

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOH/ γ -Al₂O₃ DENGAN METODE
IMPREGNASI BASAH, HIDROTHERMAL, DAN SONIKASI SEBAGAI
KATALIS PADA REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA
SAWIT**

SKRIPSI

Oleh:
REGNANT YALA SATATARIKSA
NIM. 13630040



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2018**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOH/ γ -Al₂O₃ DENGAN METODE
IMPREGNASI BASAH, HIDROTHERMAL, DAN SONIKASI SEBAGAI
KATALIS PADA REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA
SAWIT**

SKRIPSI

Oleh:
REGNANT YALA SATATARIKSA
NIM. 13630040

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)

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2018**

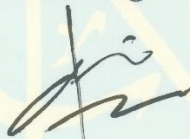
**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOH/ γ -Al₂O₃ DENGAN METODE
IMPREGNASI BASAH, HIDROTERMAL, DAN SONIKASI SEBAGAI
KATALIS PADA REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA
SAWIT**

SKRIPSI

Oleh:
REGNANT YALA SATATARIKSA
NIM. 13630040

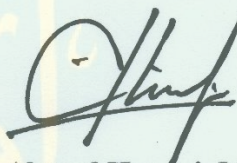
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 12 Maret 2018

Pembimbing I



Susi Nurul Khalifah, M.Si
NIDT. 19851020 20180201 2 240

Pembimbing II



Ahmad Hanapi, M.Sc
NIDT. 19851225 20160801 1 069

Mengetahui,
Ketua Jurusan Kimia



Elok Kamilah Hayati, M.Si
NIP. 19790620 200604 2 002

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOH/ γ -Al₂O₃ DENGAN METODE
IMPREGNASI BASAH, HIDROTHERMAL, DAN SONIKASI SEBAGAI
KATALIS PADA REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA
SAWIT**

SKRIPSI

Oleh:
REGNANT YALA SATATARIKSA
NIM. 13630040

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 12 Maret 2018

Penguji Utama : Diana Candra Dewi, M.Si
NIP. 19770720 200312 2 001

Ketua Penguji : Nur Aini, M.Si
NIDT. 19840608 20160801 2 070

Sekretaris Penguji : Susi Nurul Khalifah, M.Si
NIDT. 19851020 20180201 2 240

Anggota Penguji : Ahmad Hanapi, M.Sc
NIDT. 19851225 20160801 1 069

(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Kimia

Elok Kamilah Hayati, M.Si
NIP. 19790620 200604 2 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Regnant Yala Satatariksa

NIM : 13630040

Jurusan : Kimia

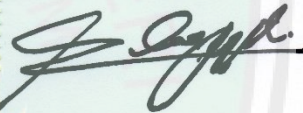
Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Sintesis dan Karakterisasi $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan Metode Impregnasi Basah, Hidrotermal, dan Sonikasi sebagai Katalis pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan 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 dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 15 April 2018
Yang membuat pernyataan,




Regnant Yala Satatariksa
NIM. 13630040

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillah, atas berkat dan rahmat Allah SWT serta dengan penuh rasa syukur saya ucapkan Alhamdulillah karena akhirnya saya dapat menyelesaikan tugas akhir. Tanpa kehendak-Nya dan dukungan dari orang-orang sekitar, tentunya saya tidak dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, saya ingin mempersembahkan tulisan ini untuk:

Kedua orang tua saya, Bapak Kitty Effendi dan Ibu Hanah yang selama ini telah memberikan segala bentuk dukungan baik berupa materi hingga do'a dan kasih sayang beliau yang sampai saat ini masih saya rasakan sehingga saya dapat memperoleh gelar sarjana ini. Terima kasih untuk segala yang telah diberikan dan didedikasikan untuk saya, mungkin kiranya tulisan ini hanya sebagian kecil hal yang bisa saya persembahkan untuk kalian berdua, karena semua kebaikan kalian berdua takkan bisa terbalas dengan apapun. Semoga kalian berdua senantiasa dalam lindungan dan kasih sayang Allah SWT, senantiasa diberi kesehatan, umur panjang, dan kebaikan-kebaikan di dunia sampai akhirat. Aamiin..

Kakak-kakak, Kakak sepupu dan keponakan saya (Mbak Giyar, Mbak Putri, Mas Dhika, Mbak Intan, Mas Wewen, Mas Eed, Khusnul, Ratna, Atika, Fia dan Esa) terima kasih telah menemani dan menghibur saya selama perjalanan dan segala kegalauan penelitian. Semoga kalian mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT.

Ibu Susi Nurul Khalifah, M.Si, Ibu Nur Aini, M.Si, Ibu Diana Candra Dewi, M.Si, Bapak Ahmad Hanapi M,Sc juga Bapak dan Ibu Dosen serta seluruh staff dan jajaran yang ada di jurusan kimia uin maliki malang (yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu), terima kasih banyak karena telah mendidik dan membimbing saya selama ini. Baik dalam ilmu kimia maupun ilmu sebagai bekal kehidupan saya. Semoga segala pemberian Bapak dan Ibu Dosen serta Mbak dan Mas dibalas kebaikan, keberkahan, dan kebahagiaan oleh Allah SWT, Aamiin ...

Teman-teman seperjuangan (Yorda, Permana, Hanani, Raisal, Guruh, Baderoes, Andri, Rahmad, Ansori, Zaky, Anwar) dan teman-teman "Kelas Kimia A 2013" yang tidak dapat saya sebut satu persatu namanya, seluruh teman-teman kimia 2013 yang telah menjadi bagian dari penelitian saya, Kakak tingkat dan Adik tingkat dari angkatan 2011 sampai 2015. Terima kasih untuk segalanya, semoga Allah memberikan keberkahan dalam kehidupan kita, dan senantiasa dalam ketaqwaan kepada Allah SWT. Semoga cita-cita kalian semua bisa terwujud, sukses dan bahagia, Aamiin ..

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat, Taufiq dan Hidayah-Nya penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sintesis dan Karakterisasi KOH/ γ -Al₂O₃ dengan Metode Impregnasi Basah, Hidrotermal, dan Sonikasi Sebagai Katalis Pada Reaksi Transesterifikasi Miinyak Kelapa Sawit”**. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan serta membawa kita umat manusia keluar dari jalan kegelapan menuju jalan yang terang benderang yaitu agama Islam.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peran, arahan, dukungan dan bimbingan segenap pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan dukungan baik spiritual maupun materiil.
2. Ibu Susi Nurul Khalifah, M.Si, Ibu Nur Aini, M.Si, Ibu Diana Candra Dewi, M.Si, dan Bapak Ahmad Hanapi M,Sc selaku pembimbing dan penguji, karena atas bimbingan dan pengarahan yang diberikan serta kesabaran beliau-beliau kepada penulis sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Ibu Elok Kamilah Hayati, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Seluruh dosen pengajar Jurusan Kimia yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
5. Seluruh Laboran Jurusan Kimia yang telah membantu dalam proses penelitian.
6. Laboratorium Metalurgi dan Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya, Laboratorium Sentral dan Material Maju Universitas Negeri Malang, Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro, dan Laboratorium FMIPA Jurusan Kimia Universitas Brawijaya yang telah berkenan membantu jalannya analisis hasil penelitian
7. Seluruh teman-teman Jurusan Kimia angkatan 2013 khususnya Kimia A yang telah banyak membantu dan memberi dukungan selama kuliah mulai awal hingga akhir perjuangan.
8. Semua pihak yang berpartisipasi membantu penulis baik dalam hal moral, maupun spiritual, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik dari berbagai pihak sangat diharapkan demi terwujudnya karya yang lebih baik. Semoga skripsi ini dapat menambah ilmu pengetahuan bagi para pembaca dan bisa memberikan manfaat bagi kita semua. *Aamiin ya Robbal ‘aalamiin.*

Malang, 21 Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
مستخلص البحث.....	xviii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	8
1.3 Tujuan	8
1.4 Batasan Masalah	8
1.5 Manfaat Penelitian	8
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Katalis KOH dalam Pengembangan γ -Al ₂ O ₃ Sebagai Katalis Heterogen Pada Reaksi Transesterifikasi	9
2.1.1 Katalis Heterogen	9
2.1.2 KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Sebagai Katalis Heterogen	11
2.1.3 Karakterisasi KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Menggunakan XRD (X-Ray Diffraction)	15
2.1.4 Karakterisasi KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Menggunakan XRF (X-Ray Fluorescence)	16
2.2 Metode Pengembangan Katalis ke dalam Pengembangan	16
2.2.1 Impregnasi Basah.....	16
2.2.2 Hidrotermal.....	17
2.2.3 Sonikasi.....	19
2.3 Reaksi Transesterifikasi Pada Minyak Kelapa Sawit	22
2.4 Karakterisasi Metil Ester Hasil Reaksi Transesterifikasi Menggunakan GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectroscopy).....	27
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Pelaksanaan Penelitian.....	29
3.2 Alat dan Bahan.....	29
3.2.1 Alat.....	29
3.2.2 Bahan	29
3.3 Rancangan Penelitian.....	29

3.4	Tahapan Penelitian.....	30
3.5	Prosedur Kerja	31
3.5.1	Preparasi Katalis Heterogen KOH/ γ -Al ₂ O ₃	31
3.5.1.1	Pengembangan Katalis KOH pada Pengembangan γ -Al ₂ O ₃ Menggunakan Metode Impregnasi Basah.....	31
3.5.1.2	Pengembangan Katalis KOH pada Pengembangan γ -Al ₂ O ₃ Menggunakan Metode Hidrotermal.....	31
3.5.1.3	Pengembangan Katalis KOH pada Pengembangan γ -Al ₂ O ₃ Menggunakan Metode Sonikasi.....	31
3.5.2	Karakterisasi Katalis	32
3.5.2.1	Karakterisasi Katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ menggunakan XRD	32
3.5.2.2	Karakterisasi Katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ menggunakan XRF.....	32
3.5.3	Reaksi transesterifikasi dibantu katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃	32
3.5.4	Karakterisasi Metil Ester Hasil Reaksi Transesterifikasi dibantu Katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Menggunakan GC-MS (<i>Gas Chromatography - Mass Spectroscopy</i>)	33
3.5.5	Analisa Data.....	34
3.5.5.1	Analisa Data Hasil Karakterisasi Katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Menggunakan XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	34
3.5.5.2	Analisa Data Hasil Karakterisasi Katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Menggunakan XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>)	34
3.5.5.3	Analisa Data Hasil Karakterisasi Metil Ester Hasil dari Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menggunakan GC-MS (<i>Gas Chromatography - Mass Spectroscopy</i>).....	35

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Sintesis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Menggunakan Metode Impregnasi Basah, Hidrotermal, dan Sonikasi.....	36
4.2	Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃	39
4.3	Analisis Produk Hasil Reaksi Transesterifikasi Menggunakan GC-MS (<i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i>).....	41
4.3.1	Analisis GC-MS Produk Hasil Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Metode Impregnasi Basah	41
4.3.2	Analisis GC-MS Produk Hasil Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Metode Hidrotermal.....	54
4.3.3	Analisis GC-MS Produk Hasil Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Metode Sonikasi.....	69
4.4	Aktivitas dan Selektivitas Katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Metode Impregnasi Basah, Hidrotermal, dan Sonikasi Terhadap Hasil Reaksi Transesterifikasi	85
4.5	Konversi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Metil Ester (Biodiesel) dalam Perspektif Islam.....	89

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	91
5.2	Saran	91

DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN 1 Kerangka Penelitian.....	100
LAMPIRAN 2 Diagram Alir	101
LAMPIRAN 3 Perhitungan	104
LAMPIRAN 4 Hasil Karakterisasi KOH/γ-Al₂O₃ dan Metil Ester	108
LAMPIRAN 5 Dokumentasi	132



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Perbandingan Homogeneous dan Heterogeneous Katalisis Pada Reaksi Transesterifikasi (Chopade, dkk. 2012)	10
Tabel 2.2 : Kandungan pada katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ hasil analisa menggunakan XRF	16
Tabel 2.3 : Komposisi asam lemak bebas minyak kelapa sawit (Intarapong,dkk.. 2014)	23
Tabel 2.4 : Standard Biodiesel dari minyak tumbuhan (UNE-EN 14214)	26
Tabel 4.1 : Kandungan unsur dalam γ -Al ₂ O ₃ dan KOH/ γ -Al ₂ O ₃ hasil karakterisasi menggunakan XRF	38
Tabel 4.2 : Rendemen produk hasil reaksi transesterifikasi	41
Tabel 4.3 : Hasil GC produk reaksi menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ metode impregnasi basah	54
Tabel 4.4 : Hasil GC produk reaksi menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ metode hidrotermal	69
Tabel 4.5 : Hasil GC produk reaksi menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ metode sonikasi	85
Tabel 4.6 : <i>Yield</i> konversi masing-masing metode menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃	85
Tabel 4.7 : Selektivitas masing-masing metode	86
Tabel 4.8 : Nilai bilangan setana untuk asam lemak metil ester murni (Bamgboye dan Hansen. 2008; Barabas dan Todorut. 2011)	88
Tabel 4.9 : Total komponen metil ester masing-masing metode	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme Katalitik Katalis Heterogen (Tarmidzi, M. 2013).....	11
Gambar 2.2	Struktur <i>face centered cubic</i> γ - Al_2O_3 . $^{[4]}\text{Al}$ posisi tetrahedral dan $^{[6]}\text{Al}$ posisi octahedral (Kim dan Lee. 2013)	12
Gambar 2.3	Pembentukan Al-O-K <i>groups</i> pada katalis KOH/ γ - Al_2O_3	14
Gambar 2.4	Difraktogram XRD (a) γ - Al_2O_3 ; (b)10% KOH/ γ - Al_2O_3 ; (c)20% KOH/ γ - Al_2O_3 ; (d)30% KOH/ γ - Al_2O_3 ; (e)40% KOH/ γ - Al_2O_3 ; (f)30% KOH/ γ - Al_2O_3 -U1; (g)30% KOH/ γ - Al_2O_3 -U2; (h)30% KOH/ γ - Al_2O_3 -U3; (i)30% KOH/ γ - Al_2O_3 -U4; (j)30% KOH/ γ - Al_2O_3 -W	15
Gambar 2.5	Difraktogram katalis KOH/ γ - Al_2O_3 dengan adanya senyawa K_2O (Munajjin dkk. 2013).....	16
Gambar 2.6	Proses kavitas sonokimia (Kiel, dkk. 2012)	19
Gambar 2.7	Reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit (Allen dan Prateepchaikul. 2003)	24
Gambar 2.8	Mekanisme katalisis pada reaksi transesterifikasi antara katalis basa heterogen dengan metanol dan trigliserida (Lam, dkk. 2010).....	25
Gambar 2.9	Kromatogram gas khas metil ester dari minyak kelapa sawit (Zhang, dkk. 2010)	27
Gambar 2.10	Spektrum massa produk metil ester dari minyak kelapa sawit (Metil Palmitat) (Christie dan Han. 2010).....	28
Gambar 4.1	Dugaan reaksi antara KOH dengan γ - Al_2O_3 mengacu pada penelitian Kim dan Lee (2013), dan Hun, dkk (2007)	36
Gambar 4.2	Difraktogram XRD (A) Standar γ - Al_2O_3 (ICSD 30267); (B) Standar KOH (ICSD 76958); (C) γ - Al_2O_3 ; (D) KOH/ γ - Al_2O_3 Impregnasi Basah; (E) KOH/ γ - Al_2O_3 Hidrotermal; (F) KOH/ γ - Al_2O_3 Sonikasi.....	37
Gambar 4.3	Dugaan mekanisme reaksi transesterifikasi dengan katalis basa heterogen mengacu pada penelitian Kusuma, dkk (2013).....	39
Gambar 4.4	Kromatogram produk reaksi transesterifikasi menggunakan katalis KOH/ γ - Al_2O_3 metode impregnasi basah.....	41
Gambar 4.5	Spektra massa puncak 1 dan standar WILEY7.LIB (148370) hasil menggunakan katalis KOH/ γ - Al_2O_3 dengan metode impregnasi basah (tR 24.196).....	42
Gambar 4.6	Perkiraan pola fragmentasi metil miristat hasil menggunakan katalis KOH/ γ - Al_2O_3 dengan metode impregnasi basah	43
Gambar 4.7	Spektra massa puncak 2 dan standar WILEY7.LIB (178118) hasil menggunakan katalis KOH/ γ - Al_2O_3 dengan metode impregnasi basah (tR 28.115).....	44
Gambar 4.8	Perkiraan pola fragmentasi metil palmitoleat hasil menggunakan katalis KOH/ γ - Al_2O_3 dengan metode impregnasi basah	44
Gambar 4.9	Spektra massa puncak 3 dan standar WILEY7.LIB (180435) hasil menggunakan katalis KOH/ γ - Al_2O_3 dengan metode impregnasi basah (tR 28.671).....	45
Gambar 4.10	Perkiraan pola fragmentasi metil palmitat hasil menggunakan katalis KOH/ γ - Al_2O_3 dengan metode impregnasi basah.	46

Gambar 4.11	Spektra massa puncak 4 dan standar WILEY7.LIB (205817) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode impregnasi basah (tR 31.973).....	46
Gambar 4.12	Perkiraan pola fragmentasi metil linoleat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode impregnasi basah	47
Gambar 4.13	Spektra massa puncak 5 dan standar WILEY7.LIB (207863) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode impregnasi basah (tR 32.178).....	48
Gambar 4.14	Perkiraan pola fragmentasi metil oleat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode impregnasi basah	49
Gambar 4.15	Spektra massa puncak 6 dan standar WILEY7.LIB (209839) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode impregnasi basah (tR 32. 495).....	49
Gambar 4.16	Perkiraan pola fragmentasi metil stearat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode impregnasi basah	50
Gambar 4.17	Spektra massa puncak 7 dan standar WILEY7.LIB (234091) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode impregnasi basah (tR 35.641).....	51
Gambar 4.18	Perkiraan pola fragmentasi metil 11-eikosoat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode impregnasi basah	52
Gambar 4.19	Spektra massa puncak 8 dan standar WILEY7.LIB (235757) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode impregnasi basah (tR 36.061).....	52
Gambar 4.20	Perkiraan pola fragmentasi metil arasetat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode impregnasi basah	53
Gambar 4.21	Kromatogram produk reaksi transesterifikasi menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ metode hidrotermal.....	54
Gambar 4.22	Spektra massa puncak 1 dan standar WILEY7.LIB (113522) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal (tR 19.408).....	55
Gambar 4.23	Perkiraan pola fragmentasi metil laurat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal.....	56
Gambar 4.24	Spektra massa puncak 2 dan standar WILEY7.LIB (148369) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal (tR 24.203).....	57
Gambar 4.25	Perkiraan pola fragmentasi metil miristat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal	57
Gambar 4.26	Spektra massa puncak 3 dan standar WILEY7.LIB (178120) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal (tR 28.114).....	58
Gambar 4.27	Perkiraan pola fragmentasi metil palmitoleat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal	59
Gambar 4.28	Spektra massa puncak 4 dan standar WILEY7.LIB (180435) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal (tR 28.759).....	59

Gambar 4.29	Perkiraan pola fragmentasi metil palmitat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal	60
Gambar 4.30	Spektra massa puncak 5 dan standar WILEY7.LIB (195586) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal (tR 30.550).....	61
Gambar 4.31	Perkiraan pola fragmentasi metil margarat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal	61
Gambar 4.32	Spektra massa puncak 6 dan standar WILEY7.LIB (207863) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal (tR 32.298).....	62
Gambar 4.33	Perkiraan pola fragmentasi metil oleat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal	63
Gambar 4.34	Spektra massa puncak 7 dan standar WILEY7.LIB (209840) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal (tR 32. 643).....	63
Gambar 4.35	Perkiraan pola fragmentasi metil stearat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal	64
Gambar 4.36	Spektra massa puncak 8 dan standar WILEY7.LIB (234091) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal (tR 35. 629).....	65
Gambar 4.37	Perkiraan pola fragmentasi metil 11-eikosanoat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal	65
Gambar 4.38	Spektra massa puncak 9 dan standar WILEY7.LIB (235757) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal (tR 36.505).....	66
Gambar 4.39	Perkiraan pola fragmentasi metil arasetat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal	67
Gambar 4.40	Spektra massa puncak 10 dan standar WILEY7.LIB (257368) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal (tR 36.505).....	67
Gambar 4.41	Perkiraan pola fragmentasi metil behenat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode hidrotermal	68
Gambar 4.42	Kromatogram produk reaksi transesterifikasi menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ sonikasi	69
Gambar 4.43	Spektra massa puncak 1 dan standar WILEY7.LIB (113522) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi (tR 19.408).....	70
Gambar 4.44	Perkiraan pola fragmentasi metil laurat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi	71
Gambar 4.45	Spektra massa puncak 2 dan standar WILEY7.LIB (148369) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi (tR 24.180).....	72
Gambar 4.46	Perkiraan pola fragmentasi metil miristat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi	72
Gambar 4.47	Spektra massa puncak 3 dan standar WILEY7.LIB (178120) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi (tR 28.114).....	73

Gambar 4.48	Perkiraan pola fragmentasi metil palmitoleat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi	74
Gambar 4.49	Spektra massa puncak 4 dan standar WILEY7.LIB (180435) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi (tR 28.734).....	74
Gambar 4.50	Perkiraan pola fragmentasi metil palmitat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi	75
Gambar 4.51	Spektra massa puncak 5 dan standar WILEY7.LIB (195586) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi (tR 30.536).....	76
Gambar 4.52	Perkiraan pola fragmentasi metil margarat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi	76
Gambar 4.53	Spektra massa puncak 6 dan standar WILEY7.LIB (207863) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi (tR 32.236).....	77
Gambar 4.54	Perkiraan pola fragmentasi metil oleat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi	78
Gambar 4.55	Spektra massa puncak 7 dan standar WILEY7.LIB (209840) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi (tR 32. 564).....	78
Gambar 4.56	Perkiraan pola fragmentasi metil stearat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi	79
Gambar 4.57	Spektra massa puncak 8 dan standar WILEY7.LIB (205831) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi (tR 33.595).....	80
Gambar 4.58	Perkiraan pola fragmentasi metil linoleat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi	81
Gambar 4.59	Spektra massa puncak 9 dan standar WILEY7.LIB (234091) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi (tR 35.616).....	81
Gambar 4.60	Perkiraan pola fragmentasi metil 11-eikosoat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi	82
Gambar 4.61	Spektra massa puncak 10 dan standar WILEY7.LIB (235757) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi (tR 36.034).....	83
Gambar 4.62	Perkiraan pola fragmentasi metil arasetat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dengan metode sonikasi	84

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Kerangka Penelitian	100
Lampiran 2	Diagram Alir	101
Lampiran 2.1	Sintesis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Metode Impregnasi Basah.....	101
Lampiran 2.2	Sintesis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Metode Hidrotermal	101
Lampiran 2.3	Sintesis KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Metode Sonikasi.....	102
Lampiran 2.4	Karakterisasi.....	102
Lampiran 2.4.1	Karakterisasi menggunakan XRD	102
Lampiran 2.4.2	Karakterisasi menggunakan XRF	102
Lampiran 2.5	Reaksi Transesterifikasi	103
Lampiran 2.6	Analisa Kadar Air	103
Lampiran 2.7	Karakterisasi Metil Ester Hasil Reaksi Transesterifikasi Menggunakan GC-MS	103
Lampiran 3	Perhitungan	104
Lampiran 3.1	Pembuatan 25% KOH <i>Loading</i> dalam <i>Support</i> γ -Al ₂ O ₃	104
Lampiran 3.2	Penentuan Jumlah Minyak Kelapa Sawit:Metanol	104
Lampiran 3.3	Penentuan Rendemen Metil Ester	105
Lampiran 3.4	Penentuan Kadar Air Metil Ester	105
Lampiran 3.5	Penentuan % Metil Ester.....	105
Lampiran 3.5.1	Impregnasi basah	105
Lampiran 3.5.2	Hidrotermal.....	106
Lampiran 3.5.3	Sonikasi	106
Lampiran 3.6	Penentuan <i>Yield</i> Konversi Metil Ester	107
Lampiran 3.6.1	Impregnasi basah	107
Lampiran 3.6.2	Hidrotermal.....	107
Lampiran 3.6.3	Sonikasi	107
Lampiran 4	Hasil Karakterisasi KOH/ γ -Al ₂ O ₃ dan Metil Ester.....	108
Lampiran 4.1	Hasil Karakterisasi XRD γ -Al ₂ O ₃	108
Lampiran 4.2	Hasil Karakterisasi XRD KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Impregnasi Basah	109
Lampiran 4.3	Hasil Karakterisasi XRD KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Hidrotermal	110
Lampiran 4.4	Hasil Karakterisasi XRD KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Sonikasi	112
Lampiran 4.5	Hasil Karakterisasi XRF γ -Al ₂ O ₃	113
Lampiran 4.6	Hasil Karakterisasi XRF KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Impregnasi Basah.....	113
Lampiran 4.7	Hasil Karakterisasi XRF KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Hidrotermal	114
Lampiran 4.8	Hasil Karakterisasi XRF KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Sonikasi.....	114
Lampiran 4.9	Hasil GC-MS Reaksi Transesterifikasi (KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Impregnasi Basah).....	114
Lampiran 4.10	Hasil GC-MS Reaksi Transesterifikasi (KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Hidrotermal).....	119
Lampiran 4.11	Hasil GC-MS Reaksi Transesterifikasi (KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Sonikasi).....	125
Lampiran 5	Dokumentasi	132

ABSTRAK

Satatariksa, R. Y., 2017. Sintesis dan Karakterisasi KOH/ γ -Al₂O₃ dengan Metode Impregnasi Basah, Hidrotermal, dan Sonikasi Sebagai Katalis Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit. Pembimbing I: Susi Nurul Khalifah, M.Si; Pembimbing II: Ahmad Hanapi, M.Sc; Konsultan: Nur Aini, M.Si.

Kata Kunci: Metil Ester, Minyak Kelapa Sawit, KOH/ γ -Al₂O₃, Impregnasi Basah, Hidrotermal, Sonikasi.

Material KOH/ γ -Al₂O₃ merupakan material yang baru-baru ini banyak digunakan sebagai katalis. Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan berbagai metode yaitu impregnasi basah, hidrotermal, dan sonikasi. Hasil sintesis material tersebut digunakan sebagai katalis pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit.

Sintesis KOH/ γ -Al₂O₃ telah dilakukan dengan perbandingan 1:4. Keberhasilan sintesis dianalisis menggunakan XRD. XRF digunakan sebagai penunjang karakterisasi untuk mengetahui prosentase penambahan unsur K. Hasil reaksi transesterifikasi dengan katalis yang telah disintesis tersebut dianalisis menggunakan GC-MS.

Hasil XRD menunjukkan penambahan KOH pada γ -Al₂O₃ tidak terlihat di berbagai metode. Akan tetapi dengan analisis XRF terdapat penambahan prosentase unsur K berturut-turut yaitu 57.9%; 54.3%; 59.9% untuk impregnasi basah, hidrotermal, dan sonikasi. Hasil transesterifikasi yang dikarakterisasi menggunakan GC-MS menunjukkan *yield* konversi sebesar 77.81%; 77.21%; dan 80.49% untuk masing-masing katalis berturut-turut yaitu impregnasi basah, hidrotermal, dan sonikasi. Selektivitas katalis memiliki fokus yang berbeda dimana katalis metode impregnasi basah cenderung mengkonversi dalam bentuk metil palmitat sebesar 52.39% sedangkan katalis metode hidrotermal dan sonikasi cenderung mengkonversi dalam bentuk metil oleat sebesar 50.54%; dan 51.79%. Total komponen dominan yang berhasil dikonversi menjadi metil ester dengan katalis impregnasi basah, hidrotermal, dan sonikasi masing-masing yaitu 86.83%; 88.40%; dan 89.91%.

ABSTRACT

Satatariksa, R. Y., 2017. Synthesis and Characterization KOH/ γ -Al₂O₃ with Wet Impregnation, Hydrothermal, and Sonication Method As Catalysts On Transesterification Reaction of Palm Oil. Advisor I: Susi Nurul Khalifah, M.Si; Advisor II: Ahmad Hanapi, M.Sc; Consultant: Nur Aini, M.Si.

Key Word: Methyl Esters, Palm Oil, KOH/ γ -Al₂O₃, Wet Impregnation, Hydrothermal, Sonication.

The KOH/ γ -Al₂O₃ material was a material that has recent widely used as catalyst. In this research, synthesis KOH/ γ -Al₂O₃ has been done by various methods namely wet impregnation, hydrothermal, and sonication. Result of synthesis that material was used as catalyst for transesterification reaction of palm oil.

