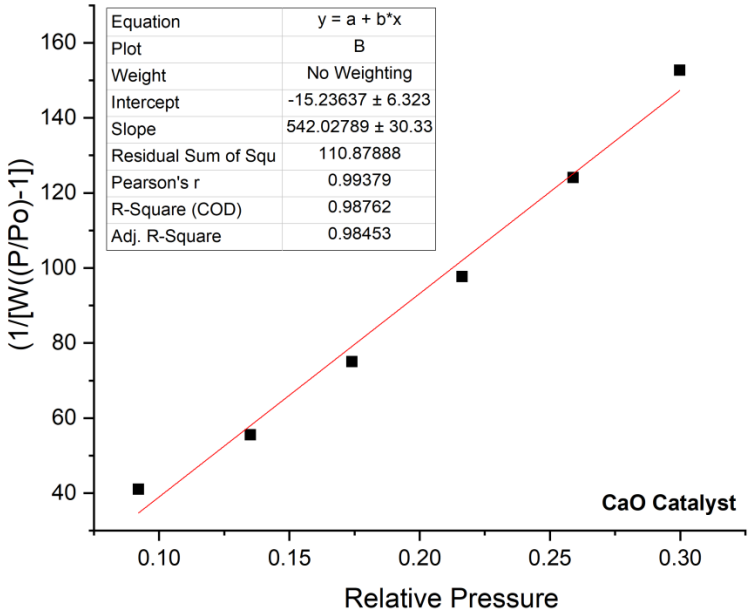
Hit#:5 Entry:123927 Library:WILEY7.LIB
SI:86 Formula:C15 H26 O CAS:106-28-5 MolWeight:222 RetIndex:0
CompName:trans-Farnesol $$ 2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)- (CAS) Inhibitor A2 $$ (E,E)-Farnesol $$ (2E,6E)-Farnesol $$ all-trans-Farnesol $$ trans,trans-Farnesol $$ 2,6-Di-trans-farnesol $$ 2-trans,6-trans-Farnesol $$ TRANS-TRANS-FARNESOL $$ FARNESOL TRANS-TRANS $$



**Lampiran 4. Perhitungan Hasil Penelitian**

4.1 Perhitungan BET

4.1.1 Katalis CaO




N= 6,0225 x $10^{23}$ molekul/mol

Acs = 16,2 x $10^{-20}$ $m^2$

W = 28,0134 g

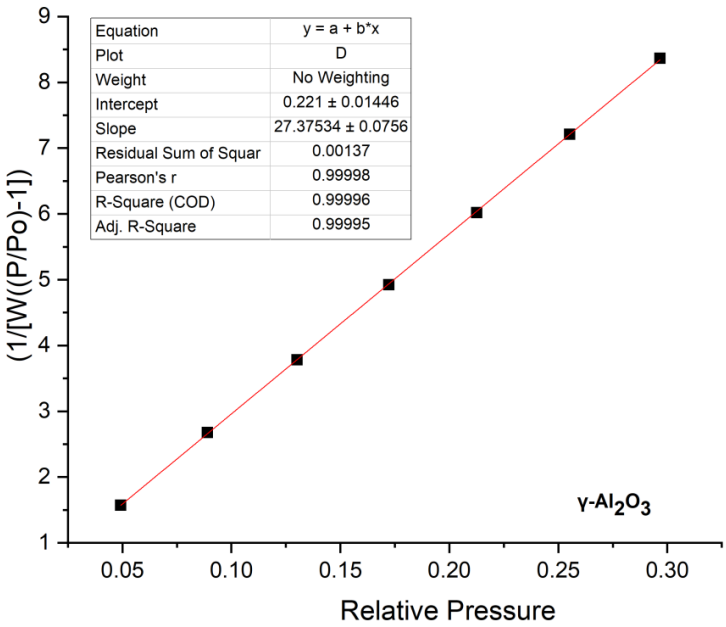
Slope (s) = 542,028

Intercept (i) = -15,2364

$$Wm = \frac{1}{s+i} = \frac{1}{542{,}028+(-15{,}2364)} = 0{,}00179$$

$$St = \frac{Wm \text{ x } N \text{ x } Acs}{W} = \frac{0{,}00179 \text{ x } 6{,}0225 \text{ x } 10^{23} \text{ x } 16{,}2 \text{ x } 10^{-20}}{28{,}0134} = 6{,}611 \text{ m}^2/\text{g}$$