Synthesis of KOH/ γ -Al₂O₃ has been performed with a ratio 1:4. The success of synthesis was analyzed using XRD. XRF was used as characterization support to know the addition percentage of K element. The result of transesterification reaction with the synthesized catalyst has been analyzed using GC-MS.

The XRD results show the addition of KOH to γ -Al₂O₃ is not seen in various methods. However, with XRF analysis there is addition percentage of K element successively that is 57.9%; 54.3%; 59.9% for wet impregnation, hydrothermal, and sonication. Transesterification results characterized using GC-MS showed yield of conversion amount of 77.81%; 77.21%; and 80.49% for each successive catalyst that is wet impregnation, hydrothermal, and sonication. The selectivity of the catalyst has a different focus where the wet impregnation method catalyst tends to convert in the form of 52.39% methyl palmitate while the hydrothermal and sonication method catalyst tends to convert in the form of methyl oleate by 50.54%; and 51.79%. The total dominant component that was successfully converted to methyl ester with wet impregnation, hydrothermal, and sonication catalyst were 86.83%; 88.40%; and 89.91%.

مستخلص البحث

ستاتاركسا، ر.ي. ٢٠١٨. توليف ووصف $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ بطريقة التلقيح الرطب والمياه الحارة والصوتنة كالحفاز على استجابة أسترة زيت الكف. المشرفة الأولى: سوسي نور الخليفة الماجستير، المشرف الثاني: أحمد حنفي الماجستير، الاستشارة: نور عيني الماجستير. الكلمات الأساسية: الميثيل الاسترات، زيت الكف، $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ، التلقيح الرطب، المياه الحارة، الصوتنة.

مادة $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ هي التي يكثر أن تستخدم كالحفاز حديثا. صنع مادة $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ في هذه الدراسة بطريقة متنوعة، هي التلقيح الرطب و هيدروثيرمال و الصوتنة. و أن النتيجة التوليف باستخدام كالحفاز على استجابة أسترة زيت الكف. مادة $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ صنع بالمقارنة ٤:١. نجاح التوليف يحلل باستخدام XRD تستخدم. XRF كالعماد التوصيف ليعلم بنسبة الإضافة العنصر K. أن نتيجة استجابة أسترة بالكفاز التي تتلقه تحلل باستخدام GC-MS. أن نتيجة XRD يدل على إضافة KOH على $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ غير المشاهدة في أي الطريقة. و لكن بالتحليل XRF موجود زيادة بنسبة العنصر K المرتبة و هي ٥٧,٩٪؛ ٥٤,٣٪؛ ٥٩,٩٪ لتلقيح الرطب و الهيدروثيرمال و الصوتنة. أن نتيجة أسترة الحفاز باستخدام GC-MS الذي يدل على yield تغير المبلغ ٧٧,٨١٪؛ ٧٧,٢١٪ و ٨٠,٤٩٪ لكل حفاز المرتب و هو التلقيح الرطب و الهيدروثيرمال و الصوتنة. إنتقائية الحفاز عندها التركيز المختلف التي فيها حفاز طريق التلقيح الرطب يميل إلى التحويل في شكل ميثيل فالميتات بنسبة ٥٢,٣٩٪ و على حين أن الحفاز بطريقة هيدروثيرمال و الصوتنة تميل إلى التحويل في شكل ميثيل الألييات بنسبة ٥٠,٥٤٪ و ٥١,٧٩٪. مجموع عدد الأمثال التي تنجح إلى التحويل في شكل ميثيل الإستيرات بالحفاز التلقيح الرطب و الهيدروثيرمال و الصوتنة هي لكل ٨٦,٨٣٪؛ ٨٨,٤٠٪ و ٨٩,٩١٪.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Reaksi transesterifikasi pada minyak nabati menggunakan pelarut metanol menghasilkan biodiesel yang merupakan produk untuk menggantikan petroleum diesel dari sumber minyak nabati yang terdiri dari metil ester. Baru-baru ini penelitian yang sedang dilakukan mengenai pembuatan biodiesel adalah pembuatan biodiesel menggunakan bahan dasar minyak tumbuhan (Liu, dkk. 2010; Dias, dkk. 2013; dan Teng, dkk. 2009). Salah satu minyak tumbuhan yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan biodiesel tersebut adalah minyak kelapa sawit (Anshary, dkk. 2012).

Minyak kelapa sawit terdiri atas trigliserida yang merupakan ester dari gliserol dengan tiga molekul asam lemak (Pasaribu, 2004). Menurut Hamid dan Yusuf (2002), Minyak kelapa sawit memiliki potensi yang cukup besar sebagai bahan bakar alternatif mesin diesel (biodiesel), karena memiliki karakteristik yang serupa dengan bahan bakar mesin diesel yang berasal dari minyak bumi (petrodiesel).

Allah S.W.T berfirman dalam al Qur'an surat Yassin ayat 80:

الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنْتُمْ مِّنْهُ تُوقِدُونَ

Artinya:

“Yaitu Tuhan yang menjadikan untukmu api dari pohon-pohon yang hijau basah, maka tiba-tiba kamu nyalakan (api) dari pohon itu”.

Menurut tafsir Al – Qurtubiy ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah S.W.T memperingatkan orang-orang tentang konsep iman dan kuasa Allah S.W.T untuk

mengubah sesuatu. Biasanya orang mencari kayu kering digunakan sebagai bahan bakar, tetapi Allah S.W.T telah menyalakan api dari tanaman hijau yang masih basah atau segar. Al-Baidawiy juga menyatakan bahwa surah Yassin menunjukkan kekuasaan Allah S.W.T yang mengeluarkan api dari pohon atau tumbuhan yang hijau dan masih segar (Ramli, dkk. 2015). Sama halnya dengan pemanfaatan minyak kelapa sawit yang didapat dari tanaman yang masih segar yaitu tandan buah segar kelapa sawit yang menghasilkan minyak dan dapat dikonversi menjadi biodiesel.

Allah S.W.T juga berfirman dalam Al-Qur'an surat Al-Jatsiyah ayat 13:

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمُوتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ

Artinya :

“Dan Dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) daripada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir”.

Menurut tafsir Jalalayn ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah S.W.T menundukkan seluruh benda langit berupa matahari, bulan, bintang-bintang, dan berbagai macamnya serta semua yang ada di bumi berupa tanaman, tanah, api, air, udara, dan lain-lainnya untuk dimanfaatkan oleh manusia dan makhluk-makhluknya. Kemudian dengan semua tanda-tanda itu merupakan bukti kekuasaan dan keesaan Allah bagi orang-orang yang berfikir. Berdasarkan ayat tersebut maka salah satu pemanfaatan ciptaan Allah terhadap semua yang ada di bumi adalah pemanfaatan minyak kelapa sawit sebagai bahan bakar yang terbaharukan.

Menurut Teng, dkk (2009); Noiroj, dkk (2009); dan Liu, dkk (2010) untuk mengubah minyak kelapa sawit menjadi bahan bakar alternatif mesin diesel (biodiesel) digunakan reaksi transesterifikasi yang merupakan reaksi pengubahan

senyawa ester menjadi metil-ester atau biodiesel dibantu dengan katalis homogen (Georgogianni, dkk. 2009) atau katalis heterogen (Noiroj, dkk. 2009). Menurut Vicente, dkk (2004); Dias, dkk (2008); dan Georgogianni, dkk (2009) reaksi transesterifikasi minyak nabati yang dibantu katalis homogen terbukti memberikan hasil konversi biodiesel yang tinggi hingga 97%. Meskipun demikian, pemisahan antara katalis dengan biodiesel akan sulit dilakukan karena fasa yang dimiliki keduanya sama. Hal tersebut menyebabkan keharusan untuk dilakukannya perlakuan lebih lanjut terhadap pemisahan keduanya yang akan mengurangi hasil konversi biodiesel serta penambahan jumlah biaya yang dikeluarkan (Ma, dkk. 2014).

Sementara itu, menurut Noiroj, dkk (2009); Ghasemi, dkk (2014); dan Ma, dkk (2014) katalis heterogen lebih efisien digunakan untuk reaksi transesterifikasi dikarenakan pemisahan antara katalis dan biodiesel lebih mudah. Hal ini dikarenakan keduanya mempunyai fasa yang berbeda sehingga dapat menekan biaya operasional dan mencapai hasil konversi yang cukup tinggi yaitu 76.35% - 91.07%. Penelitian mengenai konversi biodiesel menggunakan reaksi transesterifikasi yang dikatalisis dengan katalis heterogen akhir-akhir ini telah banyak dilaporkan. Diantara katalis heterogen yang telah dilaporkan salah satunya menggunakan katalis heterogen $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Noiroj, dkk. 2009; Ma, dkk. 2014; Ghasemi, dkk. 2014; dan Munajjin, dkk. 2013).

Katalis heterogen $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ merupakan katalis yang berasal dari pengembanan basa kalium hidroksida (KOH) terhadap aluminium oksida ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) (Ma, dkk. 2014). Menurut Zhang dan Pinnavia (2002), Gamma aluminium oksida atau $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ merupakan salah satu bahan yang digunakan sebagai

pengemban katalis. Penggunaan alumunium oksida sebagai pengemban katalis dikarenakan sifat kekerasannya yang cukup tinggi (9 skala mosh), tahan terhadap panas karena titik lelehnya yang tinggi (2327 K), tidak mudah bereaksi (innert), serta mempunyai sifat daya hantar listrik yang rendah (Gutierrez, dkk. 2001). Sehingga aluminium oksida banyak digunakan sebagai pengemban untuk katalis (Liu, dkk. 2010; dan Ghasemi, dkk. 2014). Pengemban gamma alumina atau γ - Al_2O_3 lebih dipilih karena kemurniannya tinggi dibanding zeolit alam yang berhasil mengkonversi hingga 95% (Intarapong, dkk. 2014), zeolite NaX yang berhasil mengkonversi hingga 94% (Manadee, dkk. 2016), dan bentonite yang berhasil mengkonversi hingga 92% (Soetaredjo, dkk. 2011). Selain itu, katalis heterogen $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ juga memiliki keadaan reaksi yang lebih baik dibandingkan dengan katalis heterogen asam SO_4/SnO_2 yang mengkonversi hingga 69% pada temperatur 300°C (Furuta, dkk. 2004), juga SZA (sulfated zirconia–alumina) yang berhasil mengkonversi hingga 78% pada temperatur 300°C (Furuta, dkk. 2004), dan 12-Tungstophosphoric acid/hydrous zirconia (TPA/HZ) yang mengkonversi hingga 78% pada temperatur 200°C (Kulkarni, dkk. 2006).

Penggunaan kalium sebagai pemberi situs aktif menggunakan pengemban alumunium oksida pada katalis heterogen juga telah banyak dilaporkan (Ma, dkk. 2008; Noiroj, dkk. 2009; Liu, dkk. 2010; Soetaredjo, dkk. 2011; Qiu, dkk. 2013; Ghazemi, dkk. 2014; dan Ma, dkk. 2014). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ma, dkk (2014); Ghasemi, dkk (2014); dan Noiroj, dkk (2009), melaporkan bahwa kalium hidroksida (KOH) dapat digunakan sebagai sumber kalium untuk memberikan sisi aktif pada katalis heterogen. Kalium hidroksida lebih banyak digunakan dibandingkan dengan senyawa-senyawa lain yang mengandung

kalium seperti kalium karbonat (K_2CO_3) yang mampu mengkonversi hingga 98,5 % (Chen, dkk. 2011), kalium nitrat (KNO_3) yang mampu mengkonversi hingga 94,7 % (Benjapornkulaphong, dkk. 2009), kalium flourida (KF) yang mampu mengkonversi hingga 80% (Islam, dkk. 2015), dan Kalium Iodida (KI) yang mampu mengkonversi hingga 96% (Xie, dan Li. 2006). Hal tersebut dikarenakan KOH mempunyai harga lebih murah dibandingkan dengan senyawa-senyawa kalium lainnya yang mampu mengkonversi minyak kelapa sawit menjadi biodiesel hingga 91.07% (Noiroj, dkk. 2009).

Noiroj, dkk (2009), melaporkan penelitian perbandingan konversi metil ester dari minyak nabati menggunakan reaksi transesterifikasi dibantu katalis KOH/NaY dan KOH/ $\gamma-Al_2O_3$. Hasil konversi yang dilaporkan untuk reaksi transesterifikasi pada minyak kelapa sawit dengan kondisi perbandingan rasio molar metanol:minyak nabati adalah 15:1, waktu reaksi selama 6 jam pada temperatur $60^\circ C$ menunjukkan bahwa jumlah katalis yang digunakan untuk KOH/ $\gamma-Al_2O_3$ lebih sedikit dibanding KOH/NaY yaitu 3 gram untuk KOH/ $\gamma-Al_2O_3$ dan 6 gram untuk KOH/NaY dengan hasil konversi yang sama yakni sebesar 91,07%.

Metode yang digunakan untuk mengembangkan katalis kedalam pengemban terdapat beberapa metode diantaranya yaitu metode impregnasi basah. Menurut Ghasemi, dkk (2014); Li, dkk (2013); dan Noiroj, dkk (2009) untuk mengembangkan katalis kedalam pengemban dengan metode impregnasi basah dilakukan dengan mereaksikan katalis dan pengemban menggunakan pelarut air. Berdasarkan penelitian yang telah dilaporkan Li, dkk (2013) berhasil mengembangkan katalis KOH kedalam pengemban $\gamma-Al_2O_3$ menggunakan impregnasi basah. Proses impregnasi basah dilakukan dengan mereaksikan 30% berat KOH terhadap berat $\gamma-$

Al_2O_3 pada suhu 40°C , dan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 3 jam. Hasil analisis menggunakan XRD menunjukkan bahwa katalis KOH berhasil diembankan kedalam pengemban $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Menurut Noiroj, dkk (2009) *Loading* KOH terbaik terhadap $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ untuk mengkonversi biodiesel dari minyak kelapa sawit adalah 25%.

Metode yang digunakan untuk mengembankan katalis kedalam pengemban selain impregnasi basah yaitu metode hidrotermal (Wang, dkk. 2016; dan Tsukrenko, dkk. 2012) dan metode sonikasi (Lee, dkk. 2005; dan Cho, dkk. 2007). Menurut Wang, dkk (2016) dan Tsukrenko, dkk (2012) melaporkan bahwa metode hidrotermal dapat digunakan untuk mengembankan katalis ke dalam pengemban. Metode hidrotermal merupakan metode konvensional untuk mensintesis kristal anorganik menggunakan pelarut air dengan mengkondisikan tekanan dan temperatur tertentu suatu sistem. Wang, dkk (2016), berhasil mengembankan katalis Ti ke dalam pengemban zeolit MCM-41 menggunakan metode hidrotermal. Pengembanan dilakukan dengan mereaksikan Ti dengan zeolit MCM-41 menggunakan pelarut air. Campuran sistem dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal selama 48 jam pada temperatur 100°C . Berdasarkan hasil analisis menggunakan XRD, terbukti bahwa Ti berhasil diembankan ke dalam pengemban zeolit MCM-41.

Penelitian lain yang dilakukan untuk mengembankan katalis ke dalam pengemban adalah metode sonikasi. Metode sonikasi dilakukan dengan memberikan radiasi ultrasonik dengan frekuensi tertentu terhadap sistem. Lee, dkk (2005), berhasil mengembankan katalis MoS_2 terhadap pengemban $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Proses pengembanan dilakukan dengan mereaksikan Mo, S, dan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, selanjutnya

campuran diberi radiasi ultrasonik sebesar 20 kHz pada temperatur 60 °C selama 1,5 jam kemudian dikeringkan pada suhu 200 °C. Penelitian lain yang dilakukan oleh Cho, dkk (2007), berhasil mengembangkan katalis yang sama terhadap *pengemban* $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ menggunakan metode sonikasi. Kondisi percobaan yang dilakukan adalah sama dengan yang dilakukan oleh Lee, dkk (2005). Berdasarkan hasil analisis menggunakan IR terbukti bahwa MoS berhasil diembankan ke dalam *pengemban* $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Pengembangan katalis KOH kedalam *pengemban* $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ menggunakan metode hidrotermal dan sonikasi belum pernah dilaporkan pada penelitian sebelumnya. Sehingga untuk mengetahui metode pengembangan terbaik katalis KOH kedalam *pengemban* $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang akan digunakan sebagai katalis dalam reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit, maka akan dilakukan penelitian mengenai konversi biodiesel dari minyak kelapa sawit menggunakan reaksi transesterifikasi dengan bantuan katalis heterogen KOH/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Preparasi katalis KOH/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dilakukan dengan variasi metode impregnasi basah, hidrotermal, dan sonikasi. Katalis KOH/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ hasil impregnasi basah, hidrotermal dan sonikasi dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui fasa dari KOH/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan dikarakterisasi menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk mengetahui banyaknya KOH yang berhasil diembankan ke dalam *pengemban* $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Hasil konversi biodiesel dianalisis menggunakan instrument GC-MS (*Gas Chromatography- Mass Spectrophotometer*) untuk mengetahui bahwa metil ester (biodiesel) berhasil dikonversi dari minyak kelapa sawit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakter katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang disintesis menggunakan metode impregnasi basah, hidrotermal, dan sonikasi ?
2. Berapa rendemen, *yield*, dan selektivitas metil ester hasil konversi dari minyak kelapa sawit menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$?

1.3.Tujuan

Dari rumusan masalah dapat dituliskan beberapa tujuan, diantaranya adalah:

1. Mengetahui karakter katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang disintesis menggunakan metode impregnasi basah, hidrotermal, dan sonikasi.
2. Mengetahui rendemen, *yield*, dan selektivitas metil ester hasil konversi dari minyak kelapa sawit menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

1.4.Batasan Masalah

Penelitian ini mempunyai beberapa batasan masalah, diantaranya adalah:

1. Minyak kelapa sawit yang digunakan adalah minyak kelapa sawit merek X (minyak kelapa sawit yang sudah diolah).
2. Karakterisasi katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ menggunakan XRD dan XRF.
3. Karakterisasi biodiesel hasil konversi dilakukan menggunakan instrumen GC-MS.

1.5.Manfaat penelitian

Memberikan informasi mengenai metode terbaik untuk sintesis katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ untuk konversi metil ester.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Katalis KOH dalam Pengemban γ -Al₂O₃ Sebagai Katalis Heterogen Pada Reaksi Transesterifikasi

2.1.1 Katalis Heterogen

Katalis heterogen adalah katalis yang mempunyai fasa berbeda dengan substratnya. Reaksi katalisis ini umumnya menggunakan katalis dalam bentuk fasa padat dengan substrat dalam fasa cair atau gas sehingga interaksi yang akan terjadi dapat berupa padat-gas atau padat-cair (Harfani, 2009). Keuntungan katalis heterogen adalah mudah dipisahkan dari produk (fasa cair), tidak beracun, tidak bersifat korosif, tidak mencemari lingkungan, dapat diregenerasi, mudah dipisahkan dari produk cair, dapat dirancang untuk memberikan aktivitas yang lebih tinggi, katalis yang selektif dan memiliki *lifetime* yang lebih panjang (Liu, dkk. 2008).

Allah berfirman dalam surat Ali-Imran ayat 190-191 :

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ • الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ

Artinya :

“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal. (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka”.

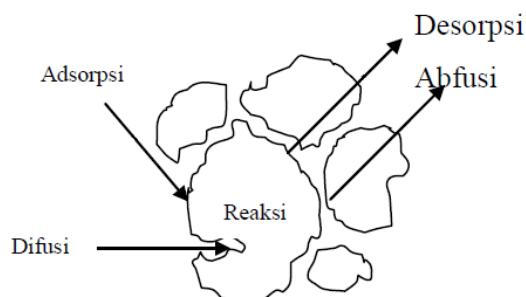
Ayat ini menunjukkan bahwa manusia telah dibekali oleh Allah rahmat yang agung berupa akal. Dengan akal itu Allah memerintahkan kita untuk berfikir tentang penciptaan alam semesta agar kita menjadi insan yang beriman dan bertaqwa serta sebagai manusia dapat berkembang menjadi lebih baik. Salah satu perkembangan yang didapat saat ini yaitu pengembangan katalis heterogen yang tentunya hanya dapat diperoleh manusia melalui nikmat luar biasa berupa nikmat akal dan berfikir. Kemudian dengan perkembangan itu dapat menambah keimanan kita kepada Allah S.W.T.

Perbandingan katalis homogen dan katalis heterogen pada reaksi transesterifikasi adalah seperti Tabel 2.1 :

Tabel 2.1 : Perbandingan Homogeneous dan Heterogeneous Katalisis Pada Reaksi Transesterifikasi (Chopade, dkk. 2012)

No	Faktor	Katalis Heterogen	Katalis Homogen
1	Laju reaksi	Cukup cepat	Cepat
2	Hasil konversi	Cukup tinggi	Tinggi
3	Metodologi pengolahan	Metodologi berkelanjutan dapat digunakan	Metodologi berkelanjutan tidak dapat digunakan
4	Sensitifitas pada keberadaan air / asam lemak bebas	Sensitif	Tidak sensitif
5	Penggunaan kembali katalis	Dapat digunakan kembali	Tidak dapat digunakan kembali
6	Biaya	Lebih murah	Relatif mahal

Proses katalitik katalis heterogen lebih kompleks dibandingkan dengan proses katalitik katalis homogen. Tahapan reaksi yang terlibat dalam proses katalis heterogen adalah seperti pada Gambar 2.1 :



Gambar 2.1 Mekanisme katalitik katalis heterogen (Tarmidzi, M. 2013).

Berikut penjelasan tahapan-tahapan yang terjadi dalam mekanisme katalitik katalis heterogen (Ertl, 2008) :

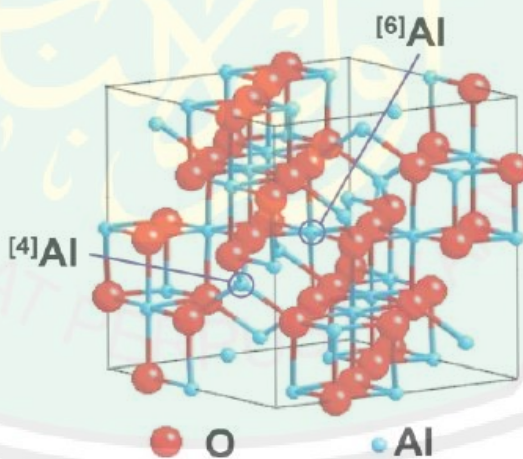
1. Difusi molekul reaktan ke permukaan yang mengelilingi partikel katalis.
2. Difusi intrapartikel reaktan ke pori-pori katalis dengan situs aktif.
3. Adsorpsi reaktan pada situs aktif katalis.
4. Reaksi pada permukaan katalis yang melibatkan pembentukan atau konversi berbagai intermediet yang terserap, termasuk reaksi difusi reaktan pada permukaan katalis.
5. Desorpsi produk dari situs katalis.
6. Difusi Intrapartikel produk melalui pori-pori katalis.
7. Abfusi produk di seluruh permukaan yang mengelilingi partikel katalis.

2.1.2 KOH/ γ -Al₂O₃ Sebagai Katalis Heterogen

Gamma alumina (γ -Al₂O₃) merupakan salah satu bentuk dari alumina metastabil atau alumina transisi (Digne, dkk. 2004). Gamma alumina merupakan salah satu oksida yang paling penting kerana memiliki luas permukaan yang besar antara 150-300 m²/g, volume pori yang besar 0,5-1 cm³/g, dan lebih stabil pada berbagai rentang temperatur reaksi katalisis. Selain itu, gamma alumina juga mempunyai sifat stabil pada suhu tinggi, memiliki sifat mesopori, stabil secara

fisik, mudah dibuat, mempunyai kekuatan fisik yang tinggi, mempunyai sifat selektifitas yang tinggi pada reaksi dehidrasi, mekanisme elusidasi, dan juga karakterisasi sisi aktif pada permukaan secara katalitik, sering digunakan sebagai adsorben, material komposit, keramik, katalis, dan pengembangan katalis (Zhao, 2008 dan Tsani, 2013).

Struktur yang dimiliki γ - Al_2O_3 merupakan struktur *face centered cubic* (Ealet, dkk. 1994; Kim dan Lee. 2013; dan Lee, dkk. 1997) dimana strukturnya memiliki kisi kristal yang mendekati struktur spinel MgAl_2O_4 . Satuan selnya mengandung $21^{1/3}$ atom aluminium yang terbagi ke posisi oktahedral dan tetrahedral dan menciptakan $2^{2/3}$ celah atau kekosongan. Perbandingan jumlah atom pada posisi oktahedral dan posisi tetrahedral adalah 2:1 (Ealet, dkk. 1994). Adapun bentuk strukturnya adalah seperti Gambar 2.2 :

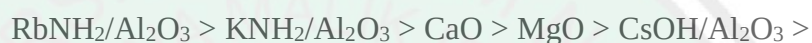


Gambar 2.2 Struktur *face centered cubic* γ - Al_2O_3 . $^{[4]}\text{Al}$ posisi tetrahedral dan $^{[6]}\text{Al}$ posisi oktahedral (Kim dan Lee. 2013).

Katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ telah sering digunakan sebagai katalis dalam reaksi transesterifikasi untuk konversi minyak nabati menjadi biodiesel, dapat dikatakan bahwa dukungan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ berfungsi untuk menyebarkan basa kalium hidroksida

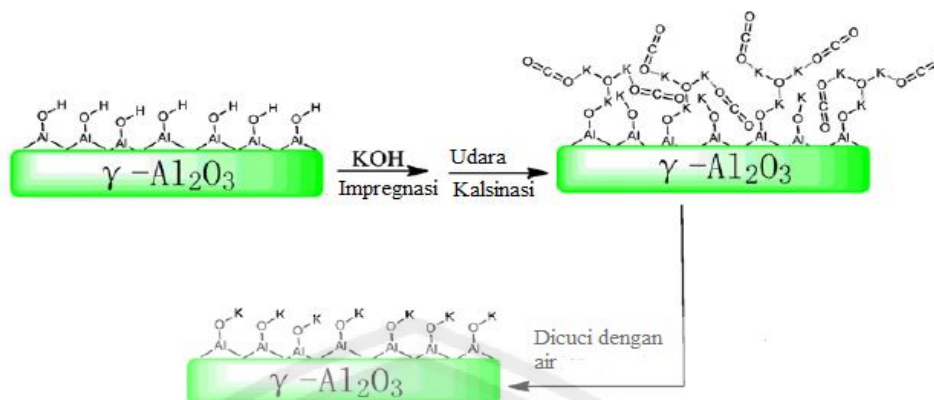
melalui luas permukaannya yang besar. Meningkatkan luas permukaan dapat meningkatkan adsorpsi dan laju reaksi. di samping itu, pemisahan molekul KOH dapat meningkatkan kebasaannya dengan mengurangi *self-solvation* yang disebabkan oleh ikatan hidrogen yang kuat (Neumann dan Sasson, 1986).

Handa, dkk (1999) dan Baba, dkk (2000) melakukan perbandingan aktivitas katalitik pada katalis padat basa kuat dan melaporkan bahwa KOH/Al₂O₃ memiliki aktivitas katalitik yang digunakan untuk isomerisasi 2,3-dimetilbut-1-ena dengan urutan aktivitas yang paling aktif dari katalis padat basa kuat sebagai berikut :



Noiroj, dkk (2009); Ma, dkk (2008); dan Ma, dkk (2014) melakukan pengembangan katalis KOH kedalam support γ -Al₂O₃ karena beberapa kelebihan, diantaranya adalah menambah sifat mekanik katalis, membuat katalis homogen yang susah dipisahkan dengan produk menjadi lebih mudah untuk dipisahkan, serta dapat digunakan berulang-ulang (Gutierrez, dkk. 2001).

Menurut Li, dkk (2013) katalis KOH yang telah diimbangkan kedalam pengemban γ -Al₂O₃ akan mengubah Al-O-H *groups* menjadi Al-O-K *groups* dan kalium akan menjadi sisi aktif pada katalis KOH/ γ -Al₂O₃. Adapun gambar proses pembentukan Al-O-K *groups* pada katalis KOH yang telah diimbangkan pada pengemban γ -Al₂O₃ adalah seperti Gambar 2.3 :



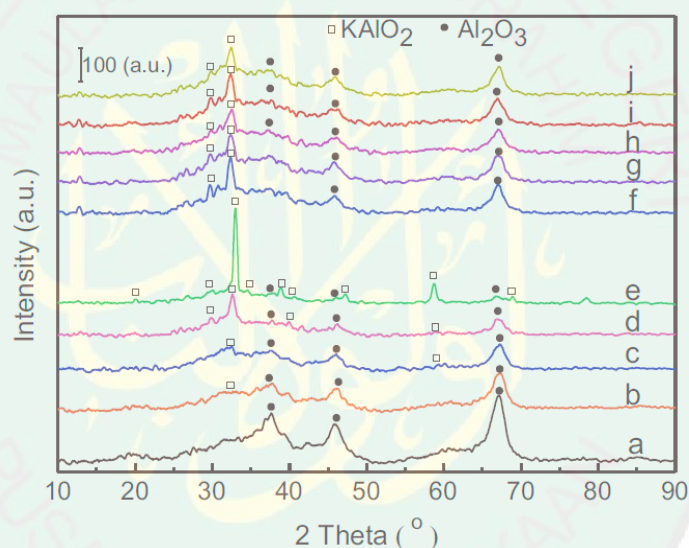
Gambar 2.3 Pembentukan Al-O-K *groups* pada katalis KOH/ γ -Al₂O₃ (Li, dkk, 2013).

Menurut Munajjin, dkk (2013) kemungkinan untuk KOH yang tidak membentuk Al-O-K *groups* akan membentuk fasa baru berupa kristal padatan senyawa K₂O yang terbentuk akibat dari pemanasan suhu tinggi pada saat dikalsinasi. K₂O tersebut akan terdistribusi dan menempel pada permukaan γ -Al₂O₃ sebagai katalis padat. Penelitian yang dilaporkan Heyou dan Yanping (2009) menunjukkan bahwa K₂O akan menjadi katalis yang membantu pada reaksi transesterifikasi.

Noiroj, dkk (2009), telah melakukan konversi biodiesel dari minyak kelapa sawit menggunakan katalis KOH yang diimbangkan pada γ -Al₂O₃. Penambahan katalis sebanyak 3 gram pada reaktan minyak kelapa sawit dan metanol mampu menghasilkan 91,07 % biodiesel. Selain itu, Ma, dkk (2014) juga telah mengkonversi biodiesel yang berasal dari minyak nabati mikroalga menggunakan katalis KOH yang diimbangkan dalam pengemban γ -Al₂O₃ dengan hasil konversi mencapai 91%.

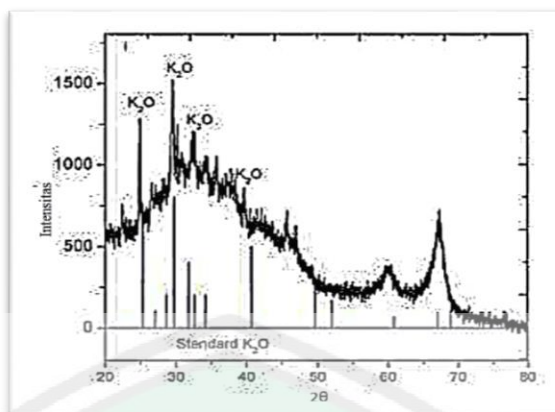
2.1.3 Karakterisasi KOH/ γ -Al₂O₃ Menggunakan XRD (X-Ray Diffraction)

Li, dkk. (2013), dan Ma, dkk (2008) melaporkan bahwa γ -Al₂O₃ yang dianalisis menggunakan XRD akan menghasilkan difraktogram yang khas pada daerah $2\theta = 37^\circ$, 46° , dan 67° . Apabila katalis KOH telah teremban kedalam pengemban γ -Al₂O₃ maka puncak-puncak tersebut intensitasnya akan menghilang dan puncak baru akan muncul pada daerah $2\theta = 20^\circ$, 29° , 33° , 34° , 39° , 41° , 47° , 59° , dan 69° . Adapun gambar difraktogram katalis KOH/ γ -Al₂O₃ adalah seperti Gambar 2.4 :



Gambar 2.4 Difraktogram XRD (a) γ -Al₂O₃; (b) 10% KOH/ γ -Al₂O₃; (c) 20% KOH/ γ -Al₂O₃; (d) 30% KOH/ γ -Al₂O₃; (e) 40% KOH/ γ -Al₂O₃; (f) 30% KOH/ γ -Al₂O₃-U1; (g) 30% KOH/ γ -Al₂O₃-U2; (h) 30% KOH/ γ -Al₂O₃-U3; (i) 30% KOH/ γ -Al₂O₃-U4; (j) 30% KOH/ γ -Al₂O₃-W (Li, dkk. 2013).

Apabila terdapat senyawa K₂O maka akan muncul puncak pada $2\theta = 25,1$; $29,307$; dan $40,725$ (Munajjin, dkk. 2013) seperti gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.5 Difraktogram katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan adanya senyawa K_2O (Munajjin dkk. 2013).

2.1.4 Karakterisasi $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Menggunakan XRF (X-Ray Fluorescence)

Noiroj, dkk. (2009) dan Li, dkk (2013) menggunakan Instrumen XRF untuk menentukan kandungan kalium pada katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sehingga dapat diketahui kapasitas sisi aktif yang digunakan saat reaksi transesterifikasi pada minyak kelapa sawit. Adapun kandungan kalium pada katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang dianalisa menggunakan XRF (X-Ray Fluorescence) disajikan dalam bentuk seperti Tabel 2.2 (Li, dkk. 2013) :

Tabel 2.2 Kandungan pada katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ hasil analisa menggunakan XRF (Li, dkk. 2013)

Katalis	Al (wt%)	K (wt%)	Al/K
Fresh 30% $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	36.65	22.44	1.63

2.2 Metode Pengembanan Katalis ke dalam Pengemban

2.2.1 Impregnasi Basah

Pengembanan komponen aktif katalis pada suatu pengemban dapat meningkatkan selektifitas katalis (Satterfield, 1980). Proses pengembanan dapat

dilakukan dengan menggunakan metode impregnasi. Impregnasi merupakan metode yang paling mudah dan paling umum digunakan untuk menyiapkan katalis. Tujuan dari metode ini adalah untuk memenuhi pori dengan larutan logam dengan konsentrasi yang cukup untuk memberikan loading yang tepat. Larutan dibuat dalam jumlah larutan yang cukup untuk mengisi pori dan harus oksida tunggal. Secara garis besar, pembuatan katalis dapat dilakukan dengan tahapan impregnasi, pengeringan, dan kalsinasi.

Ghasemi, dkk (2014); Li, dkk (2013); dan Noiroj, dkk (2009) mengembangkan katalis kedalam pengemban dengan metode impregnasi basah yang dilakukan dengan mereaksikan katalis dan pengemban menggunakan pelarut air. Berdasarkan penelitian yang telah dilaporkan Li, dkk (2013) berhasil mengembangkan katalis KOH kedalam pengemban γ -Al₂O₃ menggunakan impregnasi basah. Proses impregnasi basah dilakukan dengan mereaksikan 30% berat KOH terhadap berat γ -Al₂O₃ pada suhu 40°C, dan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 3 jam. Hasil analisis menggunakan XRD menunjukkan bahwa katalis KOH berhasil diembankan kedalam pengemban γ -Al₂O₃. Noiroj, dkk (2009) melakukan variasi *Loading* KOH terhadap γ -Al₂O₃ untuk mengkonversi biodiesel dari minyak kelapa sawit mulai 15% hingga 35% berat γ -Al₂O₃ dan hasil terbaik adalah 25%.

2.2.2 Hidrotermal

Metode hidrotermal menggunakan panas dan air yang sifatnya merubah larutan menjadi padatan. Pada praktiknya, metode ini melibatkan pemanasan reaktan dalam wadah tertutup (autoclave) menggunakan air. Dalam wadah tertutup, tekanan meningkat dan air tetap sebagai cairan. Metode hidrotermal (penggunaan air sebagai pelarut di atas titik didihnya) harus dilakukan pada sistem yang tertutup

untuk mencegah hilangnya pelarut saat dipanaskan di atas titik didihnya. Jika pemanasan air mencapai di atas titik didih normalnya yaitu 373 K, maka disebut “*super heated water*”. Kondisi saat tekanan meningkat di atas tekanan atmosfer dikenal sebagai kondisi hidrotermal. Kondisi hidrotermal terdapat secara alamiah dan beberapa mineral seperti zeolit alam terbentuk melalui proses ini (ismagilov, 2012).

Metode hidrotermal mempunyai beberapa kelebihan, yaitu (Lee, dkk. 1991):

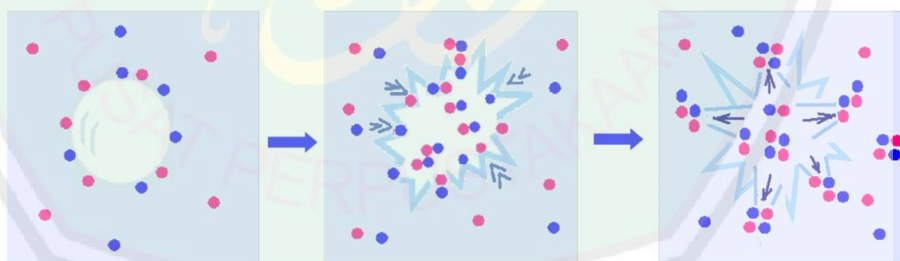
1. Temperatur relatif rendah untuk reaksi.
2. Dengan menaikkan temperatur dan tekanan dapat menstabilkan preparasi senyawa dalam keadaan oksidasi yang tidak biasanya.
3. Pada kondisi super-heated water, oksida logam yang tidak larut dalam air dapat menjadi larut. atau bila temperatur dan tekanan tersebut belum mampu, maka dapat ditambahkan garam alkali atau logam yang anionnnya dapat membentuk kompleks dengan padatan sehingga padatan menjadi larut.
4. Menghasilkan partikel dengan kristalinitas tinggi.

Wang, dkk (2016), menggunakan metode hidrotermal untuk mengembangkan katalis Ti dalam bentuk TBOT (tetrabutyl ortotitanat) ke dalam pengemban zeolit MCM-41. Pengembanan dilakukan dengan mereaksikan Ti dalam bentuk TBOT dengan zeolit MCM-41 menggunakan pelarut air. Campuran sistem dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal selama 48 jam pada temperatur 100 °C. Berdasarkan hasil analisis menggunakan XRD, terbukti bahwa Ti berhasil diembankan ke dalam pengemban zeolit MCM-41.

2.2.3 Sonikasi

Sonikasi merupakan proses kimia menggunakan teknologi suara dengan frekuensi 20 kHz – 10 MHz. Suara ultrasonik yang menjalar di dalam medium cair memiliki kemampuan menciptakan gelembung di dalam medium tersebut secara terus – menerus yang kemudian dengan cepat menjadi *implosion*. Pada tekanan dan temperatur tinggi bisa menghasilkan energi kinetik luar biasa besar yang berubah menjadi energi panas. Energi kinetik yang besar besar bisa menyebabkan material terpecah menjadi berukuran kecil atau nano (Suslick dan Price, 1999).

Proses yang terjadi yaitu transfer massa secara mekanik dengan adanya efek pemanasan dan kavitasi. Proses kavitasi tersebut terdiri dari pembentukan, pertumbuhan, dan mengembang-ngempisnya gelembung pada larutan berair menghasilkan *hot spot* dengan suhu yang sangat tinggi mencapai 5000–25.000 K dan tekanan 1000 bar yang mendorong pembentukan nanomaterial. Proses Kavitasi dapat dilihat pada Gambar 2.5 (Bang, Jin Ho dan Suslick, 2010) :



Gambar 2.6 Proses kavitasi sonokimia (Kiel, dkk. 2012).

Gambar 2.5 mengilustrasikan fenomena *acoustic cavitation* yang meliputi pembentukan, pertumbuhan dan pecahnya gelembung pada fasa larutan. Tekanan naik turun pada larutan disebabkan oleh siklus kompresi dan ekspansi gelombang ultrasonik secara terus-menerus. Ketika sejumlah tekanan negatif (turun) mengenai

larutan, jarak antar molekul akan melampaui jarak kritis molekul yang dibutuhkan untuk mempertahankan susunan molekul dalam larutan. Larutan akan mengalami *break down* dan membentuk fenomena kavitasi. Tekanan negatif bekerja melawan *tensile strength* dari larutan yang bergantung pada tipe dan kemurnian larutan (Chowdhury, dkk. 2009).

Berdasarkan penelitian di atas, metode sonikasi dipilih untuk menghasilkan kristal yang berukuran kecil. Metode sonokimia atau sonikasi (*Ultrasound Irradiation*) merupakan metode yang dapat digunakan untuk sintesis nanomaterial. Apabila dibandingkan dengan sumber energi yang tradisional, reaksi dengan ultrasonik terjadi pada kondisi fasa cairan disebabkan oleh fenomena kavitasi atau peronggaan (temperatur dan tekanan tinggi) (J.C. Colmenares, 2013). Efek kimia dari operasi ultrasonik pada fasa cair adalah terbentuknya radikal bebas seperti $H\cdot$ dan $OH\cdot$. Reduksi sonokimia mempunyai kelebihan dibandingkan dengan metode reduksi tradisional yaitu tidak membutuhkan agen pereduksi, laju reaksi cukup cepat dan membentuk partikel dengan ukuran nano (J.H. Bang, 2010). Metode sonikasi juga mampu memberikan efek kavitasi pada kondisi yang tidak biasa, yaitu durasi yang cepat dengan temperatur dan tekanan yang sangat tinggi pada fasa larutan yang tidak dapat diterapkan pada metode lain. Selain itu, metode sonikasi juga menghasilkan material dengan distribusi ukuran yang seragam, *surface area* yang tinggi, waktu reaksi yang lebih cepat dan meningkatkan kemurnian fasa (Bang dan Suslick, 2010).

Lee, dkk (2005) mengembangkan katalis MoS_2 terhadap pengemban $\gamma-Al_2O_3$. Proses pengembanan dilakukan dengan mereaksikan Mo, S, dan $\gamma-Al_2O_3$, selanjutnya campuran diberi radiasi ultrasonik sebesar 20 kHz pada temperatur

60°C selama 1,5 jam kemudian dikeringkan pada suhu 200 °C. Berdasarkan hasil analisis menggunakan IR terbukti bahwa MoS berhasil diembankan ke dalam pengemban $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Allah berfirman dalam Al-Qur'an Surat Al-Furqon Ayat 2:

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُنْ لَهُ شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ
فَقَدَرَهُ تَقْدِيرٌ

Artinya :

“Yang kepunyaan-Nya-lah kerajaan langit dan bumi, dan Dia tidak mempunyai anak, dan tidak ada sekutu bagi-Nya dalam kekuasaan(Nya), dan dia telah menciptakan segala sesuatu, dan Dia menetapkan ukuran-ukurannya dengan serapi-rapinya”.

Menurut tafsir Ibnu Katsir ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah sucikan diri-Nya dari memiliki anak dan sekutu. Lalu Dia mangabarkan bahwa Dia, “Telah menciptakan segala sesuatu dan menetapkan ukuran-ukurannya dengan serapi-rapinya.” yang menunjukkan bahwa segala sesuatu selain Dia adalah makhluk (yang diciptakan) dan marbub (yang berada di bawah kekuasaan-Nya). Dan Allah pencipta segala sesuatu. Sedangkan segala sesuatu berada di bawah kekuasaan, aturan, ukuran, tatanan dan takdir-Nya. Berdasarkan ayat tersebut maka segala bentuk penelitian yang telah dilaporkan di atas tentulah memiliki ukuran-ukuran tertentu seperti penggunaan suhu, kecepatan pengadukan, lama waktu reaksi untuk mendapatkan ukuran yang tepat (kondisi optimal) dari suatu reaksi yang sesungguhnya ukuran optimalnya telah ditetapkan oleh Allah dan kita sebagai makhluk berusaha untuk mempelajari dan selalu ingat akan ketetapan Allah agar menjadi manusia yang beriman dan bertaqwa.

2.3 Reaksi Transesterifikasi Pada Minyak Kelapa Sawit

Minyak kelapa sawit merupakan minyak yang diperoleh dari mesokarp buah kelapa sawit melalui ekstraksi dan mengandung sedikit air serta serat halus yang berwarna kuning sampai merah dan berbentuk semi solid pada suhu ruang yang disebabkan oleh kandungan asam lemak jenuh yang tinggi. Minyak kelapa sawit tersusun atas lemak dan minyak alam yang terdiri atas trigliserida, digliserida dan monogliserida, asam lemak bebas, *moisture*, pengotor dan komponen-komponen minor bukan minyak/ lemak yang secara umum disebut dengan senyawa yang tidak dapat tersabunkan (Naibaho, 1988).

Asam-asam lemak penyusun minyak/lemak terbagi atas asam lemak jenuh (*saturated fatty acid*/SFA) dan asam lemak tak jenuh (*unsaturated fatty acid*/UFA), yang terdiri atas *mono-unsaturated fatty acid* (MUFA) dan *poly-unsaturated fatty acid* (PUFA). Asam lemak jenuh (*saturated fat*) tidak mengandung ikatan rangkap dan asam lemak tak jenuh (*unsaturated fat*) mengandung ikatan rangkap. Secara umum, asam lemak jenuh penyusun lemak berasal dari sumber hewani, dan asam lemak tak jenuh penyusun minyak berasal dari sumber nabati (Ketaren, 1986).

Asam lemak yang paling dominan pada minyak kelapa sawit adalah Asam palmitat (C16:0 asam lemak jenuh) dan asam oleat (C18:1 asam lemak tak jenuh). Disamping itu, ada pula komponen lainnya yang jumlahnya lebih sedikit seperti asam linoleat, stearat dan komponen lain seperti Tabel 2.3 (Intarapong, dkk. 2014):

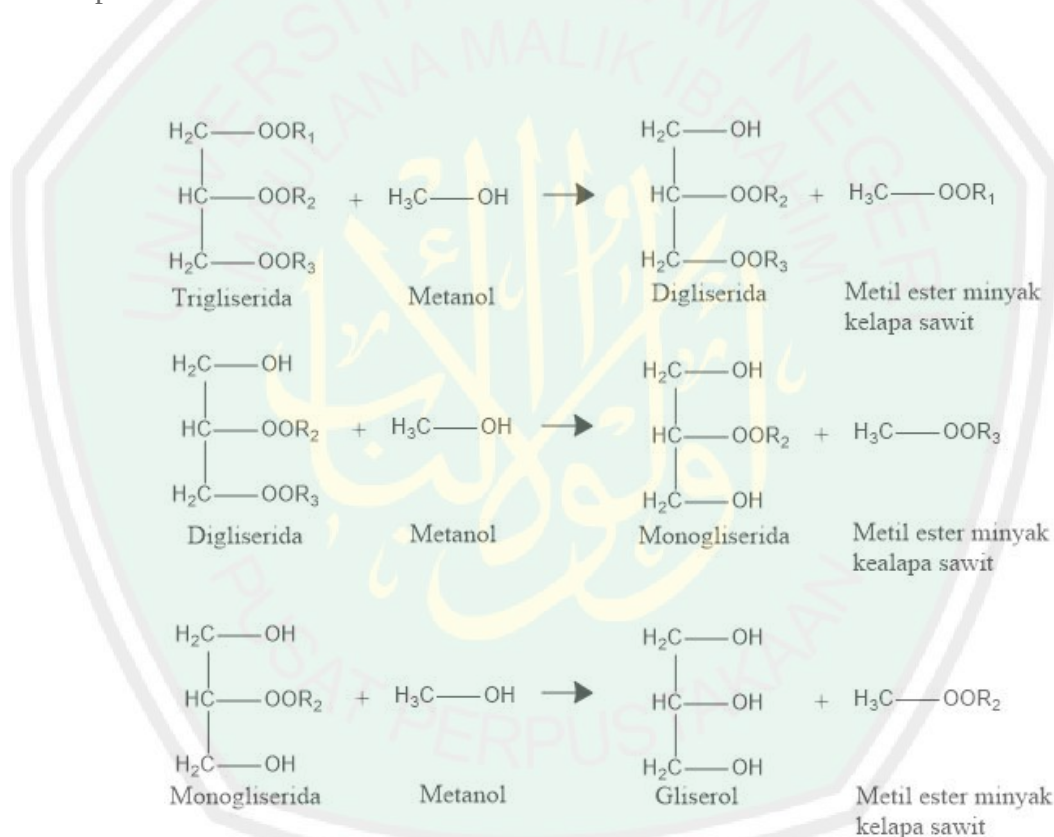
Tabel 2.3 Komposisi asam lemak bebas minyak kelapa sawit (Intarapong, dkk., 2014)

No	Asam Lemak Bebas	Persen Komposisi Metil Ester(%)
1	Asam Caprilat (C8:0)	0.01
2	Asam Capric (C10:0)	0.01
3	Asam Laurat (C12:0)	0.2
4	Asam Miristat (C14:0)	0.8
5	Asam Palmitat (C16:0)	40.29
6	Asam Stearat (C18:0)	3.7
7	Asam Oleat (C18:1)	43.73
8	Asam Linoleat (C18:2)	10.64
9	Asam Linolenat (C18:3)	0.19
10	Asam Arachidic (C20:0)	0.30

Minyak sawit mentah (Kelapa Sawit) dari buah sawit telah menghasilkan sekitar 180 kg per ton tandan buah segar (TBS). Pada tahun 2007, tingkat produksi TBS dari hampir 6,4 juta ton per tahun secara teori dapat digunakan untuk memproduksi 1,15 juta ton minyak sawit per tahun (Arita, dkk. 2013). Menurut Hamid dan Yusuf (2002), dan Fauzi (2004) minyak kelapa sawit mempunyai sifat kimia dan sifat fisika yang sama dengan minyak bumi (*petroleum diesel*) sehingga dapat digunakan secara langsung untuk mesin diesel dengan mengubah trigliserida dalam minyak menjadi metil ester (biodiesel).

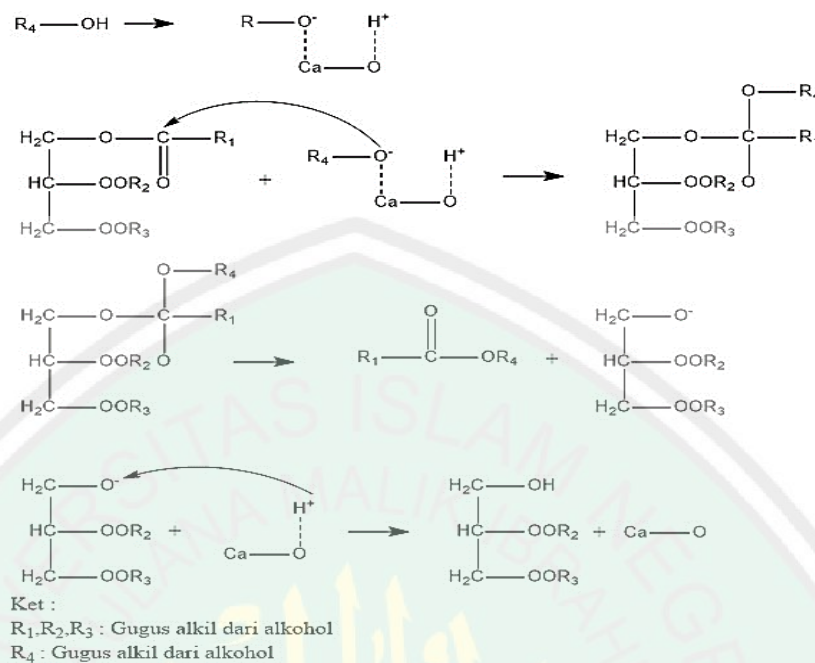
Reaksi transesterifikasi pada minyak kelapa sawit merupakan reaksi antara senyawa trigliserida dengan alkohol (metanol, etanol, propanol dan butanol) membentuk metil ester-asam lemak atau identik dengan nama *Fatty Acids Metil Ester* (FAME) dan gliserol dengan melibatkan katalis (Guo dan Fang, 2011). Dalam produksi biodiesel, Metanol adalah senyawa alkohol yang paling sering digunakan, karena harganya yang murah, reaktif dan ketersediaannya melimpah (Sivasamy, dkk. 2009).

Menurut Nouredini dan Zhu (1997); Foon, dkk (2004); juga Okullo dan Temu (2015) pada reaksi transesterifikasi dari molekul trigliserida diperlukan tiga reaksi yang berurutan dimulai dari molekul trigliserida yang bereaksi dengan alkohol membentuk digliserida dan FAME. Kemudian, digliserida bereaksi dengan alkohol membentuk monogliserida dan FAME. Selanjutnya, monogliserida bereaksi dengan alkohol membentuk FAME dan gliserol. Adapun mekanisme reaksi transesterifikasi antara Trigliserida dan alkohol (metanol) dapat digambarkan seperti Gambar 2.6 :



Gambar 2.7 Reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit (Allen dan Prateepchaikul. 2003).

Mekanisme katalisis pada reaksi transesterifikasi yang terjadi antara katalis basa heterogen dengan trigliserida menurut Lam, dkk (2010) adalah seperti Gambar 2.7 :



Gambar 2.8 Mekanisme katalisis pada reaksi transesterifikasi antara katalis basa heterogen dengan metanol dan trigliserida (Lam, dkk. 2010).

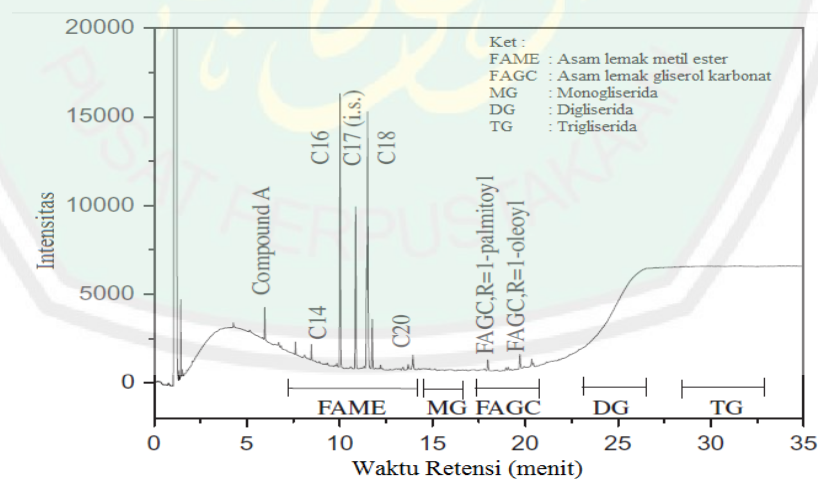
Minyak tumbuhan yang dikonversi menjadi asam lemak metil ester (biodiesel) memiliki standard tertentu agar dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti petrodiesel. Diantaranya yaitu bilangan *cetane* yaitu angka yang sering digunakan sebagai parameter kualitas bahan bakar diesel terkait dengan jeda waktu pengapian dan kualitas pembakaran (Ramos, dkk 2009). Semakin tinggi bilangan *cetane* maka semakin baik performa pembakaran mesin. Standard biodiesel yang dilaporkan Ramos, dkk (2009) menggunakan standard eropa (UNE-EN 14214) seperti Tabel 2.4 :

Tabel 2.4 Standard biodiesel dari minyak tumbuhan (UNE-EN 14214) (Ramos, dkk. 2009)

Bidang Uji	Satuan	Batasan		Minyak Kelapa Sawit	Minyak Zaitun	Minyak Kacang	Minyak Kedelai	Minyak Bunga Matahari
		Min	Maks					
Kandungan Ester	wt%	96.5		97.7	99.0	99.5	96.9	97.2
Viskositas Kinematis, 40°C	mm ² /s	3.5	5.0	4.5	4.5	4.6	4.2	4.2
Titik Nyala	°C	120		176	178	176	171	177
Bilangan <i>Cetane</i>	-	51		61	57	53	49	50
Stabilitas oksidatif, 110°C	Jam	6.0		4.0	3.3	2.0	1.3	0.8
Bilangan asam	mg KOH/g		0.50	0.12	0.13	0.10	0.14	0.15
Bilangan Iodin	g I ₂ /100 g		120	57	84	97	128	132
Kandungan asam linolenik	wt%		12.0	0.2	0.6	0.3	6.3	0.2
Kandungan methanol	wt%		0.20	0	0	0	0	0
Kandungan monogliserida	wt%		0.80	0.17	0.67	0.32	0.21	0.37
Kandungan digliserida	wt%		0.20	0.06	0.09	0.07	0.10	0.07
Kandungan trigliserida	wt%		0.20	0.04	0.03	0.03	0.07	0.04
Gliserol bebas	wt%		0.02	0.01	0.00	0.01	0.07	0.00
Jumlah gliserol	wt%		0.25	0.06	0.19	0.11	0.00	0.11

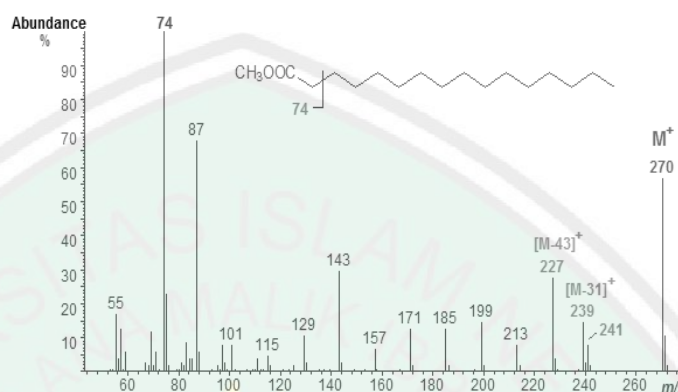
2.4 Karakterisasi Metil Ester Hasil Reaksi Transesterifikasi Menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectroscopy*)

Karakterisasi menggunakan GC-MS ini digunakan untuk mengetahui komponen yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi pada minyak kelapa sawit. Cao, dkk (2005) dan Zhang, dkk (2010) melakukan analisa kandungan asam lemak bebas metil ester hasil konversi dari minyak nabati menggunakan GC-MS untuk menentukan persentase konversi metil ester yang didapat dari reaksi transesterifikasi. Metode GC-MS ini dapat digunakan untuk mengkonfirmasi komponen metil ester yang dihasilkan dari kelapa sawit dan memberikan informasi mengenai mono-, di-, dan tri-gliserida yang berhasil dikonversi menjadi *fatty acid methyl ester (FAME)*. Hasil analisa menggunakan GC-MS berupa kromatogram dan spektrum massa yang nantinya dibandingkan dengan standar internal dari GC-MS. Adapun kromatogram gas khas metil ester dari minyak kelapa sawit adalah seperti Gambar 2.8 (Zhang, dkk. 2010) :



Gambar 2.9 Kromatogram gas khas metil ester dari minyak kelapa sawit (Zhang, dkk. 2010)

Christie dan Han (2010) telah menganalisa spektrum massa yang merupakan salah satu produk metil ester dari minyak kelapa sawit yaitu metil palmitate seperti Gambar 2.9 :



Gambar 2.10 Spektrum massa produk metil ester dari minyak kelapa sawit (Metil Palmitat) (Christie dan Han. 2010).