4.1.2 Katalis γ-$Al_2O_3$



N= 6,0225 x $10^{23}$ molekul/mol

Acs = 16,2 x $10^{-20}$ $m^2$

W = 28,0134 g

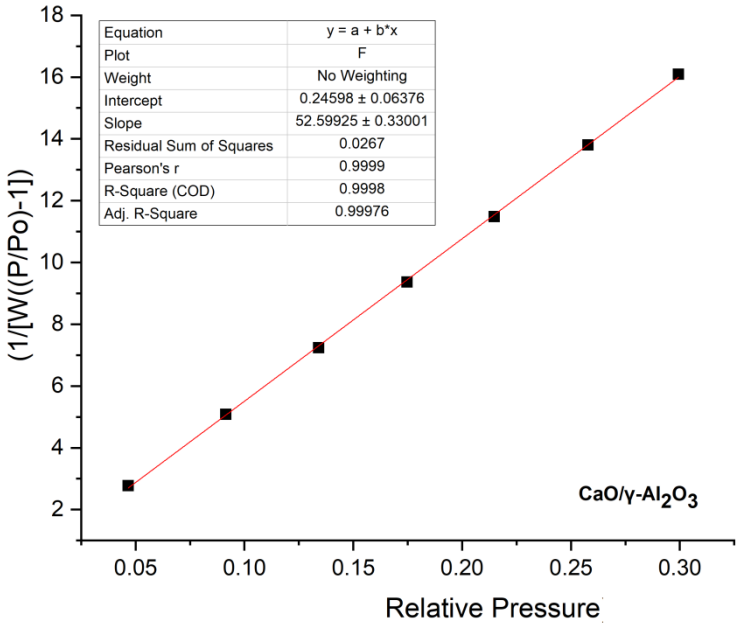
Slope (s) = 27,3773

Intercept (i) = 0,22077

Wm = $\frac{1}{s+i}$ = $\frac{1}{542,028+(-15,2364)}$ = 0,0362

St = $\frac{Wm \times N \times Acs}{W}$ = $\frac{0,0362 \times 6,0225 \times 10^{23} \times 16,2 \times 10^{-20}}{28,0134}$ = 126,187 $m^2/g$

4.1.3 Katalis CaO/γ -$Al_2O_3$




N= 6,0225 x $10^{23}$ molekul/mol

Acs = 16,2 x $10^{-20}$ $m^2$

W = 28,0134 g

Slope (s) = 52,5994

Intercept (i) = 0,245932

Wm = $\frac{1}{s+i}$ = $\frac{1}{542,028+(-15,2364)}$ = 0,01892

St = $\frac{Wm \times N \times Acs}{W}$ = $\frac{0,01892 \times 6,0225 \times 10^{23} \times 16,2 \times 10^{-20}}{28,0134}$ = 65,900 $m^2/g$

4.2 Penentuan % Metil Ester

$$\% \text{ Metil ester} = \frac{\text{Luas area}}{\text{Total Luas area}} \; x \; 100\%$$

4.2.1 Katalis CaO

% metil palmitat = $\frac{2736424}{269971846}$ x 100% = 1,01%

% metil oleat = $\frac{29041628}{269971846}$ x 100% = 10,76%

% metil stearat = $\frac{3580891}{269971846}$ x 100% = 1,33%

% metil risinoleat = $\frac{228472332}{269971846}$ x 100% = 84,63%

4.2.2 Katalis γ-$Al_2O_3$

% metil linoleat = $\frac{48676}{519829}$ x 100% = 9,36%

% metil risinoleat = $\frac{440239}{519829}$ x 100% = 84,69%

% metil miristat = $\frac{7750}{519829}$ x 100% = 1,49%

4.2.3 Katalis CaO/γ -$Al_2O_3$

% metil risinoleat = $\frac{165361}{192690}$ x 100% = 85,82%

**Lampiran 5. Dokumentasi**

| | |
|---|---|
| Proses pengembanan CaO/γ-$Al_2O_3$ | Proses pengovenan hasil sintesis |
| Hasil setelah di oven selama 24 jam | Hasil sintesis setelah proses tanur |
| Reaksi transesterfikasi menggunakan variasi katalis CaO, γ-$Al_2O_3$ , dan CaO/ γ-$Al_2O_3$ | Proses pencucian dengan aquades panas |
| Penyaringan dengan $Na_2SO_4$ anhidrat | Hasil metil ester |