Christie dan Han (2010) melaporkan bahwa Ion molekul pada $m/z = 270$ diduga kuat merupakan metil palmitat karena munculnya ion molekul pada $m/z = 239$ yaitu $[M-31]^+$ yang mewakili hilangnya gugus metoksil dan mengkonfirmasi bahwa senyawa tersebut merupakan metil ester. Kemudian pada $m/z = 227$ menunjukkan bahwa molekul kehilangan unit C_3 (rantai karbon 2 ke 4) melalui penataan ulang kompleks. Kemudian dengan terlepasnya molekul $C_{12}H_{24}$ maka muncul puncak pada $m/z = 74$ yang muncul kuat sebagai puncak dasar yang memiliki kelimpahan relatif tinggi karena di stabilkan oleh adanya penataan ulang McLafferty. Sedangkan pada pemecahan selanjutnya terdapat kemungkinan lain yaitu terlepasnya radikal $C_{11}H_{23}$ yang menghasilkan puncak pada $m/z = 87$ (Fajriyah, dkk. 2012). Sehingga konfirmasi lebih lanjut dapat dinyatakan bahwa molekul tersebut merupakan metil ester dengan formula umum $[CH_3OCO(CH_2)_n]^+$ (Christie dan Han. 2010).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Januari - Mei 2017 di Laboratorium Kimia Anorganik, Laboratorium Instrumentasi Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang, dan Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain seperangkat alat gelas, neraca analitik, *magnetic stirrer*, corong pisah, hot plate, oven, *falling ball viscometer*, *Furnace*, botol aquades, seperangkat alat penyaring, reaktor hidrotermal, sonikator, X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (XRF), dan Gas Chromatography-Mass Spectrophotometer (GC-MS).

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak kelapa sawit komersil, kalium hidroksida (KOH) (Merck, pa 99 %), gamma aluminium oksida ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) (Merck, 99.9%), aquades, dan metanol (Merck, pa 98 %).

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian yang bersifat deskriptif. Penelitian deskriptif meliputi karakterisasi pengemban $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, dan karakterisasi hasil

pengembangan katalis KOH pada pengembangan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode impregnasi basah, hidrotermal, dan sonikasi menggunakan XRD yang digunakan untuk mengetahui kristalinitas dari KOH/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan XRF yang digunakan untuk mengetahui bahwa katalis KOH berhasil diembankan kedalam pengembangan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Kemudian katalis KOH/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ hasil pengembangan dari metode impregnasi basah, hidrotemal, dan sonikasi diujikan sebagai katalis pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan waktu raksi selama 6 jam pada suhu 60°C dan jumlah katalis KOH/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang digunakan sebanyak 3 gram pada perbandingan rasio molar metanol:minyak kelapa sawit yaitu 1:15. Hasil reaksi transesterifikasi dibantu katalis KOH/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dari masing-masing metode pengembangan dikarakterisasi menggunakan GC-MS untuk mengetahui persen metil ester yang berhasil dikonversi dari minyak kelapa sawit.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Karakterisasi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ menggunakan XRD dan XRF.
2. Pengembangan katalis KOH kedalam pengembangan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode impregnasi basah, hidrotermal, dan sonikasi
3. Karakterisasi masing-masing katalis KOH/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ hasil pengembangan menggunakan XRD dan XRF.
4. Reaksi transesterifikasi dibantu katalis KOH/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ hasil pengembangan metode impregnasi basah, hidrotermal dan sonikasi.
5. Karakterisasi hasil reaksi transesterifikasi menggunakan GC-MS.
6. Analisis data.

3.5 Prosedur Kerja

3.5.1 Preparasi Katalis Heterogen KOH/ γ -Al₂O₃

3.5.1.1 Pengembanan Katalis KOH pada Pengemban γ -Al₂O₃ Menggunakan Metode Impregnasi Basah

Proses pengembanan katalis KOH pada pengemban γ -Al₂O₃ dilakukan dengan mereaksikan KOH dan γ -Al₂O₃ dengan perbandingan KOH: γ -Al₂O₃ (b/b) 1:4 (Noiroj, dkk.2009) yaitu 2,5 gram KOH : 10 gram γ -Al₂O₃ dalam 100 ml akuades. Reaksi dilakukan pada temperatur 40°C dibantu dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 jam. Kemudian dikeringkan pada suhu 120°C selama 12 jam lalu dikalsinasi pada suhu 500°C selama 3 jam (Li, dkk. 2013).

3.5.1.2 Pengembanan Katalis KOH pada Pengemban γ -Al₂O₃ Menggunakan Metode Hidrotermal

Proses pengembanan katalis KOH pada pengemban γ -Al₂O₃ dilakukan dengan mereaksikan KOH dan γ -Al₂O₃ dengan perbandingan KOH: γ -Al₂O₃ (b/b) 1:4 (Noiroj, dkk.2009) yaitu 2,5 gram KOH : 10 gram γ -Al₂O₃ dalam 100 ml akuades. Reaksi dilakukan pada temperatur kamar dibantu dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 jam. Kemudian sampel dipindahkan kedalam reaktor hidrotermal dan dipanaskan pada temperatur 100°C (Wang, dkk. 2016) selama 3 jam. Lalu dikeringkan pada suhu 120°C selama 12 jam dan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 3 jam (Li, dkk. 2013).

3.5.1.3 Pengembanan Katalis KOH pada Pengemban γ -Al₂O₃ menggunakan Metode Sonikasi

Proses pengembanan katalis KOH pada pengemban γ -Al₂O₃ dilakukan dengan mereaksikan KOH dan γ -Al₂O₃ dengan perbandingan KOH: γ -Al₂O₃ (b/b) 1:4 (Noiroj, dkk.2009) yaitu 2,5 gram KOH : 10 gram γ -Al₂O₃ dalam 100 ml akuades. Reaksi dilakukan pada temperatur kamar dibantu dengan pengadukan

menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 jam. Kemudian sampel dipindahkan kedalam sonikator bath dan diberi radiasi ultrasonik sebesar 42 KHz selama 3 jam. Lalu dikeringkan pada suhu 120°C selama 12 jam dan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 3 jam (Li, dkk. 2013).

3.5.2 Karakterisasi Katalis

3.5.2.1 Karakterisasi Katalis KOH/ γ -Al₂O₃ menggunakan XRD

Karakterisasi dengan menggunakan XRD dilakukan pada sampel katalis KOH/ γ -Al₂O₃ hasil impregnasi basah, hidrotermal dan sonikasi. Sampel dihaluskan hingga menjadi serbuk halus kemudian ditempatkan pada preparat dan dipres dengan alat pengepres. Selanjutnya ditempatkan pada sampel holder dan disinari dengan sinar-X dengan radiasi Cu K α sebesar 1,541 Å dengan sudut 2 θ sebesar 10-90° dan kecepatan scan 0,02°/ detik.

3.5.2.2 Karakterisasi Katalis KOH/ γ -Al₂O₃ menggunakan XRF

Karakterisasi katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan menggunakan X-Ray *Flourescence* (XRF) bertujuan untuk mengetahui adanya KOH yang teremban didalam γ -Al₂O₃. Sebanyak 5 mg KOH/ γ -Al₂O₃ di tempatkan dalam sampel holder dan disinari dengan sinar-X.

3.5.3. Reaksi transesterifikasi dibantu katalis KOH/ γ -Al₂O₃

Konversi minyak kelapa sawit menjadi metil ester melalui reaksi transesterifikasi dibantu katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dilakukan dengan mereaksikan metanol dan minyak kelapa sawit menggunakan perbandingan rasio molar metanol:minyak kelapa sawit 15:1 yaitu 12 ml metanol : 19,4 ml minyak kelapa

sawit dengan jumlah katalis KOH/ γ -Al₂O₃ sebanyak 3 gram pada temperatur 60°C dan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* 600 rpm selama 6 jam. Setelah proses selesai, katalis dipisahkan terlebih dahulu. Kemudian campuran metil ester dan gliserol didiamkan dalam corong pisah selama 24 jam. Setelah terpisah, diambil lapisan atas (metil ester) dan dimurnikan dengan aquades panas sebanyak 10% dari volume minyak dan didiamkan dalam corong pisah selama 1 jam. Kemudian lapisan atas diambil dan ditambah 1% b/b Na₂SO₄ anhidrat (Arifin dan Latifah, 2015). Untuk mengetahui yield biodiesel (metil ester) hasil konversi dari reaksi transesterifikasi dikarakterisasi menggunakan GC-MS digunakan rumus berikut (Kusuma, dkk. 2013) :

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{Berat biodiesel (metil ester)} \times \% \text{ FAME dalam sampel}}{\text{Berat minyak kelapa sawit}} \times 100\%$$

Berat biodiesel (metil ester) = berat terukur – kadar air

% FAME = % total metil ester yang dihasilkan dari konversi

3.5.4 Karakterisasi Metil Ester Hasil Reaksi Transesterifikasi dibantu Katalis KOH/ γ -Al₂O₃ Menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography - Mass Spectroscopy*)

Produk hasil reaksi transesterifikasi dianalisis menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography – Mass Spectroscopy*) yang dikondisikan sebagai berikut (Hidayat, 2012) :

Jenis kolom	: RastekRXi-5MS
Panjang kolom	: 30 meter
ID	: 0.25 mm
Gas Pembawa	: Helium
Sistem ionisasi	: <i>Electron impact</i>
Energi ionisasi	: 70 ev

Suhu kolom	: 80 °C
Suhu Injektor	: 310 °C
<i>Injection mode</i>	: Split
Tekanan gas pembawa	: 13.7 kPa
Kec. 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.

3.5.5 Analisa Data

3.5.5.1 Analisa Data Hasil Karakterisasi Katalis KOH/ γ -Al₂O₃ Menggunakan XRD (X-Ray Diffraction)

Data hasil karakterisasi katalis KOH/ γ -Al₂O₃ menggunakan XRD yang diperoleh adalah berupa difraktogram. Kristalinitas katalis KOH/ γ -Al₂O₃ ditentukan oleh kemunculan puncak pada daerah 2θ pada difraktogram. Selanjutnya puncak-puncak yang terbentuk pada difraktogram dibandingkan dengan referensi untuk mengetahui kesesuaian katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan referensi. Semakin rendah puncak katalis KOH/ γ -Al₂O₃ yang terbentuk pada daerah 2θ dapat dikatakan bahwa KOH telah teremban pada γ -Al₂O₃.

3.5.5.2 Analisa Data Hasil Karakterisasi Katalis KOH/ γ -Al₂O₃ Menggunakan XRF (X-Ray Fluorescence)

Data hasil karakterisasi KOH/ γ -Al₂O₃ menggunakan XRF yang diperoleh adalah berupa difraktogram. Puncak yang muncul pada difraktogram tersebut menunjukkan bahwa KOH telah teremban ke dalam γ -Al₂O₃. Tinggi puncak menunjukkan banyaknya KOH yang telah teremban ke dalam γ -Al₂O₃. Untuk

mempermudah pemahaman data hasil difraktogram dari analisis XRF akan disajikan dalam bentuk tabel sehingga persentase kadar KOH lebih jelas.

3.5.5.3 Analisa Data Karakterisasi Metil Ester Hasil dari Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography - Mass Spectroscopy*)

Data hasil karakterisasi metil ester hasil dari reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menggunakan GC-MS yang diperoleh adalah berupa kromatogram. Puncak yang muncul pada kromatogram dicocokkan dengan standar untuk mengetahui bahwa metil ester telah terbentuk dari reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dibantu katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

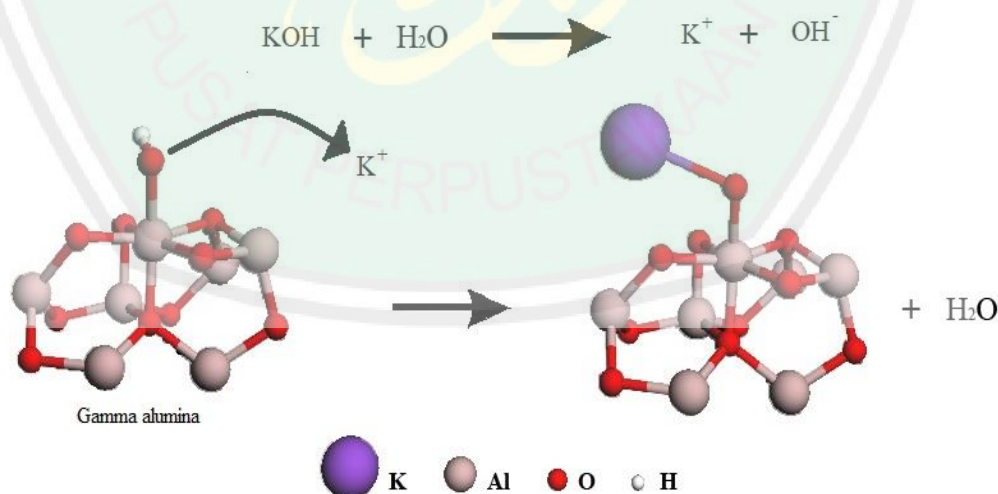


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

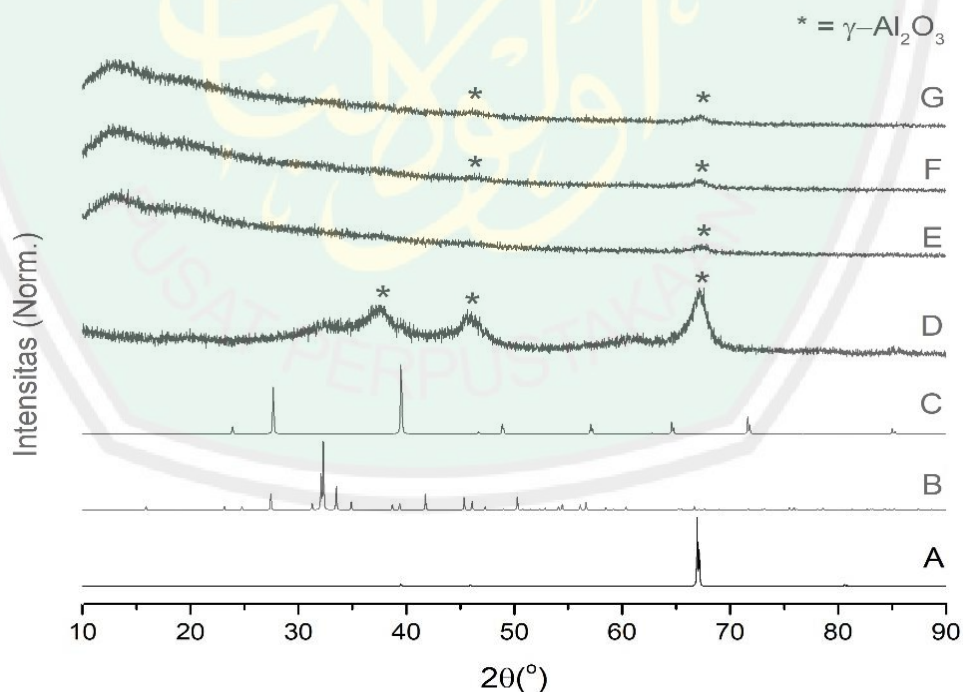
4.1 Sintesis KOH/ γ -Al₂O₃ Menggunakan Metode Impregnasi Basah, Hidrotermal, dan Sonikasi

Sintesis KOH/ γ -Al₂O₃ dilakukan menggunakan tiga metode untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap aktivitas dan selektivitas katalis dalam mengkatalisis reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi metil ester. Metode impregnasi basah dilakukan dengan tiga tahap yaitu melarutkan KOH dan γ -Al₂O₃ dengan perbandingan 1:4 (b/b) dalam pelarut air, evaporasi dan kalsinasi. Metode hidrotermal juga dilakukan dengan tiga tahap yaitu menggunakan pelarut air untuk mencampurkan KOH dan γ -Al₂O₃, proses hidrotermal, dan kalsinasi. Metode sonikasi dilakukan dengan tiga tahap juga yaitu melarutkan KOH dan γ -Al₂O₃ dalam pelarut air, proses sonikasi, dan kalsinasi. Adapun interaksi yang terjadi antara KOH dan γ -Al₂O₃ seperti Gambar 4.1 :



Gambar 4.1 Dugaan reaksi antara KOH dengan γ -Al₂O₃ mengacu pada penelitian Kim dan Lee (2013), dan Hun, dkk (2007).

Reaksi antara KOH dengan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ menyebabkan terjadinya interaksi antara keduanya dan memungkinkan terbentuknya ikatan Al-O-K dan air. Kemudian dilakukan proses penguapan untuk menghilangkan air dan memaksa keberadaan sisa KOH yang mungkin tidak bereaksi agar tetap berada pada permukaan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Selanjutnya dilakukan kalsinasi yang memungkinkan terjadinya perubahan sisi aktif pada permukaan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dari Al-O-K menjadi K_2O . Penelitian yang dilaporkan Li, dkk (2013) menunjukkan terbentuknya spesies K_2O pada reaksi antara KOH dan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ akibat dari kalsinasi. Kusuma, dkk (2013) juga melaporkan bahwa kalsinasi membuat KOH terdekomposisi menjadi K_2O . Adapun hasil karakterisasi KOH/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ menggunakan XRD dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut :



Gambar 4.2 Difraktogram XRD (A) Standar $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (ICSD 30267); (B) Standar KOH (ICSD 76958); (C) Standar K_2O (ICSD 641282); (D) $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$; (E) KOH/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Impregnasi Basah; (F) KOH/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Hidrotermal; (G) KOH/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Sonikasi.

Gambar 4.2 (E, F, dan G) penggunaan metode impregnasi basah, hidrotermal, dan sonikasi pada sintesis KOH/ γ -Al₂O₃ tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Penambahan KOH pada γ -Al₂O₃ juga belum terlihat. Namun, dengan menurunnya intensitas pada 2 θ 37°, 46°, dan 67° milik γ -Al₂O₃ menandakan adanya interaksi yang kuat antara KOH dengan γ -Al₂O₃ (Li, dkk. 2013). Dalam penelitian ini belum dapat dipastikan bentuk dari KOH yang terembankan karena tidak adanya puncak spesifik yang muncul baik dalam bentuk KOH maupun K₂O. Pengembangan KOH pada γ -Al₂O₃ yang tidak terlihat puncak difraksinya pada karakterisasi XRD, selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRF.

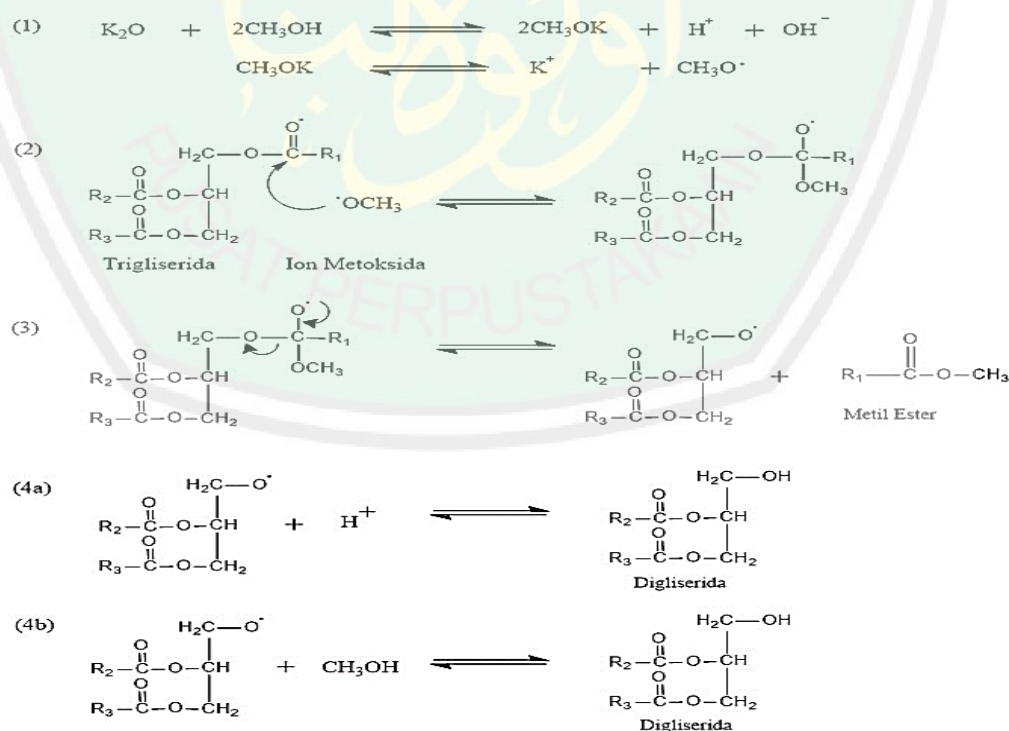
Tabel 4.1 Kandungan unsur dalam γ -Al₂O₃ dan KOH/ γ -Al₂O₃ hasil karakterisasi menggunakan XRF.

Unsur	γ -Al ₂ O ₃ Konsentrasi (%)	KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Impregnasi Basah Konsentrasi (%)	KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Hidrotermal Konsentrasi (%)	KOH/ γ -Al ₂ O ₃ Sonikasi Konsentrasi (%)
Al	88.7	34.8	38.7	32.9
P	1.8	0.58	0.52	0.56
Ca	2.42	-	-	-
K	-	57.9	54.3	59.9
Ti	0.19	0.19	0.16	0.31
Cr	0.27	0.19	0.21	0.21
Mn	0.24	0.18	0.18	0.19
Fe	0.882	0.79	0.77	0.87
Ni	3.81	3.84	3.54	3.96
Cu	0.58	0.55	0.51	0.57
Zn	0.17	0.55	0.17	0.18
Ga	0.24	0.14	0.12	0.13
Br	-	-	0.16	-
Ba	0.3	0.4	0.5	-
Re	0.4	0.3	0.2	0.3

Berdasarkan Tabel 4.1 KOH telah berhasil terembankan pada γ - Al_2O_3 . Hal ini dapat dilihat pada γ - Al_2O_3 sebelum terembankan tidak mengandung unsur K. akan tetapi setelah pengembanan KOH dengan ketiga metode terdapat unsur K.

4.2 Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Meterial $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang telah dikarakterisasi selanjutnya digunakan sebagai katalis pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi metil ester. Reaksi transesterifikasi dilakukan dalam reaktor sederhana dengan temperatur 60°C selama 6 jam dengan perbandingan rasio molar metanol dan minyak 15:1. Saat reaksi sedang berlangsung KOH akan menjadi sisi aktif yang teremban pada $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sebagai katalis basa heterogen dalam bentuk K_2O (Kusuma, dkk. 2013).



Gambar 4.3 Dugaan mekanisme reaksi transesterifikasi dengan katalis basa heterogen mengacu pada penelitian Kusuma, dkk (2013).

Mekanisme reaksi transesterifikasi akan dimulai melalui proses transfer metanol dan minyak kelapa sawit ke permukaan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang dipercepat dengan pengadukan yang kuat. Selanjutnya, metanol dan minyak kelapa sawit berupa trigliserida akan teradsorpsi pada permukaan katalis. Pada proses adsorpsi ini terjadi reaksi transesterifikasi.

Metanol yang teradsorpsi ke permukaan katalis akan beraksi dengan sisi aktif katalis berupa K_2O . Berdasarkan teori asam-basa Lewis, K_2O merupakan basa kuat (pendonor pasangan elektron) yang akan menyerang atom H dari metanol yang merupakan asam lemah (penerima pasangan elektron) dan membentuk ion metoksida. Ion metoksida merupakan nukleofil kuat yang sangat reaktif. Sehingga ion metoksida mampu menyerang $\text{C}=\text{O}$ (karbonil) pada trigliserida dan menghasilkan produk metil ester dengan produk samping akhir berupa gliserol (Gambar 4.3).

Metil ester yang dihasilkan selanjutnya dipisahkan dari produk samping (gliserol) dengan ekstraksi cair-cair menggunakan pelarut akuades. Ekstraksi ini dilakukan berdasarkan prinsip *like dissolve like*, dimana gliserol akan berinteraksi kuat dengan akuades karena keduanya bersifat polar sedangkan metil ester akan terpisah karena bersifat non polar sehingga terbentuk 2 lapisan. Metil ester memiliki berat jenis yang lebih rendah dibanding gliserol dan air sehingga lapisan atas merupakan metil ester sedangkan lapisan bawah merupakan gliserol dan air. Setelah kedua lapisan dipisahkan, produk metil ester diukur volumenya untuk diketahui rendemennya (Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Rendemen produk hasil reaksi transesterifikasi.

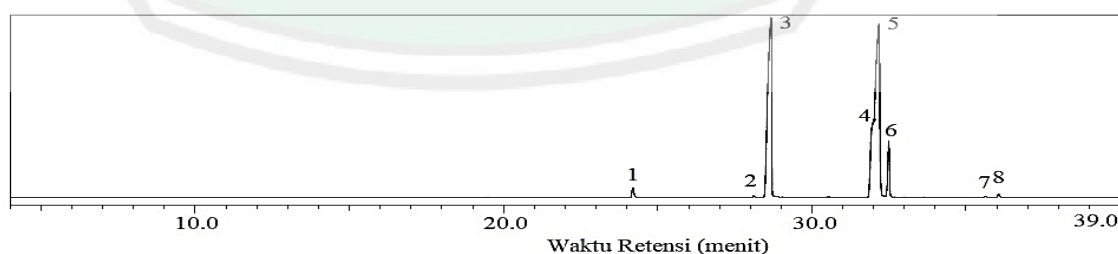
Variasi Metode	Rendemen (%)
Impregnasi Basah	85.66
Hidrotermal	84.85
Sonikasi	85.78

4.3 Analisis Produk Hasil Reaksi Transesterifikasi Menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*)

Analisis metil ester menggunakan GC-MS dilakukan untuk mengetahui banyaknya komponen yang terkandung dalam produk berdasarkan banyaknya puncak yang muncul dan luas area pada kromatogram GC. Spektrometri massa atau MS untuk meramalkan struktur dan jenis metil ester dari masing-masing puncak berdasarkan berat molekul dan pola fragmentasi. Jenis komponen dapat diketahui dengan membandingkan hasil spektrometri massa senyawa target dengan spektrometri dari WILEY7.LIB *Library* atau standar MS lainnya.

4.3.1 Analisis GC-MS Produk Hasil Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis KOH/ γ -Al₂O₃ Metode Impregnasi Basah

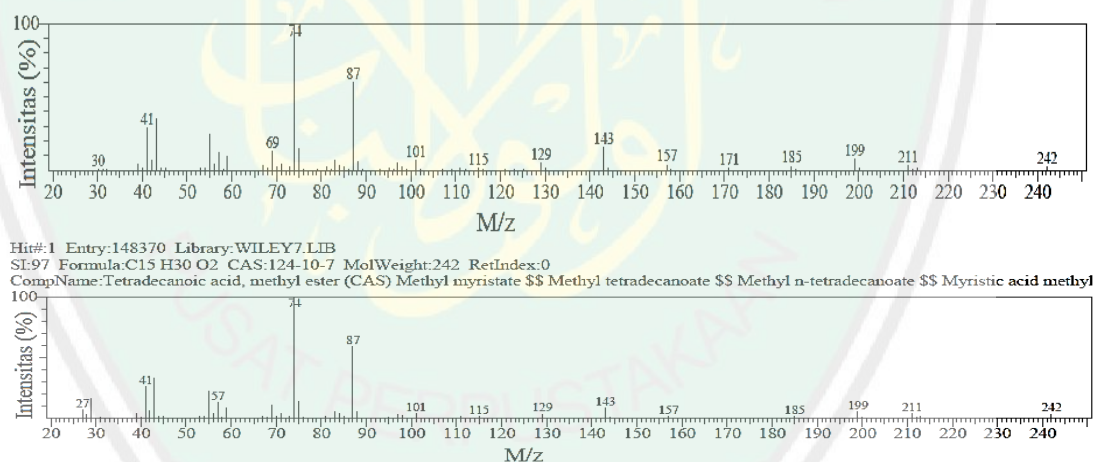
Analisis minyak kelapa sawit yang di transesterifikasi dengan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ metode impregnasi basah menggunakan GC-MS menunjukkan adanya 8 puncak yang muncul pada kromatogram (Gambar 4.4).



Gambar 4.4 Kromatogram produk reaksi transesterifikasi menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ metode impregnasi basah.

Berdasarkan kromatogram GC (Gambar 4.4) 8 puncak yang muncul menandakan adanya 8 komponen yang berhasil dipisahkan pada produk hasil reaksi transesterifikasi. Masing-masing puncak memiliki waktu retensi yang menunjukkan waktu munculnya komponen dan luas area yang menunjukkan kadar tiap komponennya. Hasil spektra massa dari setiap puncak memiliki pola fragmentasi yang berbeda-beda yang merupakan ciri khas jenis metil esternya.

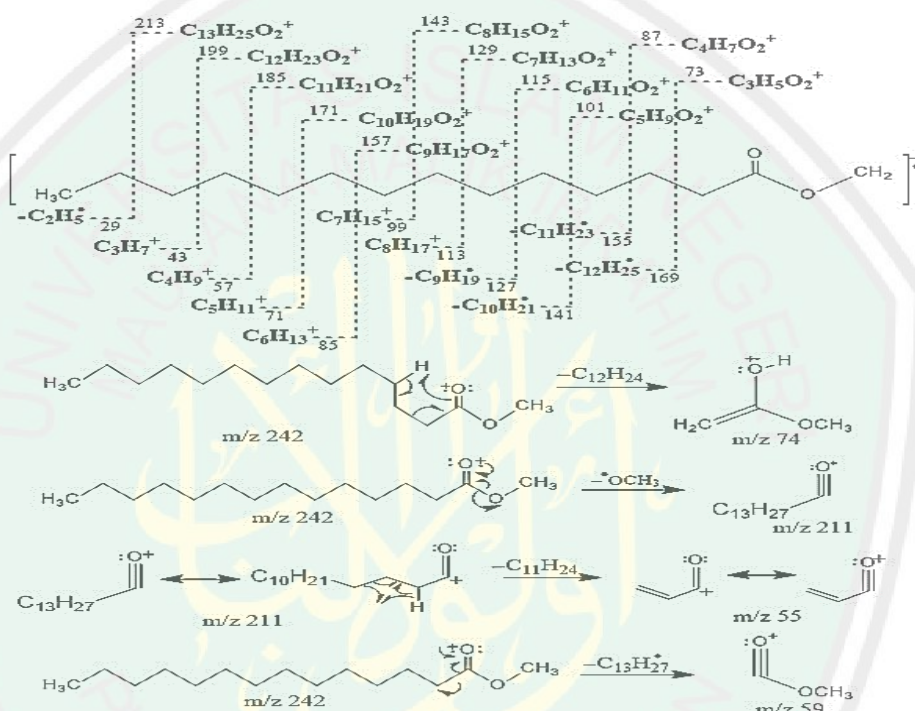
Pola spektra massa (Gambar 4.5) puncak pertama yang muncul pada tR 24.194 dan luas area sebesar 4200108 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 30, 41, 69, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 211, dan 242. Perbandingan spektra dengan standar WILEY7.LIB Library memiliki kesesuaian dengan standar metil miristat (WILEY7.LIB entry: 148370).



Gambar 4.5 Spektra massa puncak 1 dan standar WILEY7.LIB (148370) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode impregnasi basah (tR 24.196).

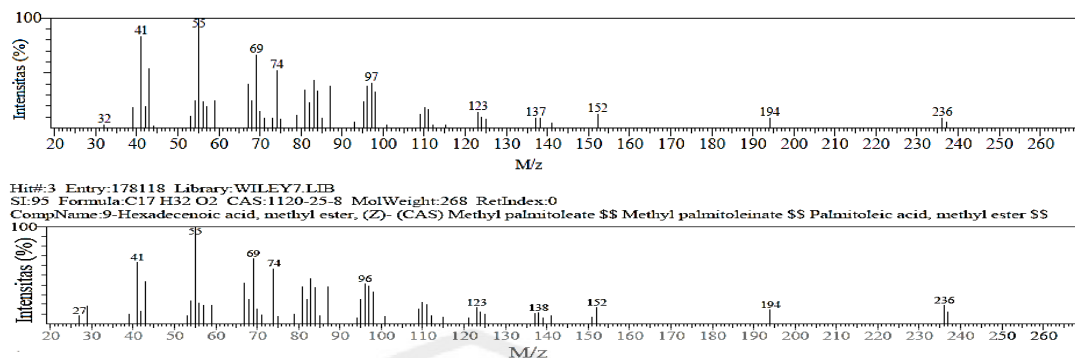
Munculnya ion molekuler (M^+) m/z 242 berasal dari senyawa metil miristat (metil tetradekanoat) dengan rumus molekul $C_{15}H_{30}O_2^+$. Puncak dengan m/z 74 muncul kuat sebagai puncak dasar (*base peak*) berasal dari terbentuknya $C_3H_6O_2^+$

melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus $C_{12}H_{24}$. $C_3H_6O_2^+$ memiliki kelimpahan yang tinggi karena ion ini distabilkan oleh adanya penataan ulang McLafferty. Puncak-puncak dengan m/z 30, 43, 57, 69, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, dan 199 merupakan puncak yang dihasilkan dari pemutusan ikatan C-C. Sedangkan untuk puncak dengan m/z 59 dan 211 merupakan ion asilium.



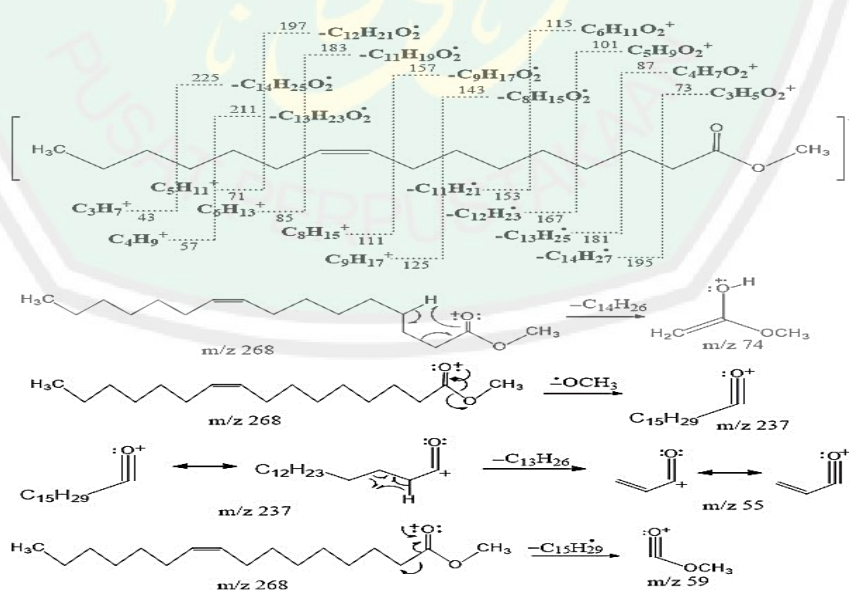
Gambar 4.6 Perkiraan pola fragmentasi metil miristat hasil menggunakan katalis $KOH/\gamma-Al_2O_3$ dengan metode Impregnasi basah.

Puncak kedua muncul pada tR 28.115 dan luas area sebesar 612576 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 32, 41, 55, 69, 74, 97, 123, 137, 152, 194, dan 236 (Gambar 4.7). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB Library menunjukkan kesesuaian dengan standar metil palmitoleat (WILEY7.LIB entry: 178118).



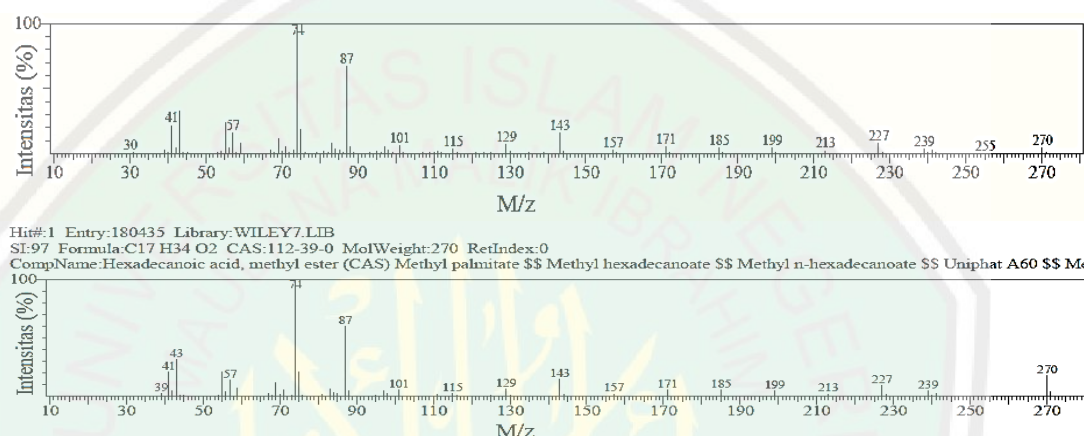
Gambar 4.7 Spektra massa puncak 2 dan standar WILEY7.LIB (178118) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode impregnasi basah (tR 28.115).

Berdasarkan Gambar 4.7 menunjukkan ion molekular (M^+) dengan m/z 236 berasal dari senyawa metil palmitoleat (metil 9-hexadekanoat) dengan rumus molekul C₁₇H₃₂O₂ yang telah kehilangan gugus CH₃O⁺ menjadi C₁₆H₂₉O⁺. Puncak dengan m/z 55 (*base peak*) berasal dari C₄H₇⁺ yang diperoleh dari lepasnya C₁₃H₂₆ pada m/z 237. Sedangkan untuk pecahan pada m/z 194, 152, 137, 123, 97, 83, dan 69 merupakan puncak yang berasal dari pemutusan rantai C-C.



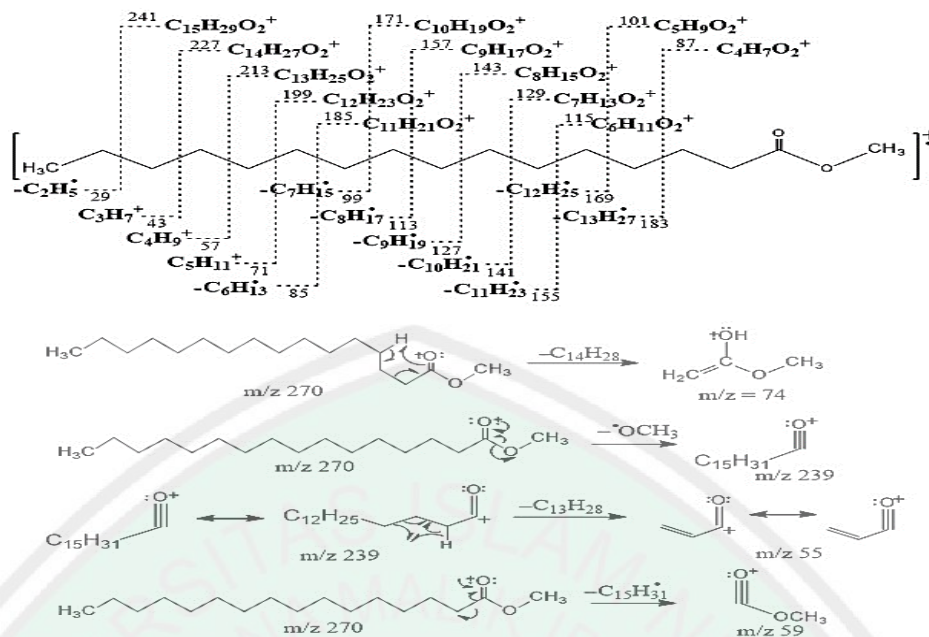
Gambar 4.8 Perkiraan pola fragmentasi metil palmitoleat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode Impregnasi basah.

Puncak ketiga muncul pada tR 28.671 dan luas area sebesar 160470550 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 30, 41, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 213, 227, 239, 255, dan 270 (Gambar 4.9). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil palmitat (WILEY7.LIB entry: 180435).



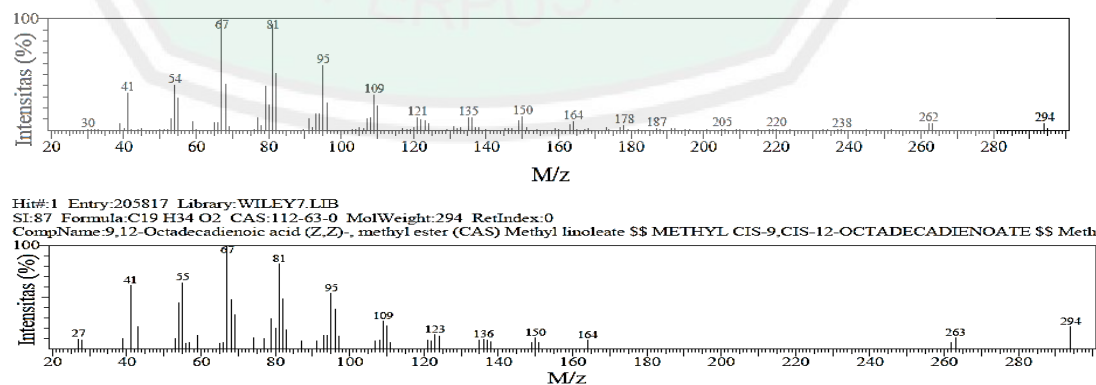
Gambar 4.9 Spektra massa puncak 3 dan standar WILEY7.LIB (180435) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode impregnasi basah (tR 28.671).

Ion molekular (M^+) m/z 270 berasal dari senyawa metil palmitat (metil hexadekanoat) dengan rumus molekul C₁₇H₃₄O₂. Puncak dengan m/z 74 (*base peak*) berasal dari terbentuknya C₃H₆O₂⁺ melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus C₁₄H₂₈. Untuk m/z 185, 157, 143, 101, 74, 69, 41, dan 30 merupakan puncak yang berasal dari pemutusan C-C. Kemudian untuk puncak dengan m/z 59 dan 239 merupakan puncak milik ion asilium.



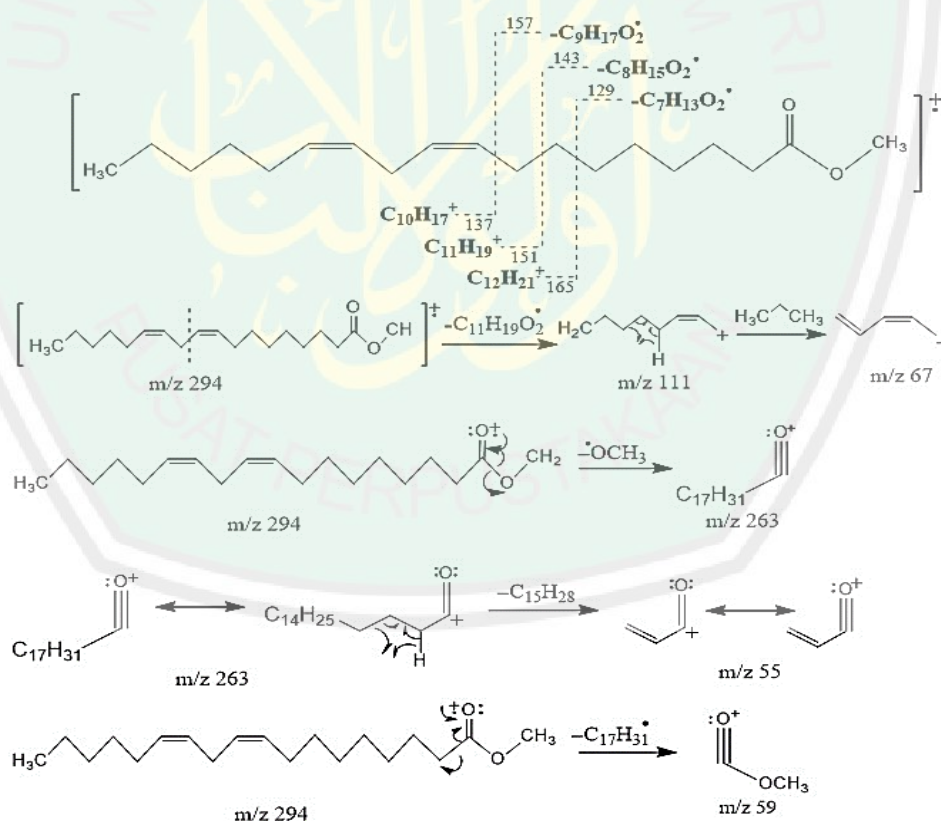
Gambar 4.10 Perkiraan pola fragmentasi metil palmitat hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode Impregnasi basah.

Puncak keempat muncul pada tR 31.973 dan luas area sebesar 12714136 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 30, 41, 54, 67, 81, 95, 109, 121, 135, 150, 164, 178, 187, 205, 220, 238, 262, dan 294 (Gambar 4.11). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil linoleat (WILEY7.LIB entry: 205817).



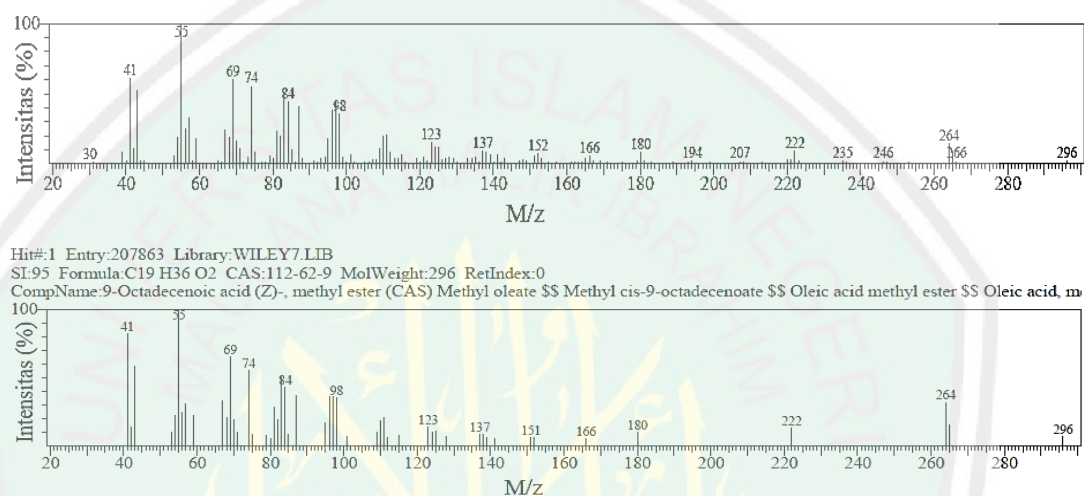
Gambar 4.11 Spektra massa puncak 4 dan standar WILEY7.LIB (205817) hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode impregnasi basah (tR 31.973).

Berdasarkan Gambar 4.11 menunjukkan ion molekular (M^+) pada m/z 294 yang berasal dari senyawa metil linoleat (metil 9, 12-oktadekanoat) dengan rumus molekul $C_{19}H_{34}O_2$. Puncak dasar (*base peak*) muncul dengan m/z 67 merupakan ion dari $C_4H_7^+$ akibat dari adanya penataan ulang pada $C_8H_{14}^+$ dan melepas propana. Puncak dengan m/z 262 berasal dari $C_{18}H_{30}O^+$ yang muncul akibat dari terlepasnya gugus CH_3O dari $C_{19}H_{34}O_2$. Kemudian, puncak m/z 178 muncul dari $C_{12}H_{18}O^+$ akibat terlepasnya C_6H_{12} dari $C_{18}H_{30}O^+$. Pecahan dengan m/z 149 berasal dari $C_{11}H_{17}^+$ dari terlepasnya $C_8H_{17}O_2$ dari ion molekular (M^+). Pecahan dengan m/z 95 berasal dari terlepasnya $C_3H_4^+$ dari $C_{11}H_{17}^+$ dan untuk m/z 121 diperoleh dari dari terlepasnya $C_2H_4^+$ dari $C_{11}H_{17}^+$.



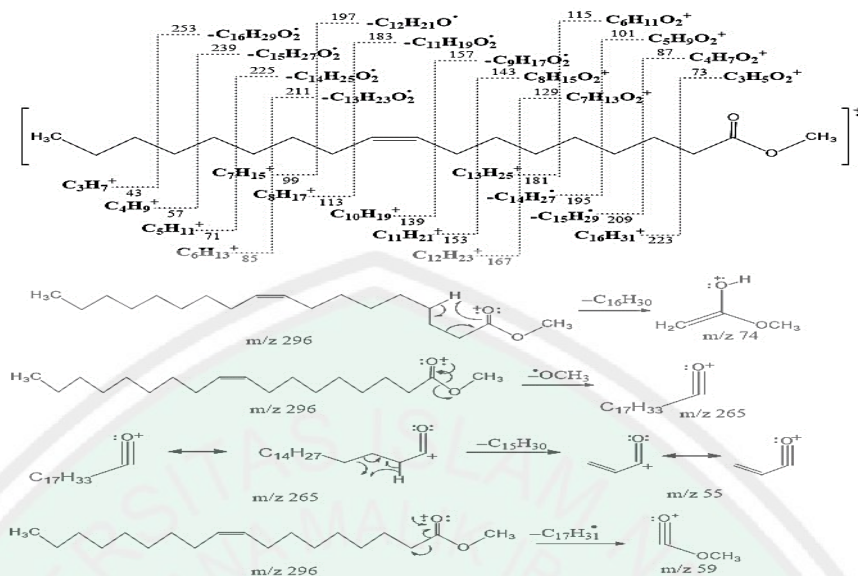
Gambar 4.12 Perkiraan pola fragmentasi metil linoleat hasil menggunakan katalis KOH/ γ - Al_2O_3 dengan metode Impregnasi basah.

Puncak kelima muncul pada tR 32.178 dengan luas area sebesar 105473984 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 32, 41, 55, 69, 74, 84, 98, 123, 137, 152, 166, 180, 194, 207, 222, 235, 246, 264, 266, dan 296 (Gambar 4.13). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil oleat (WILEY7.LIB entry: 207863).



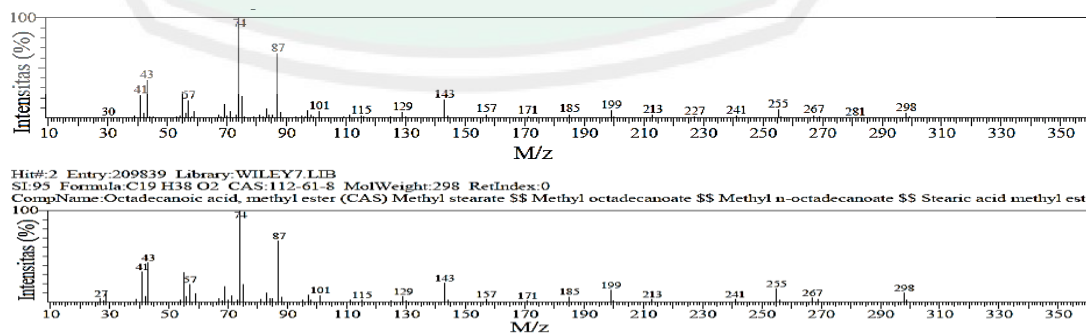
Gambar 4.13 Spektra massa puncak 5 dan standar WILEY7.LIB (207863) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode impregnasi basah (tR 32.178).

Gambar 4.13 menunjukkan puncak ion molekuler (M⁺) muncul pada m/z 296 yang berasal dari adanya senyawa metil oleat (metil 9-oktadekanoat) dengan rumus molekul C₁₉H₃₆O₂. Puncak dasar (*base peak*) muncul pada m/z 55 yang berasal dari C₄H₇⁺ akibat terlepasnya C₁₅H₃₂O₂. Pecahan dengan m/z 265 diperoleh dari C₁₈H₃₅O⁺ akibat terlepasnya CH₃O pada ion molekuler. Untuk pecahan pada m/z 222 didapat dari C₁₆H₃₂⁺ dengan terlepasnya C₂H₃O⁺. Puncak dengan m/z 180 berasal dari C₁₃H₂₄⁺ akibat lepasnya C₂H₅⁺ dari C₁₆H₃₂⁺. Pecahan dengan m/z 123 berasal dari C₉H₁₄⁺ dan pecahan dengan m/z 95 berasal dari C₇H₁₁⁺. unca pada m/z 59 dan 265 merupakan puncak ion asilium.



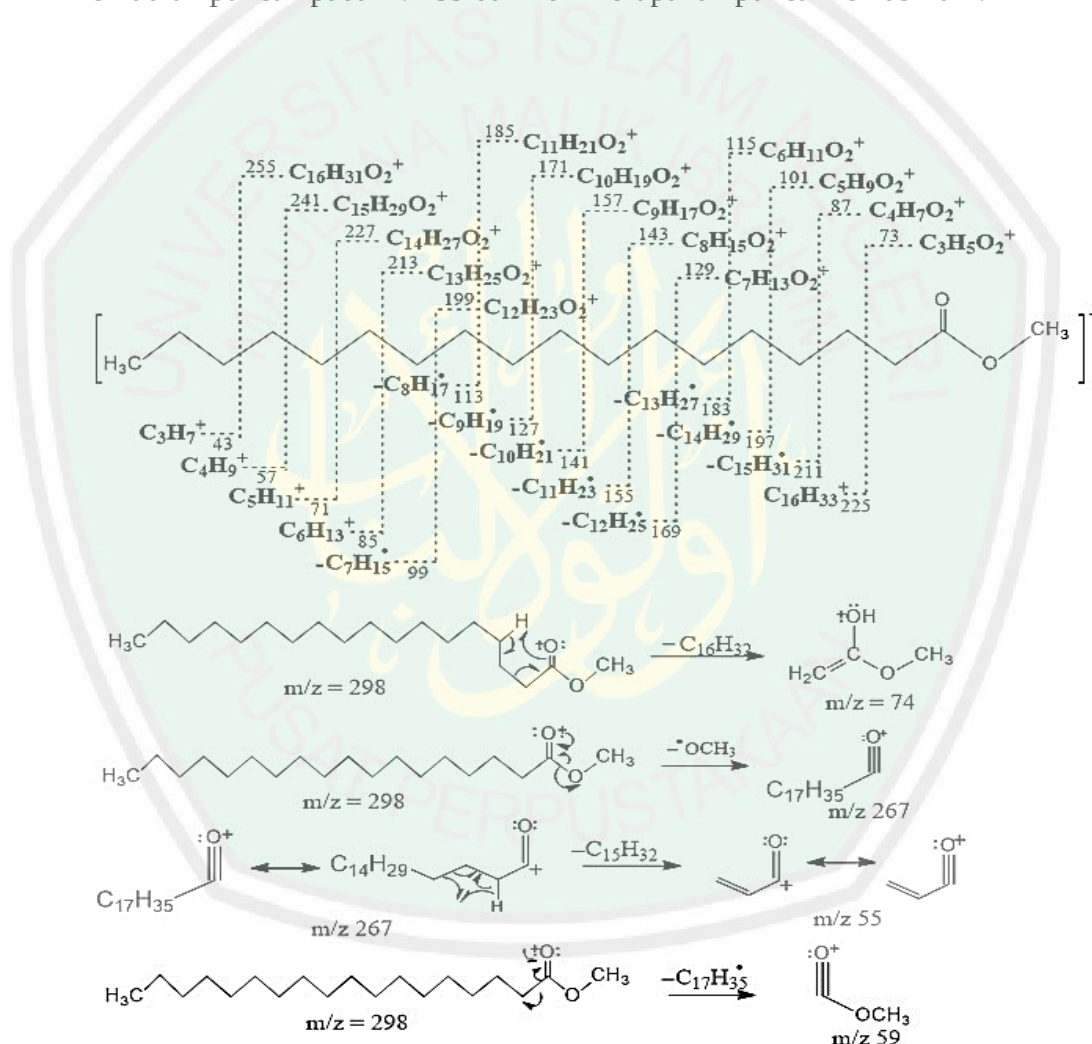
Gambar 4.14 Perkiraan pola fragmentasi metil oleat hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode Impregnasi basah.

Puncak keenam muncul pada tR 32.495 dengan luas area sebesar 21356965 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 32, 41, 43, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 213, 227, 241, 255, 267, 281, dan 298 (Gambar 4.15). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB Library menunjukkan kesesuaian dengan standar metil stearat (WILEY7.LIB entry: 209839).



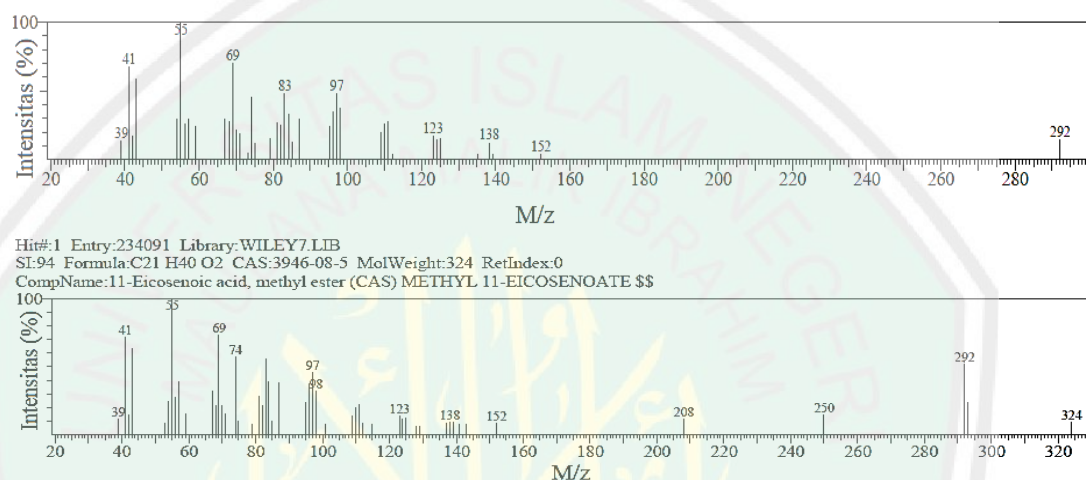
Gambar 4.15 Spektra massa puncak 6 dan standar WILEY7.LIB (209839) hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode impregnasi basah (tR 32.495).

Gambar 4.15 menunjukkan puncak ion molekuler (M^+) muncul pada m/z 298 yang berasal dari adanya senyawa metil stearat (metil oktadekanoat) dengan rumus molekul $C_{19}H_{38}O_2$. Munculnya puncak dasar (*base peak*) pada m/z 74 berasal dari $C_3H_6O_2^+$ yang terbentuk melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus $C_{16}H_{32}^+$. Untuk pecahan pada m/z 267, 255, 241, 213, 199, 185, 157, 143, 129, 115, dan 101 merupakan puncak yang berasal dari pemutusan rantai C-C. Kemudian puncak pada m/z 59 dan 267 merupakan puncak ion asilium.



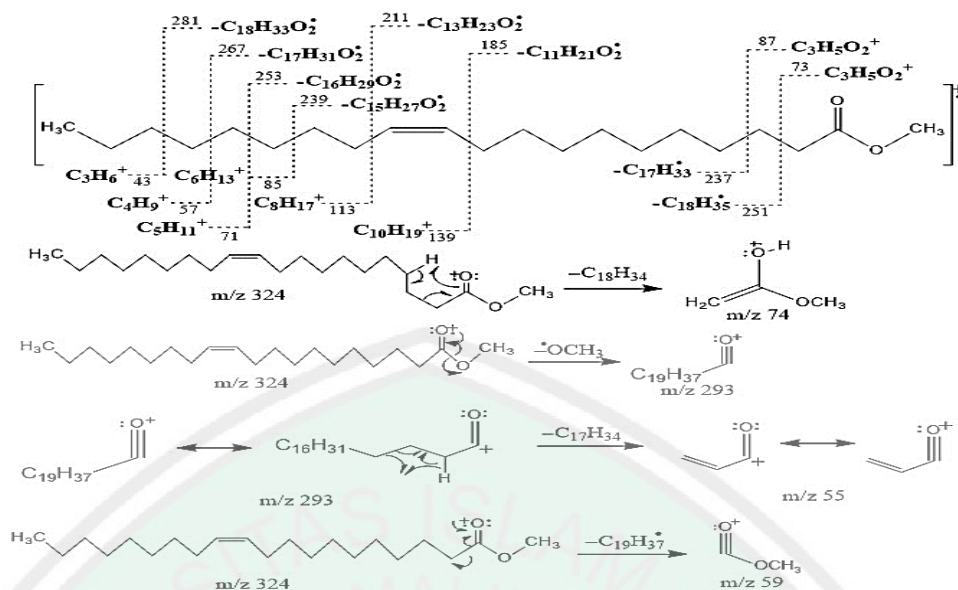
Gambar 4.16 Perkiraan pola fragmentasi metil stearat hasil menggunakan katalis $KOH/\gamma-Al_2O_3$ dengan metode Impregnasi basah.

Puncak ketujuh muncul pada tR 35.641 dengan luas area sebesar 350636 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 39, 41, 55, 69, 83, 97, 123, 138, 152, dan 292 (Gambar 4.17). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil 11-eikosanoat (WILEY7.LIB entry: 234091).



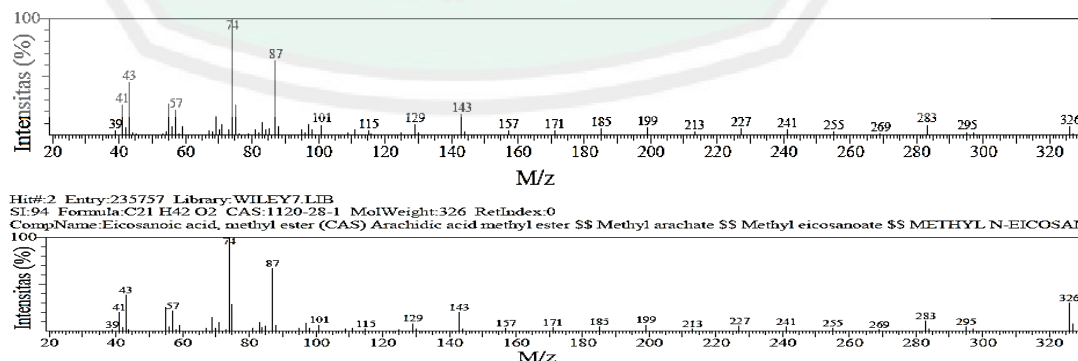
Gambar 4.17 Spektra massa puncak 7 dan standar WILEY7.LIB (234091) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode impregnasi basah (tR 35.641).

Berdasarkan Gambar 4.17 menunjukkan puncak ion molekuler (M⁺) muncul pada m/z 292 akibat terlepasnya radikal OCH₃ dari C₂₁H₄₀O₂ yang merupakan senyawa metil 11-eikosanoat menjadi C₂₀H₃₇O⁺. Munculnya puncak dasar dengan m/z 55 (*base peak*) berasal dari C₄H₇⁺ akibat adanya resonansi dan penataan ulang pada ion asilium C₂₀H₃₇O⁺ m/z 293. Sehingga resonansi inilah yang membuat ion C₄H₇⁺ menjadi sangat stabil. Sedangkan untuk pecahan pada m/z 152, 138, 123, 97, 83, 41 dan 39 merupakan puncak yang berasal dari pemutusan rantai C-C.



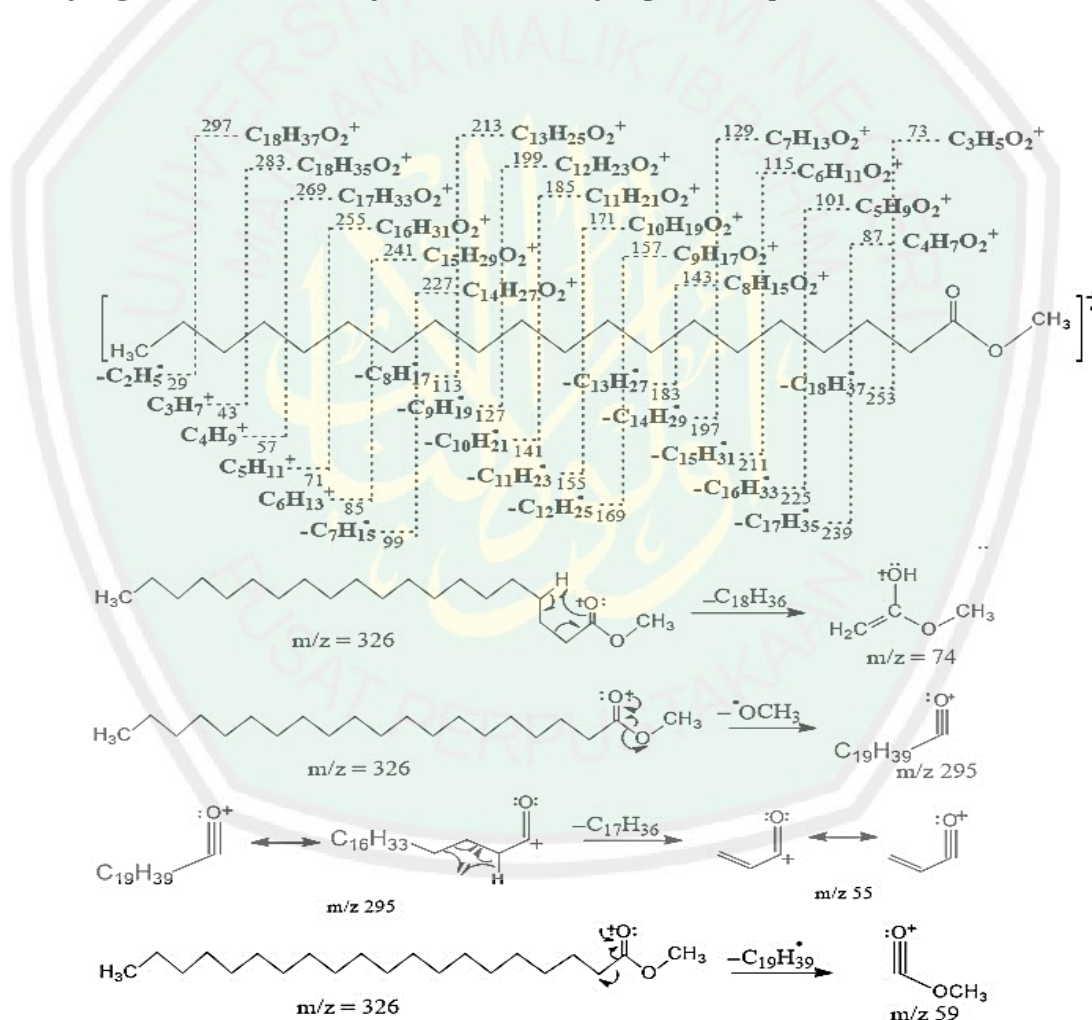
Gambar 4.18 Perkiraan pola fragmentasi metil 11-eikosanoat hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode Impregnasi basah.

Puncak kedelapan muncul pada tR 36.061 dengan luas area sebesar 1118176 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 39, 41, 43, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 213, 227, 241, 255, 269, 283, 295, dan 326 (Gambar 4.19). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil arasat (WILEY7.LIB entry: 235757).



Gambar 4.19 Spektra massa puncak 8 dan standar WILEY7.LIB (235757) hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode impregnasi basah (tR 36.061).

Gambar 4.19 menunjukkan puncak ion molekuler (M^+) muncul pada m/z 326 yang berasal dari adanya senyawa metil arasat (metil eikosanoat) dengan rumus molekul $C_{21}H_{42}O_2$. Puncak dasar (*base peak*) yang muncul pada m/z 74 berasal dari $C_3H_6O_2^+$ yang terbentuk melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus $C_{18}H_{37}^+$. Sedangkan Pecahan pada m/z 43 diperoleh dari $C_3H_7^+$. Sedangkan untuk pecahan pada m/z 283, 269, 255, 241, 213, 199, 185, 157, 143, 129, 115, dan 101 merupakan puncak yang berasal dari pemutusan rantai C-C. Selanjutnya ion yang umum ditemukan yaitu ion asilium yang muncul pada m/z 59 dan 295.



Gambar 4.20 Perkiraan pola fragmentasi metil arasat hasil menggunakan katalis $KOH/\gamma-Al_2O_3$ dengan metode Impregnasi basah.

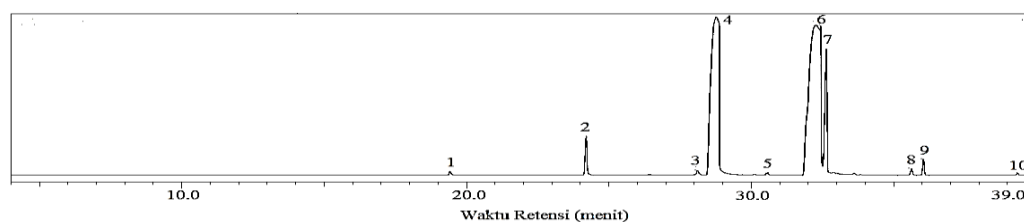
Hasil analisis menggunakan GC-MS pada produk transesterifikasi menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ metode impregnasi basah menunjukkan adanya 8 senyawa yang berhasil dipisahkan. Spektra massa dari masing-masing komponen mengkonfirmasi bahwa kedelapan komponen merupakan senyawa metil ester. Berdasarkan perhitungan luas area juga telah didapat kadar dari masing-masing komponen yang disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil GC produk reaksi menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ metode impregnasi basah.

No. Peak	Waktu Retensi (Menit)	Jenis Metil Ester	Kadar (%)
1	24.196	Metil Miristat	1.37
2	28.115	Metil Palmitoleat	0.20
3	28.671	Metil Palmitat	52.39
4	31.973	Metil Linoleat	4.15
5	32.178	Metil Oleat	34.44
6	32.495	Metil Stearat	6.97
7	35.641	Metil 11-Eikosanoat	0.11
8	36.061	Metil Arasat	0.37

4.3.2 Analisis GC-MS Produk Hasil Reaksi Transesterifikasi dengan Katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Metode Hidrotermal

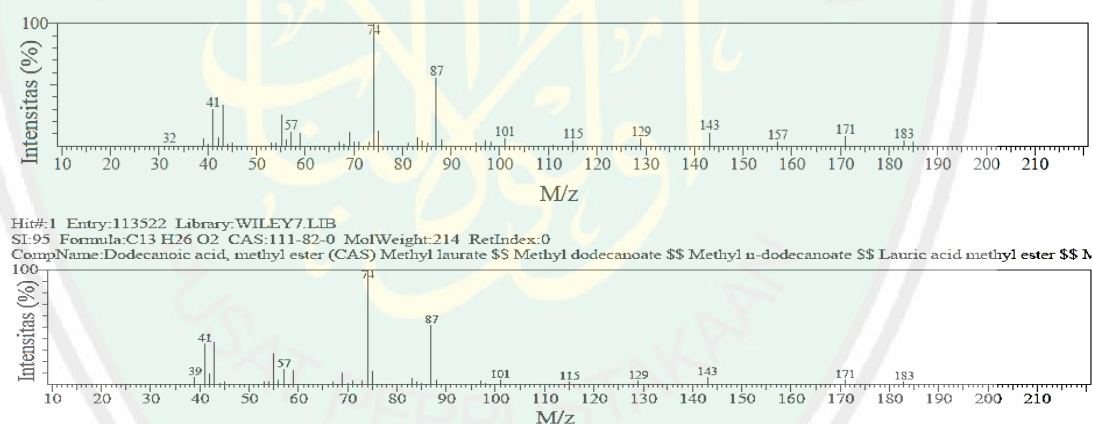
Analisis minyak kelapa sawit yang di transesterifikasi dengan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ metode hidrotermal menggunakan GC-MS menunjukkan adanya 10 puncak yang muncul pada kromatogram (Gambar 4.21).



Gambar 4.21 Kromatogram produk reaksi transesterifikasi menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ metode hidrotermal.

Berdasarkan kromatogram GC (Gambar 4.21) 10 puncak yang muncul menandakan adanya 10 komponen yang berhasil dipisahkan pada produk hasil reaksi transesterifikasi. Masing-masing puncak memiliki waktu retensi yang menunjukkan waktu munculnya komponen dan luas area yang menunjukkan kadar tiap komponennya. Hasil spektra massa dari setiap puncak memiliki pola fragmentasi yang berbeda-beda yang merupakan ciri khas jenis metil esternya.

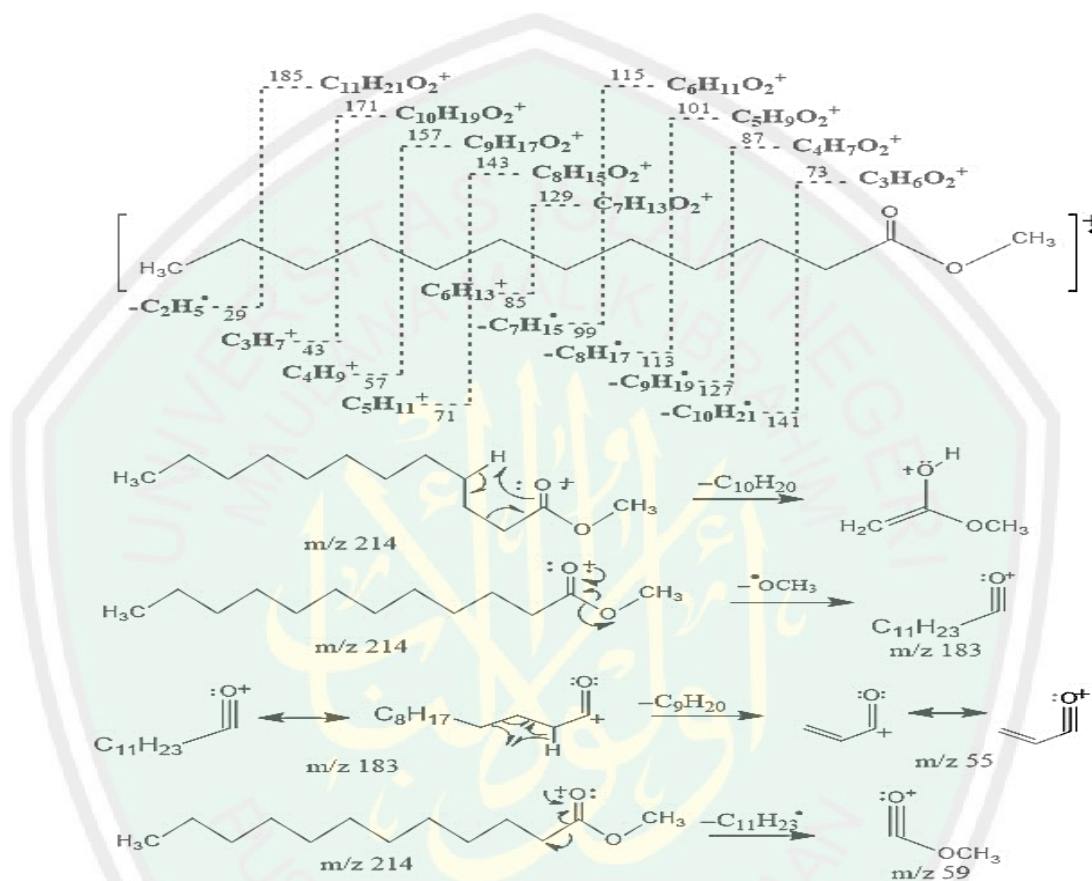
Pola spektra massa (Gambar 4.21) puncak pertama yang muncul pada tR 19.408 dan luas area sebesar 901736 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 32, 41, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, dan 183. Perbandingan spektra dengan standar WILEY7.LIB Library memiliki kesesuaian dengan standar metil laurat (WILEY7.LIB entry: 113522).



Gambar 4.22 Spektra massa puncak 1 dan standar WILEY7.LIB (113522) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode hidrotermal (tR 19.408).

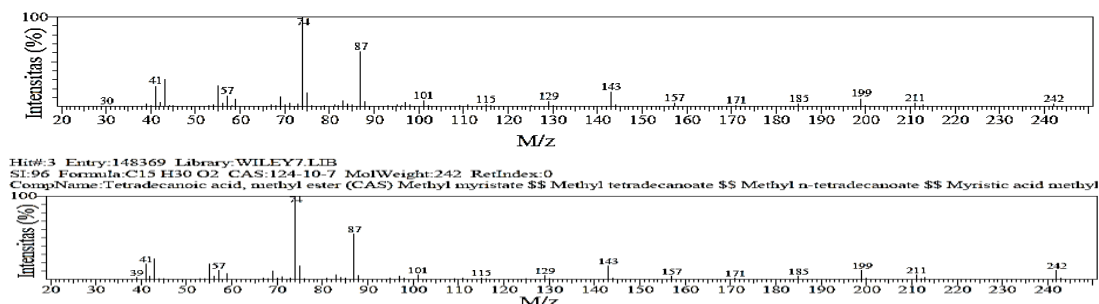
Munculnya ion molekuler (M^+) m/z 183 berasal dari $C_{11}H_{21}O_2^+$ akibat terlepasnya gugus $C_2H_5^+$ dari senyawa metil laurat (metil dodekanoat) dengan rumus molekul $C_{13}H_{26}O_2^+$. Puncak dengan m/z 74 muncul kuat sebagai puncak dasar (*base peak*) berasal dari terbentuknya $C_3H_6O_2^+$ melalui penataan ulang Mc

Lafferty akibat terlepasnya gugus $C_{12}H_{24}^+$. Sedangkan puncak umum lainnya ditemukan pada m/z 59 dan 183 yang berasal dari ion asilium. Sedangkan puncak dengan m/z 43, 57, 101, 115, 129, 143, 157, dan 171 berasal puncak yang muncul akibat pemutusan ikatan C-C.



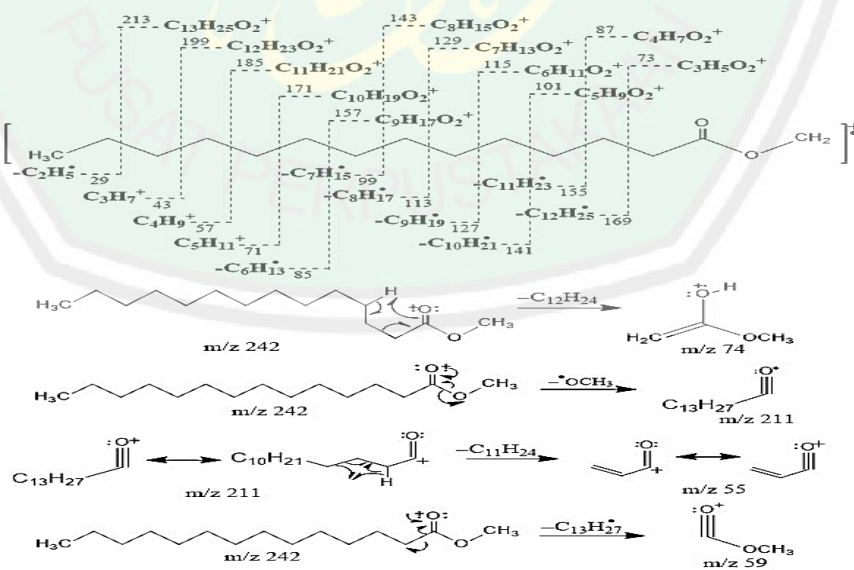
Gambar 4.23 Perkiraan pola fragmentasi metil laurat hasil KOH/ γ -Al₂O₃ menggunakan katalis dengan metode hidrotermal.

Pola spektra massa (Gambar 4.24) puncak kedua yang muncul pada t_R 24.203 dan luas area sebesar 20474505 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 32, 41, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 211, dan 242. Perbandingan spektra dengan standar WILEY7.LIB Library memiliki kesesuaian dengan standar metil miristat (WILEY7.LIB entry: 148369).



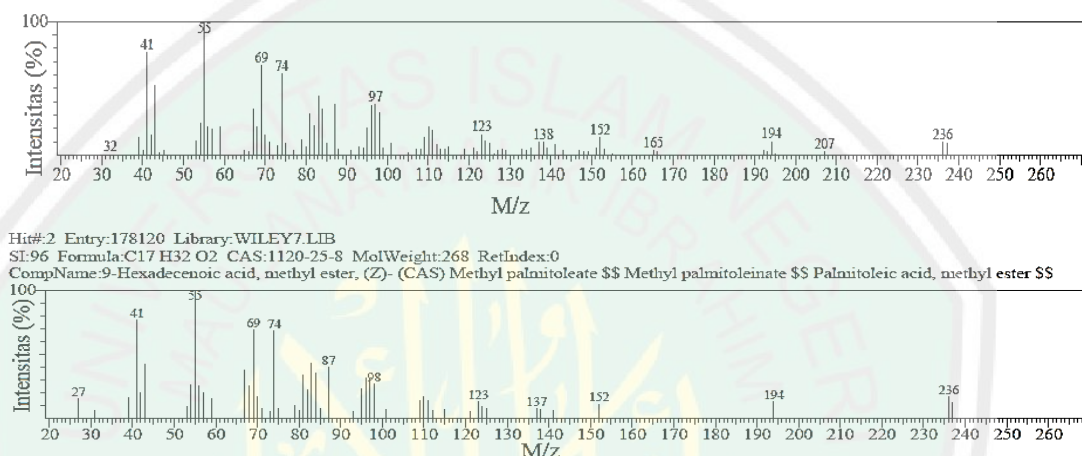
Gambar 4.24 Spektra massa puncak 2 dan standar WILEY7.LIB (148369) hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode hidrotermal (tr 24.203).

Munculnya ion molekuler (M^+) m/z 242 berasal dari senyawa metil miristat (metil tetradekanoat) dengan rumus molekul $\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2^+$. Puncak dengan m/z 74 muncul kuat sebagai puncak dasar (*base peak*) berasal dari terbentuknya $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2^+$ melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus $\text{C}_{12}\text{H}_{24}^+$. Puncak-puncak dengan m/z 30, 43, 57, 69, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, dan 211 merupakan deret $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ dan $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{O}_2$ yang dihasilkan dari pemutusan ikatan C-C.



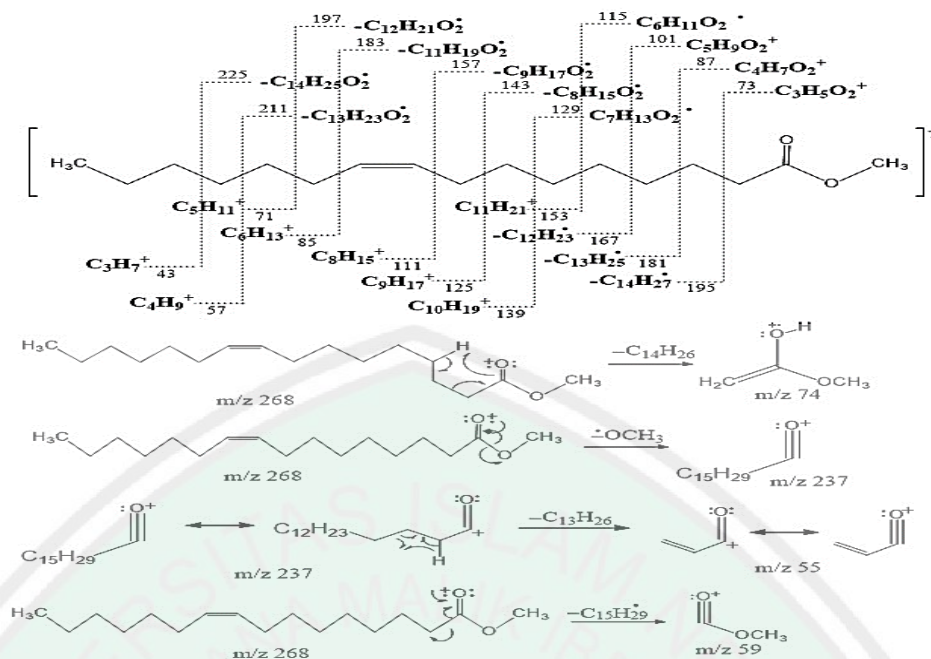
Gambar 4.25 Perkiraan pola fragmentasi metil miristat hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode hidrotermal.

Puncak ketiga muncul pada tR 28.114 dengan luas area sebesar 3142693 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 32, 41, 55, 69, 74, 97, 123, 138, 152, 165, 194, 207, dan 236 (Gambar 4.26). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil palmitoleat (WILEY7.LIB entry: 178120).



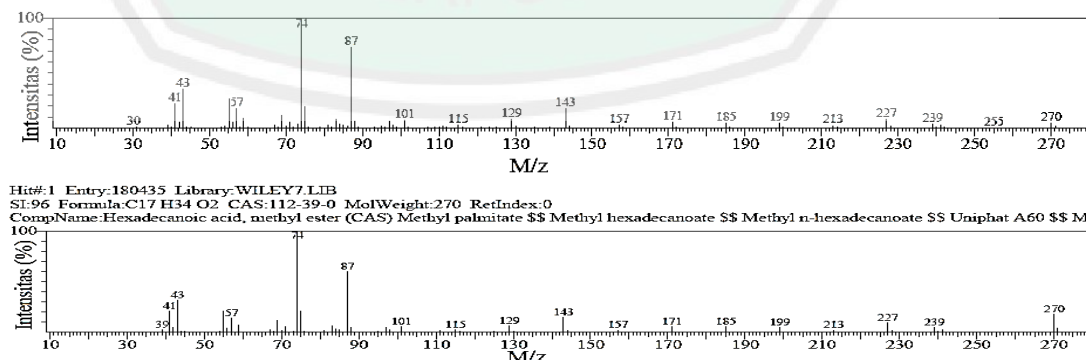
Gambar 4.26 Spektra massa puncak 3 dan standar WILEY7.LIB (178120) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode hidrotermal (tR 28.114).

Berdasarkan Gambar 4.26 menunjukkan ion molekular (M^+) dengan m/z 236 berasal dari senyawa metil palmitoleat (metil 9-hexadekanoat) dengan rumus molekul C₁₇H₃₂O₂ yang telah kehilangan gugus CH₃O⁺ menjadi C₁₆H₂₉O⁺. Puncak dengan m/z 55 (*base peak*) berasal dari C₄H₇⁺ yang diperoleh dengan adanya resonansi pada ion asilium dan penataan ulang pada ion C₁₆H₂₉O⁺ m/z 237. Sedangkan untuk pecahan pada m/z 207, 194, 165, 152, 138, 123, 97, 74, 69, dan 41 merupakan puncak yang berasal dari pemutusan rantai C-C.



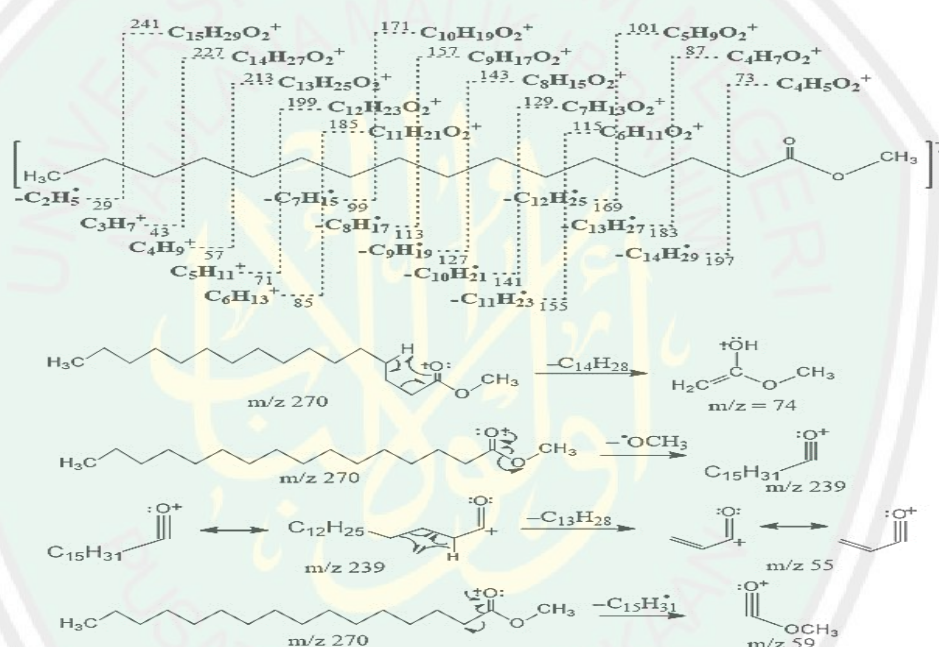
Gambar 4.27 Perkiraan pola fragmentasi metil palmitoleat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode hidrotermal.

Puncak keempat muncul pada tR 28.759 dengan luas area sebesar 389383886 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 30, 41, 43, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 213, 227, 239, 255, dan 270 (Gambar 4.28). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil palmitat (WILEY7.LIB entry: 180435).



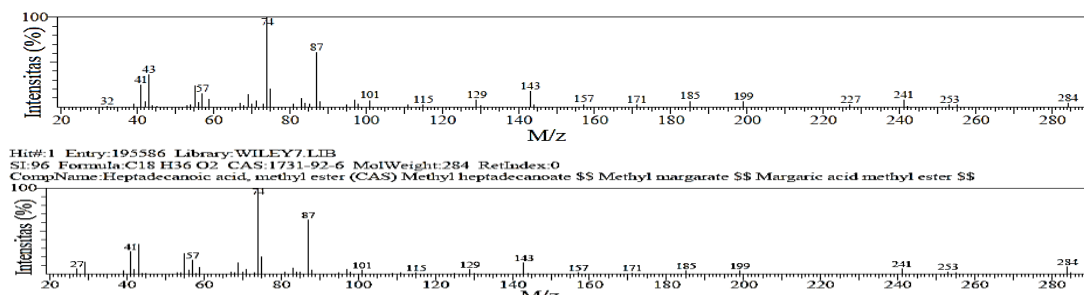
Gambar 4.28 Spektra massa puncak 4 dan standar WILEY7.LIB (180435) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode hidrotermal (tR 28.759).

Ion molekular (M^+) m/z 270 berasal dari senyawa metil palmitat (metil hexadekanoat) dengan rumus molekul $C_{17}H_{34}O_2$. Puncak dengan m/z 74 (*base peak*) berasal dari terbentuknya $C_3H_6O_2^+$ melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus $C_{14}H_{28}^+$. Puncak-puncak dengan m/z 255, 239, 227, 213, 199, 185, 171, 157, 143, 129, 115, 101, 87, 57, 43, 41 dan 30 merupakan puncak yang berasal dari pemutusan ikatan C-C. Kemudian, ion asilium juga muncul pada m/z 59 dan 239.



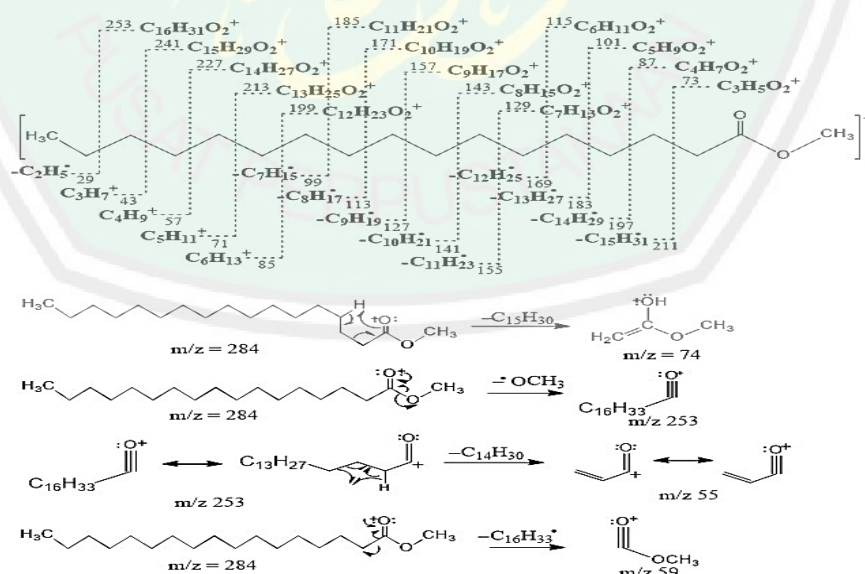
Gambar 4.29 Perkiraan pola fragmentasi metil palmitat hasil menggunakan katalis $KOH/\gamma-Al_2O_3$ dengan metode hidrotermal.

Puncak kelima muncul pada tR 30.550 dengan luas area sebesar 1688362 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 32, 41, 43, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 227, 241, 253, dan 284 (Gambar 4.30). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB Library menunjukkan kesesuaian dengan standar metil margarat (WILEY7.LIB entry: 195586).



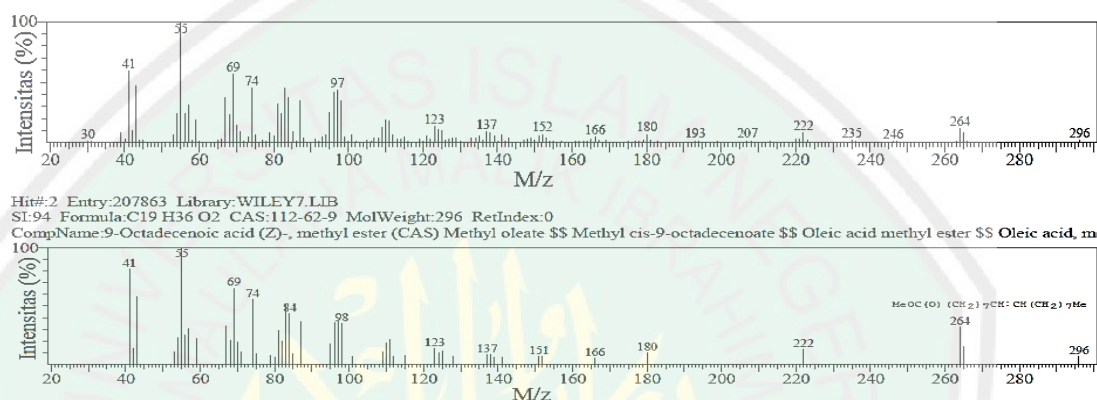
Gambar 4.30 Spektra massa puncak 5 dan standar WILEY7.LIB (195586) hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode hidrotermal (tR 30.550).

Ion molekular (M^+) m/z 284 berasal dari senyawa metil margarat (metil heptadekanoat) dengan rumus molekul $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$. Puncak dengan m/z 74 (*base peak*) berasal dari terbentuknya $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2^+$ melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus $\text{C}_{15}\text{H}_{30}^+$. Puncak yang relatif tinggi juga muncul dengan m/z 87 berasal dari $\text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2^+$ akibat lepasnya gugus $\text{C}_{14}\text{H}_{29}^+$. Puncak-puncak dengan m/z 253, 241, 227, 199, 185, 171, 157, 143, 129, 115, 101, 57, 43, 41 dan 32 merupakan puncak yang berasal dari pemutusan C-C.



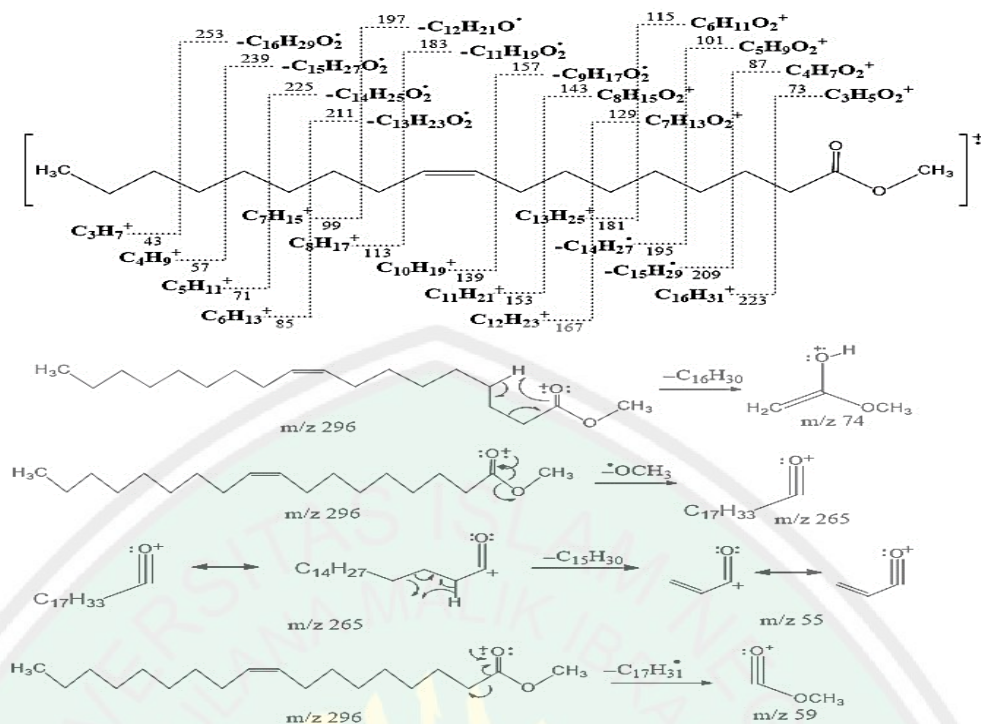
Gambar 4.31 Perkiraan pola fragmentasi metil margarat hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode hidrotermal.

Puncak keenam muncul pada tR 32.298 dengan luas area sebesar 519753690 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 30, 41, 55, 69, 74, 84, 97, 123, 137, 152, 166, 180, 193, 207, 222, 235, 246, 264, dan 296 (Gambar 4.32). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil oleat (WILEY7.LIB entry: 207863).



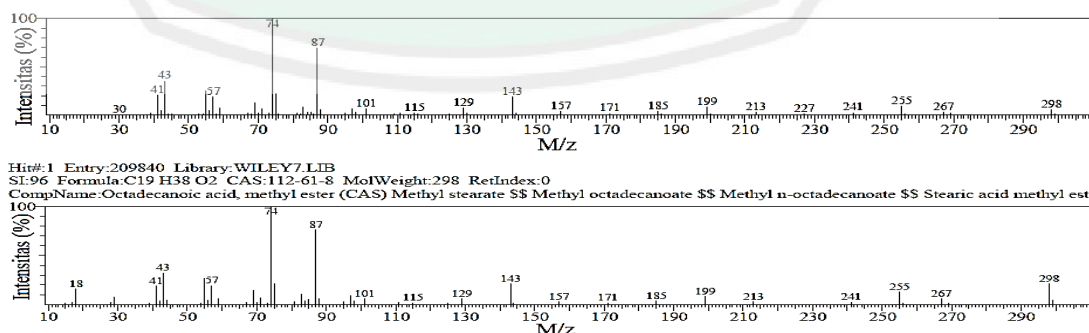
Gambar 4.32 Spektra massa puncak 6 dan standar WILEY7.LIB (207863) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode hidrotermal (tR 32.298).

Gambar 4.32 menunjukkan puncak ion molekuler (M⁺) muncul pada m/z 296 yang berasal dari adanya senyawa metil oleat (metil 9-oktadekanoat) dengan rumus molekul C₁₉H₃₆O₂. Puncak dasar (*base peak*) muncul pada m/z 55 yang berasal dari C₄H₇⁺ akibat adanya resonansi pada ion asilium dan penataan ulang pada ion C₁₈H₃₃O₂⁺ sehingga membentuk ion C₄H₇⁺ dengan stabilitas yang tinggi. Pecahan lain dengan m/z 265 diperoleh dari C₁₈H₃₅O⁺ akibat terlepasnya radikal CH₃O pada ion molekuler. Sedangkan pecahan lainnya berasal dari pemutusan ikatan C-C.



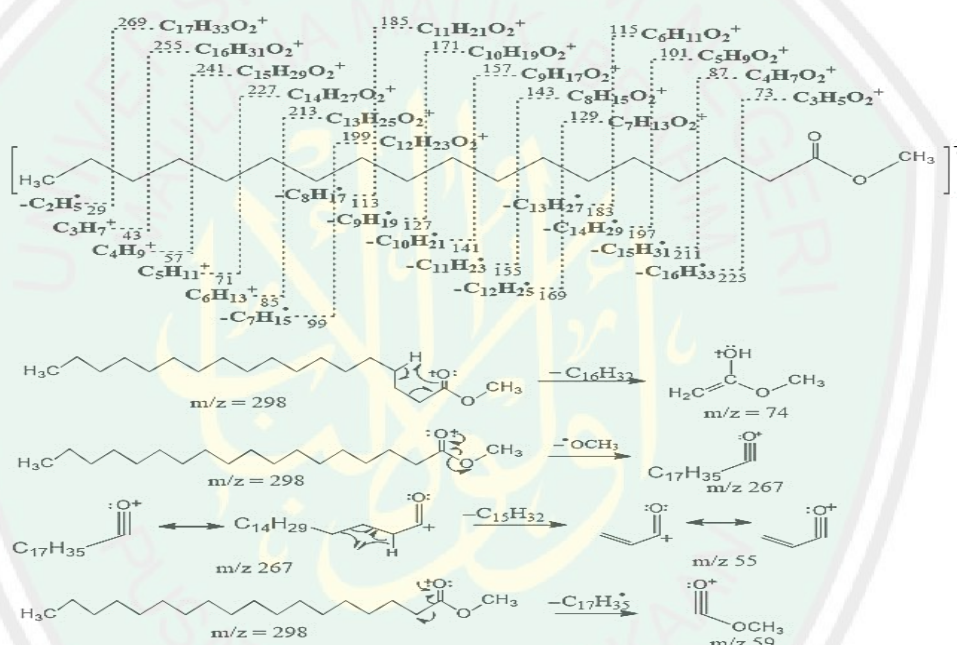
Gambar 4.33 Perkiraan pola fragmentasi metil oleat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode hidrotermal.

Puncak ketujuh muncul pada tR 32.643 dengan luas area sebesar 80862786 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 32, 41, 43, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 213, 227, 241, 255, 267, dan 298 (Gambar 4.34). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil stearat (WILEY7.LIB entry: 209840).



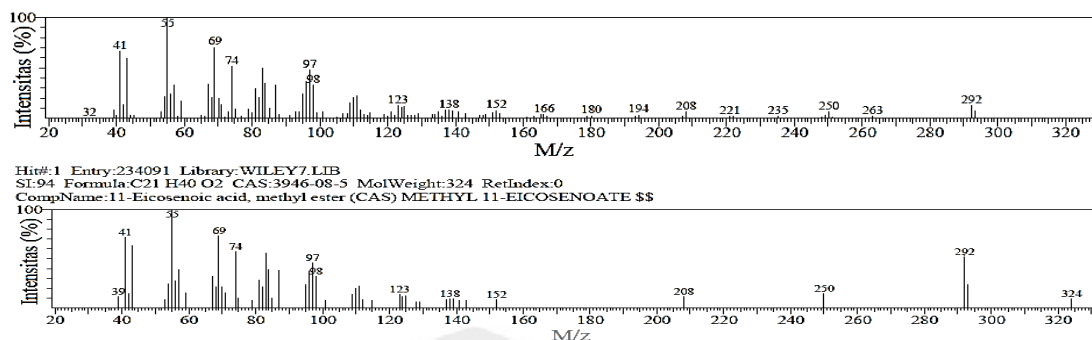
Gambar 4.34 Spektra massa puncak 7 dan standar WILEY7.LIB (209840) hasil KOH/ γ -Al₂O₃ menggunakan katalis dengan metode hidrotermal (tR 32. 643).

Gambar 4.34 menunjukkan puncak ion molekuler (M^+) muncul pada m/z 298 yang berasal dari adanya senyawa metil stearat (metil oktadekanoat) dengan rumus molekul $C_{19}H_{38}O_2$. Munculnya puncak dasar (*base peak*) pada m/z 74 berasal dari $C_3H_6O_2^+$ yang terbentuk melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus $C_{16}H_{33}^+$. Pecahan pada m/z 43 diperoleh dari $C_3H_7^+$. Sedangkan untuk pecahan pada m/z 267, 255, 241, 213, 199, 185, 157, 143, 129, 115, dan 101 merupakan puncak yang berasal dari pemutusan ikatan C-C.



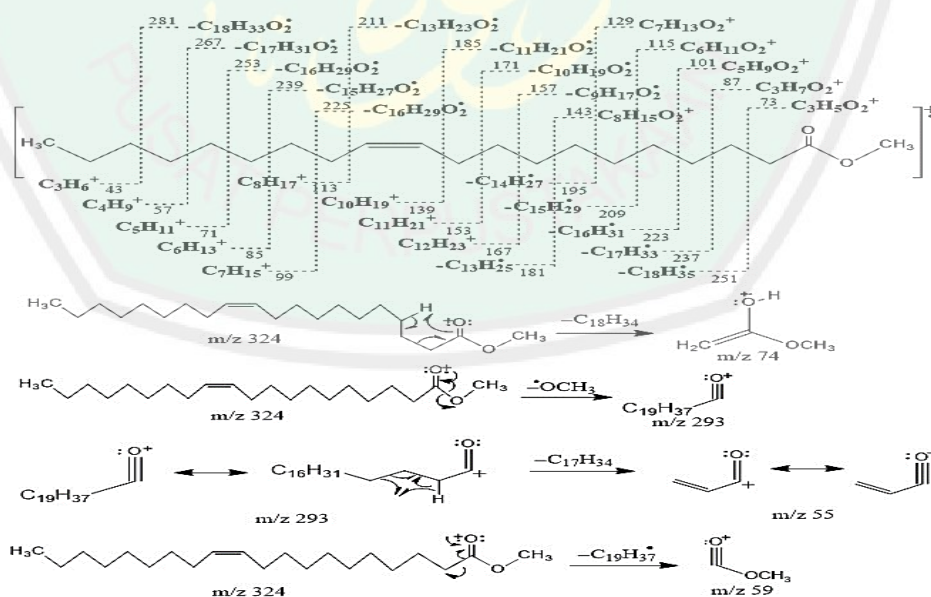
Gambar 4.35 Perkiraan pola fragmentasi metil stearat hasil menggunakan katalis $KOH/\gamma-Al_2O_3$ dengan metode hidrotermal.

Puncak kedelapan muncul pada tR 35.629 dengan luas area sebesar 3551899 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 32, 41, 55, 69, 74, 83, 97, 98, 123, 138, 152, 166, 180, 194, 208, 221, 235, 250, 263 dan 292 (Gambar 4.36). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB Library menunjukkan kesesuaian dengan standar metil 11-eikosanoat (WILEY7.LIB entry: 234091).



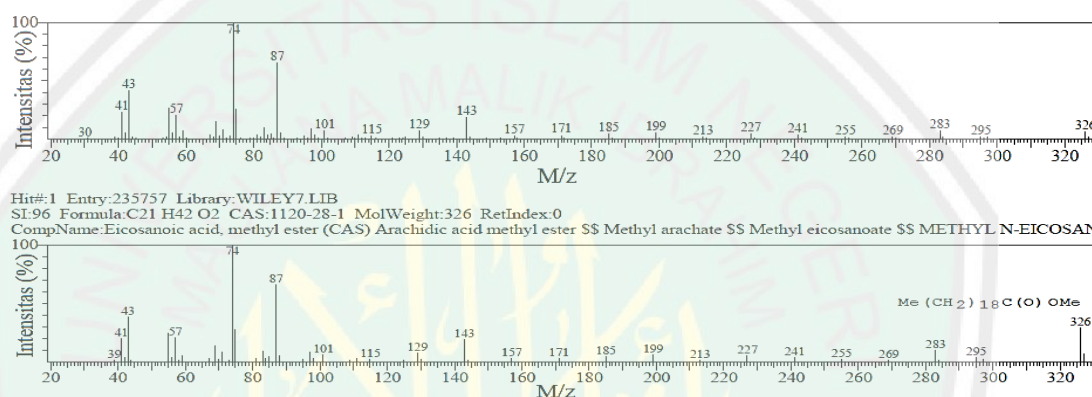
Gambar 4.36 Spektre massa puncak 8 dan standar WILEY7.LIB (234091) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode hidrotermal (tR 35.629).

Berdasarkan Gambar 4.36 menunjukkan puncak ion molekuler (M⁺) muncul pada m/z 292 akibat terputusnya gugus CH₃O⁺ dari C₂₁H₄₀O₂ yang merupakan senyawa metil 11-eikosanoat menjadi C₂₀H₃₆O⁺. Munculnya puncak dasar dengan m/z 55 (*base peak*) berasal dari C₄H₇⁺ akibat terlepasnya gugus C₁₆H₃₁O⁺ dari ion molekuler m/z 292. Pecahan pada m/z 152, 138, 123, 97, 83, 41 dan 39 merupakan puncak yang berasal dari pemutusan rantai C-C.



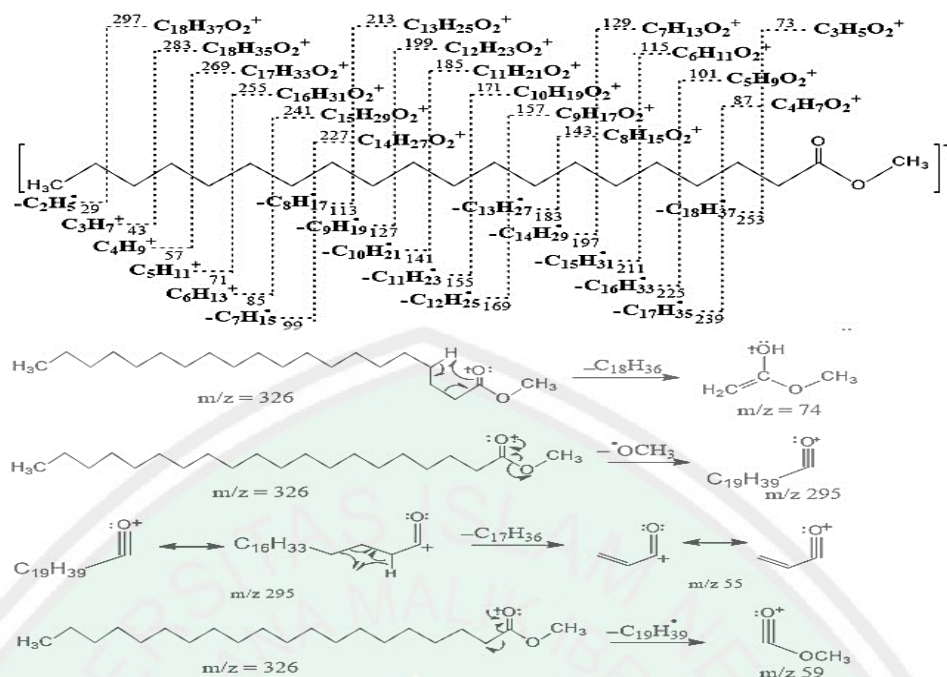
Gambar 4.37 Perkiraan pola fragmentasi metil 11-eikosanoat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode hidrotermal.

Puncak kesembilan muncul pada t_R 36.505 dengan luas area sebesar 8485973 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 30, 41, 43, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 213, 227, 241, 255, 269, 283, 295, dan 326 (Gambar 4.38). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil arasat (WILEY7.LIB entry: 235757).



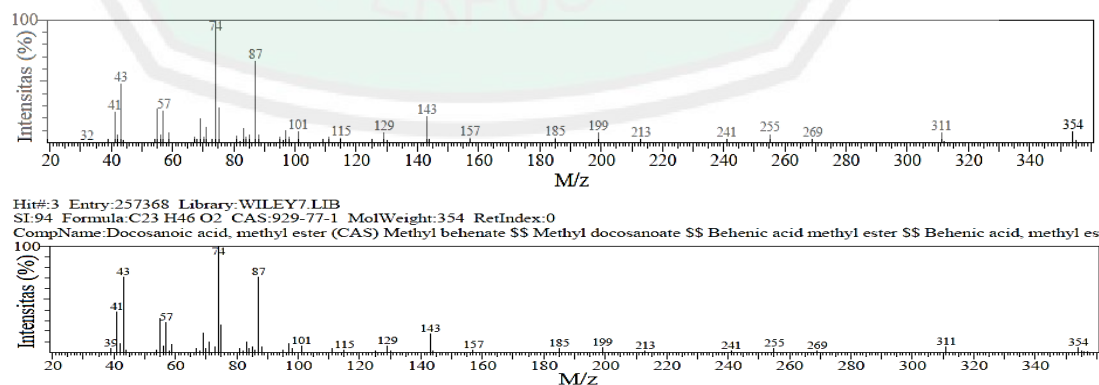
Gambar 4.38 Spektra massa puncak 9 dan standar WILEY7.LIB (235757) hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode hidrotermal (t_R 36.505).

Gambar 4.38 menunjukkan puncak ion molekuler (M^+) muncul pada m/z 326 yang berasal dari adanya senyawa metil arasat (metil eikosanoat) dengan rumus molekul $\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$. Puncak dasar (*base peak*) yang muncul pada m/z 74 berasal dari $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2^+$ yang terbentuk melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus $\text{C}_{18}\text{H}_{37}^+$. Kemudian, Puncak yang relatif tinggi juga muncul dengan m/z 87 berasal dari $\text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2^+$ akibat lepasnya gugus $\text{C}_{17}\text{H}_{35}^+$. Sedangkan untuk pecahan pada m/z 295, 283, 269, 255, 241, 227, 213, 199, 185, 171, 157, 143, 129, 115, 101, 57, 43, 41, dan 30 merupakan deret $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ dan $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{O}_2$ yang berasal dari pemutusan rantai C-C.



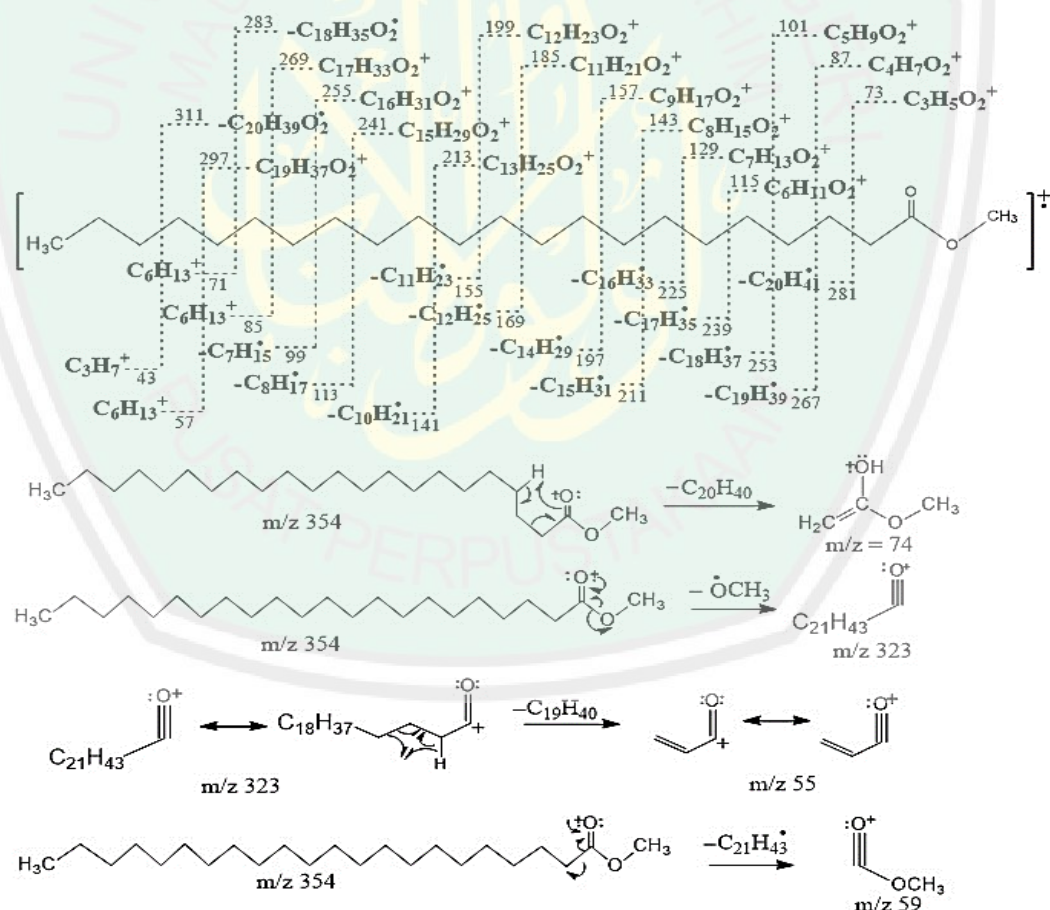
Gambar 4.39 Perkiraan pola fragmentasi metil araset hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode hidrotermal.

Puncak kesepuluh muncul pada tR 39.352 dengan luas area sebesar 1025926 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 32 , 41, 43, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 185, 199, 213, 241, 255, 269, 311, dan 354 (Gambar 4.40). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil behenat (WILEY7.LIB entry: 257368).



Gambar 4.40 Spektra massa puncak 9 dan standar WILEY7.LIB (257368) hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode hidrotermal (tR 36.505).

Gambar 4.40 menunjukkan puncak ion molekuler (M^+) muncul pada m/z 354 yang berasal dari adanya senyawa metil behenat (metil dokosanoat) dengan rumus molekul $C_{23}H_{46}O_2$. Puncak dasar (*base peak*) yang muncul pada m/z 74 berasal dari $C_3H_6O_2^+$ yang terbentuk melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus $C_{20}H_{41}^+$. Kemudian, Puncak yang relatif tinggi juga muncul dengan m/z 87 berasal dari $C_4H_7O_2^+$ akibat lepasnya gugus $C_{19}H_{39}^+$. Sedangkan untuk pecahan pada m/z 311, 269, 255, 241, 213, 199, 185, 157, 143, 129, 115, 101, 57, 43, 41, dan 32 merupakan deret C_nH_{2n+1} dan $C_nH_{2n+1}O_2$ yang berasal dari pemutusan rantai C-C.



Gambar 4.41 Perkiraan pola fragmentasi metil behenat hasil menggunakan katalis $KOH/\gamma-Al_2O_3$ dengan metode hidrotermal.

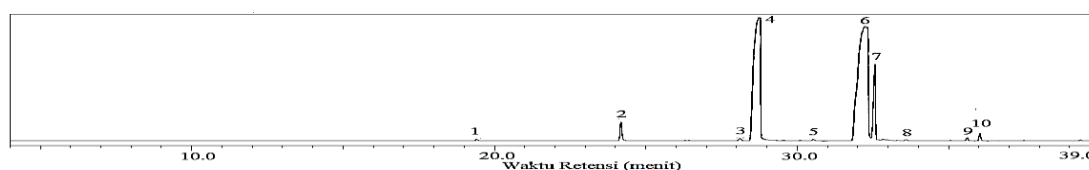
Hasil analisis menggunakan GC-MS pada produk transesterifikasi menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ metode hidrotermal menunjukkan adanya 10 senyawa yang berhasil dipisahkan. Spektra massa dari masing-masing komponen mengkonfirmasi bahwa kesepuluh komponen merupakan senyawa metil ester. Berdasarkan perhitungan luas area juga telah didapat kadar dari masing-masing komponen yang disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil GC produk reaksi menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ metode hidrotermal.

No. Peak	Waktu Retensi (Menit)	Jenis Metil Ester	Kadar (%)
1	19.408	Metil Laurat	0.08
2	24.203	Metil Miristat	1.99
3	28.114	Metil Palmitoleat	0.31
4	28.759	Metil Palmitat	37.83
5	30.550	Metil Margarat	0.16
6	32.298	Metil Oleat	50.50
7	32.643	Metil Stearat	7.86
8	35.629	Metil 11-Eikosanoat	0.35
9	36.050	Metil Arasat	0.82
10	39.352	Metil Behenat	0.10

4.3.3 Analisis GC-MS Produk Hasil Reaksi Transesterifikasi dengan Katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Metode Sonikasi

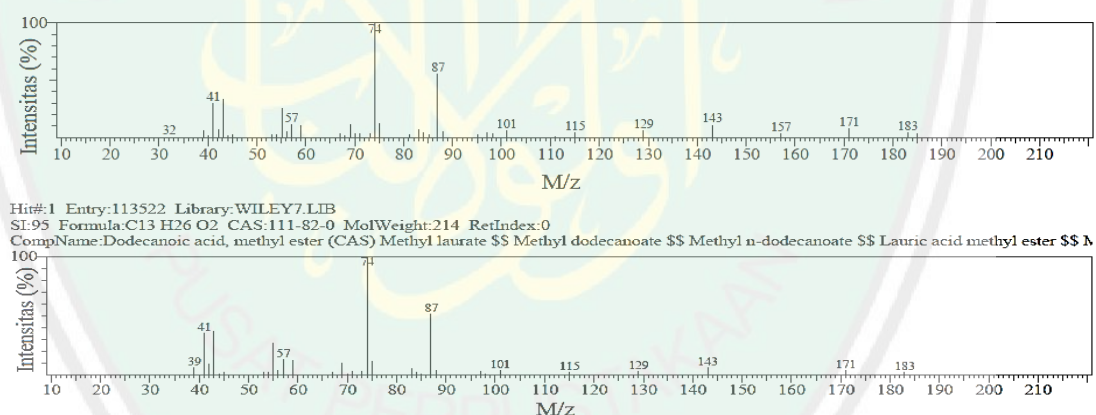
Analisis minyak kelapa sawit yang di transesterifikasi dengan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ metode hidrotermal menggunakan GC-MS menunjukkan adanya 10 puncak yang muncul pada kromatogram (Gambar 4.42).



Gambar 4.42 Kromatogram produk reaksi transesterifikasi menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ metode sonikasi.

Berdasarkan kromatogram GC (Gambar 4.42) 10 puncak yang muncul menandakan adanya 10 komponen yang berhasil dipisahkan pada produk hasil reaksi transesterifikasi. Masing-masing puncak memiliki waktu retensi yang menunjukkan waktu munculnya komponen dan luas area yang menunjukkan kadar tiap komponennya. Hasil spektra massa dari setiap puncak memiliki pola fragmentasi yang berbeda-beda yang merupakan ciri khas jenis metil esternya.

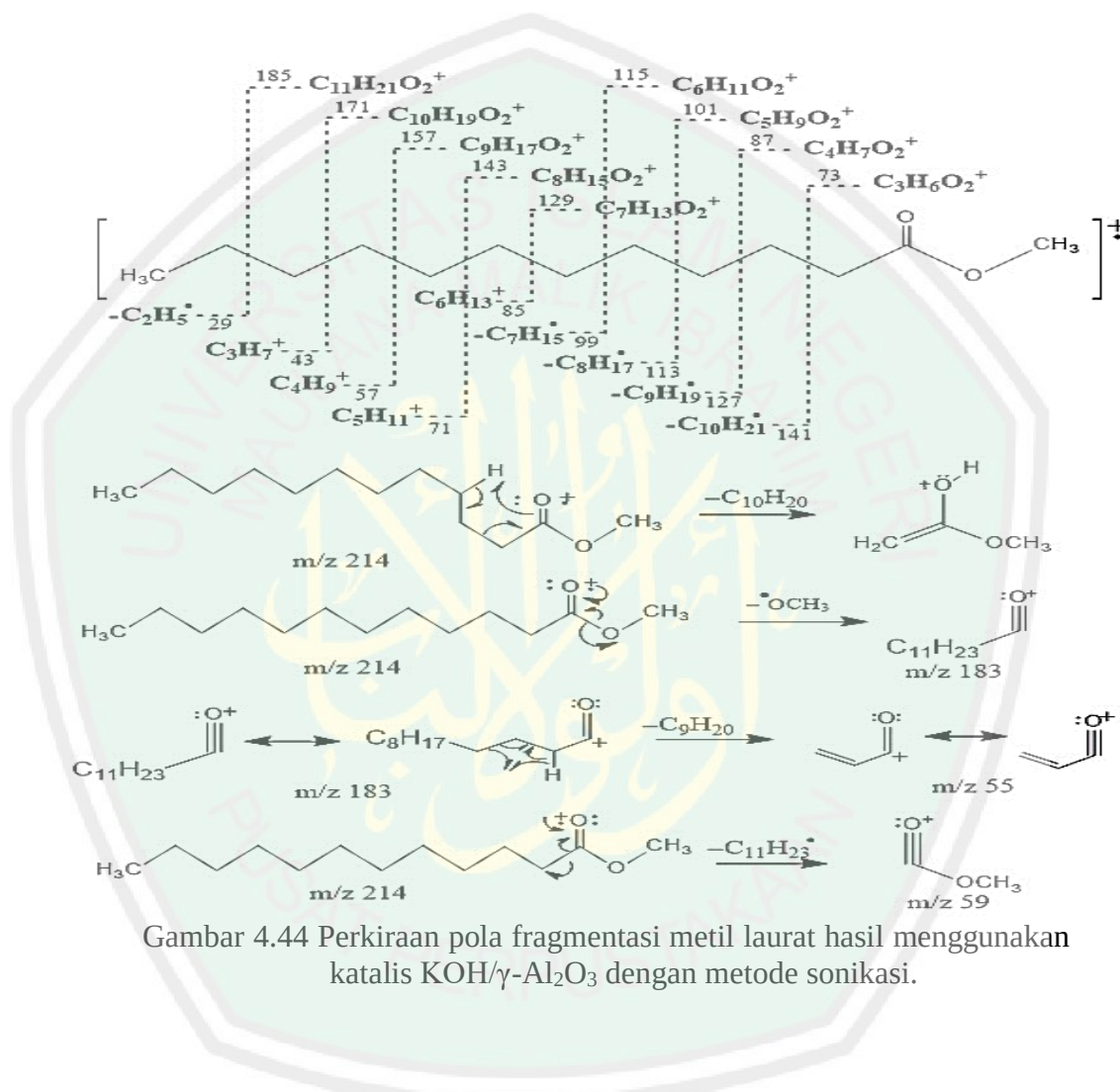
Pola spektra massa (Gambar 4.43) puncak pertama yang muncul pada tR 19.408 dan luas area sebesar 901736 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 32, 41, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, dan 183. Perbandingan spektra dengan standar WILEY7.LIB *Library* memiliki kesesuaian dengan standar metil laurat (WILEY7.LIB entry: 113522).



Gambar 4.43 Spektra massa puncak 1 dan standar WILEY7.LIB (113522) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode sonikasi (tR 19.408).

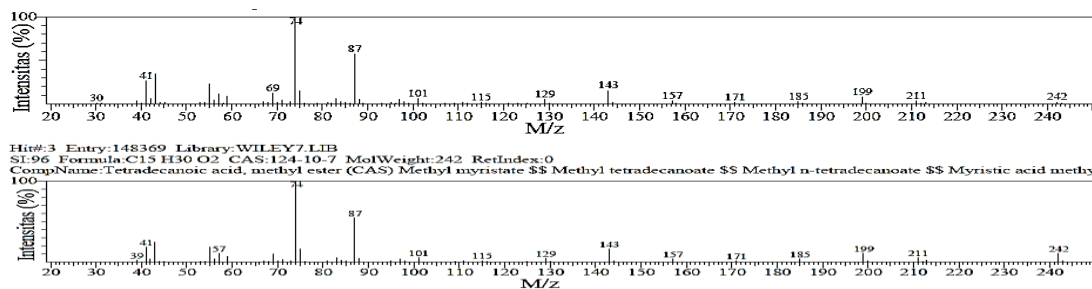
Munculnya ion molekuler (M^+) m/z 183 berasal dari $C_{11}H_{21}O_2^+$ akibat terlepasnya gugus $C_2H_5^+$ dari senyawa metil laurat (metil dodekanoat) dengan rumus molekul $C_{13}H_{26}O_2^+$. Puncak dengan m/z 74 muncul kuat sebagai puncak dasar (*base peak*) berasal dari terbentuknya $C_3H_6O_2^+$ melalui penataan ulang Mc

Lafferty akibat terlepasnya gugus $C_{12}H_{24}^+$. Puncak yang relatif tinggi muncul dengan m/z 87 berasal dari $C_4H_7O_2^+$ akibat lepasnya gugus $C_9H_{19}^+$. Puncak dengan m/z 43, 57, 101, 115, 129, 143, 157, dan 171 berasal dari deret C_nH_{2n+1} dan $C_nH_{2n+1}O_2$ yang dihasilkan dari pemutusan ikatan C-C.



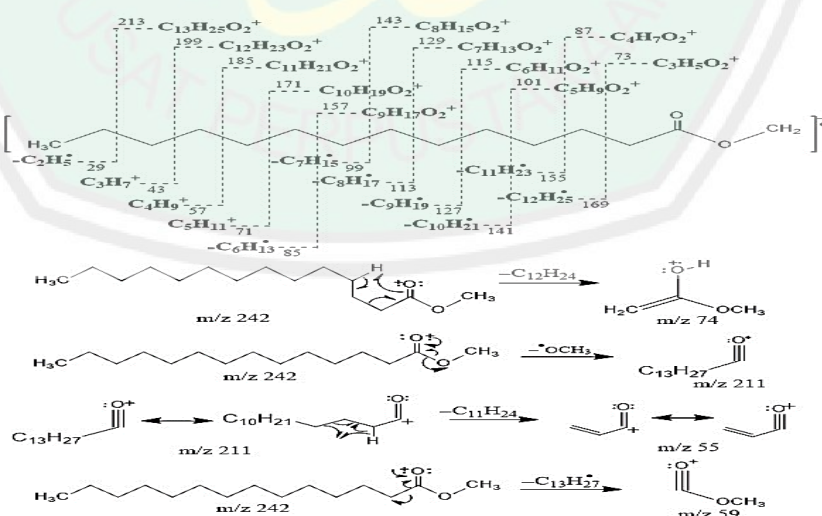
Gambar 4.44 Perkiraan pola fragmentasi metil laurat hasil menggunakan katalis $KOH/\gamma-Al_2O_3$ dengan metode sonikasi.

Pola spektra massa (Gambar 4.45) puncak kedua yang muncul pada t_R 24.180 dan luas area sebesar 12786288 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 32, 41, 57, 69, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 211, dan 242. Perbandingan spektra dengan standar WILEY7.LIB Library memiliki kesesuaian dengan standar metil miristat (WILEY7.LIB entry: 148369).



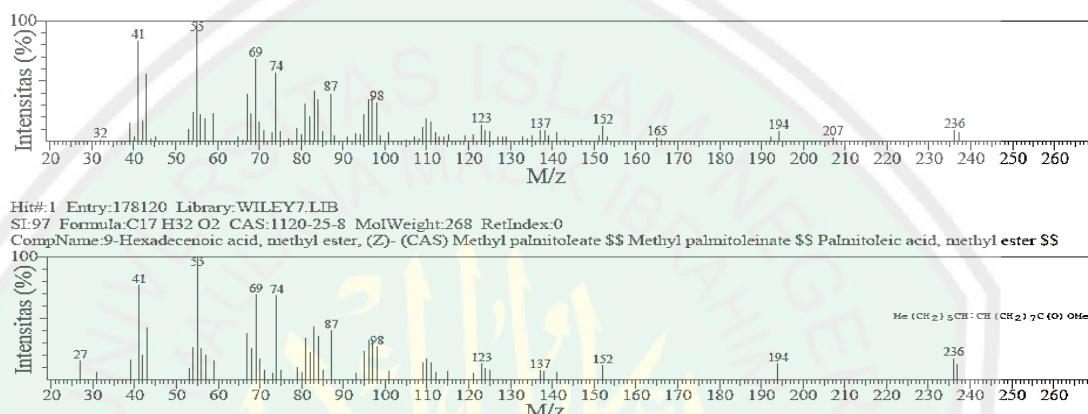
Gambar 4.45 Spektra massa puncak 2 dan standar WILEY7.LIB (148369) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode sonikasi (tR 24.180).

Munculnya ion molekuler (M^+) m/z 242 berasal dari senyawa metil miristat (metil tetradekanoat) dengan rumus molekul C₁₅H₃₀O₂⁺. Puncak dengan m/z 74 muncul kuat sebagai puncak dasar (*base peak*) berasal dari terbentuknya C₃H₆O₂⁺ melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus C₁₂H₂₄⁺. Puncak yang relatif tinggi juga muncul dengan m/z 87 berasal dari C₄H₇O₂⁺ akibat lepasnya gugus C₁₁H₂₃⁺. Puncak-puncak dengan m/z 39, 43, 57, 69, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, dan 211 merupakan puncak yang dihasilkan dari pemutusan ikatan C-C.



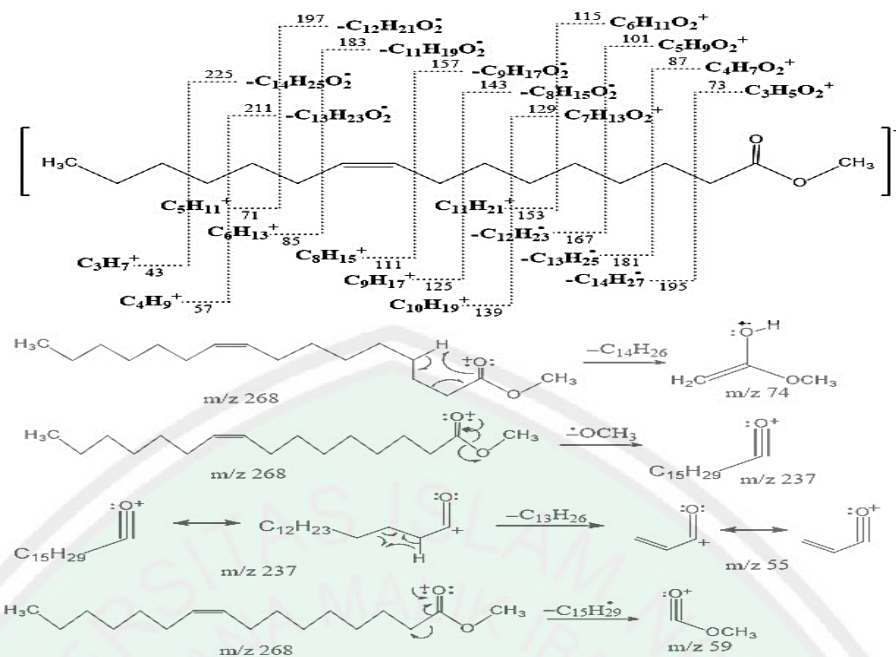
Gambar 4.46 Perkiraan pola fragmentasi metil miristat hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode sonikasi.

Puncak ketiga muncul pada tR 28.107 dengan luas area sebesar 2640599 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 32, 41, 55, 69, 74, 87, 98, 123, 137, 152, 165, 194, 207, dan 236 (Gambar 4.47). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil palmitoleat (WILEY7.LIB entry: 178120).



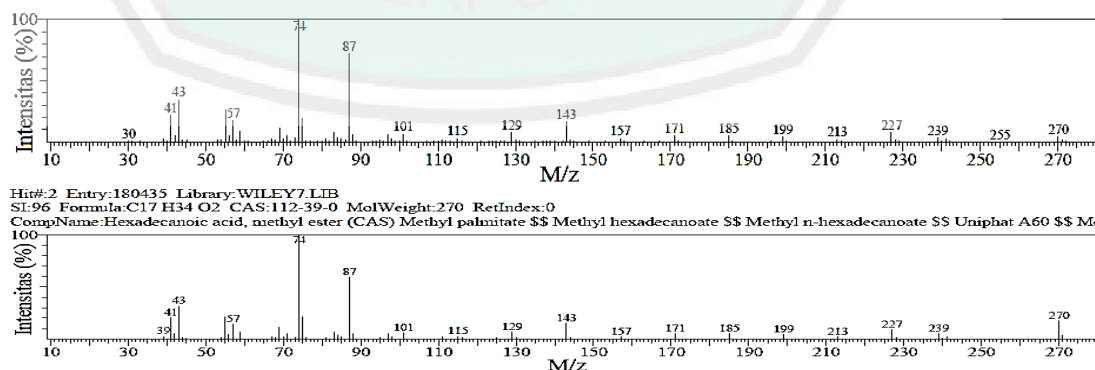
Gambar 4.47 Spektra massa puncak 3 dan standar WILEY7.LIB (178120) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode sonikasi (tR 28.114).

Berdasarkan Gambar 4.47 menunjukkan ion molekular (M^+) dengan m/z 236 berasal dari senyawa metil palmitoleat (metil 9-hexadekanoat) dengan rumus molekul C₁₇H₃₂O₂ yang telah kehilangan gugus CH₃O⁺ menjadi C₁₆H₂₉O⁺. Puncak dengan m/z 55 (*base peak*) berasal dari C₄H₇⁺ yang diperoleh dari lepasnya C₁₂H₂₂O⁺ pada m/z 236. Sedangkan untuk pecahan pada m/z 207, 194, 165, 152, 137, 123, 98, 87, 74, 69, 41, dan 32 merupakan puncak yang berasal dari pemutusan rantai C-C.



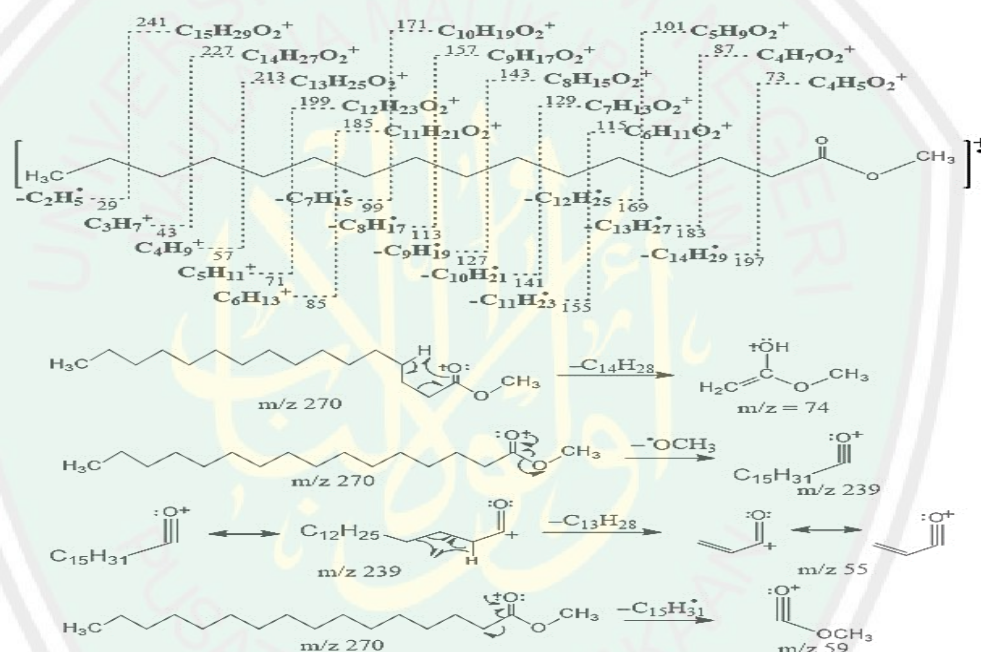
Gambar 4.48 Perkiraan pola fragmentasi metil palmitoleat hasil menggunakan katalis KOH/ γ - Al_2O_3 dengan metode sonikasi.

Puncak keempat muncul pada tR 28.734 dengan luas area sebesar 335460948 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 30, 41, 43, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 213, 227, 239, 255, dan 270 (Gambar 4.49). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil palmitat (WILEY7.LIB entry: 180435).



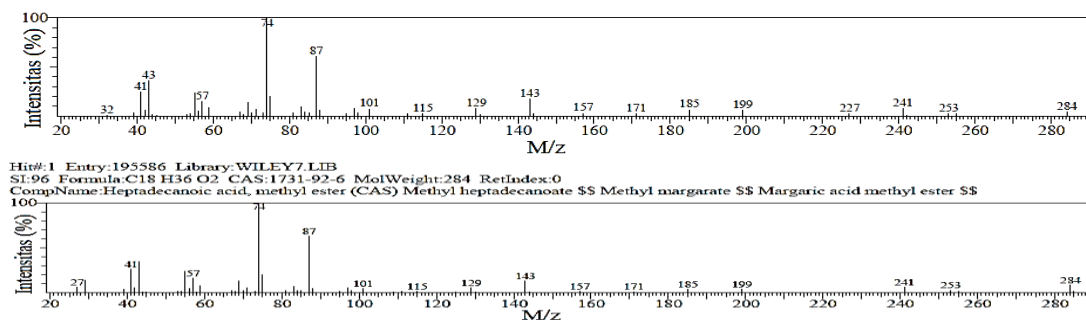
Gambar 4.49 Spektra massa puncak 4 dan standar WILEY7.LIB (180435) hasil menggunakan katalis KOH/ γ - Al_2O_3 dengan metode sonikasi (tR 28.734).

Ion molekular (M^+) m/z 270 berasal dari senyawa metil palmitat (metil hexadekanoat) dengan rumus molekul $C_{17}H_{34}O_2$. Puncak dengan m/z 74 (*base peak*) berasal dari terbentuknya $C_3H_6O_2^+$ melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus $C_{14}H_{28}^+$. Puncak yang relatif tinggi juga muncul dengan m/z 87 berasal dari $C_4H_7O_2^+$ akibat lepasnya gugus $C_{13}H_{27}^+$. Puncak-puncak dengan m/z 255, 239, 227, 213, 199, 185, 171, 157, 143, 129, 115, 101, 57, 43, 41 dan 30 merupakan puncak₂ yang berasal dari pemutusan C-C.



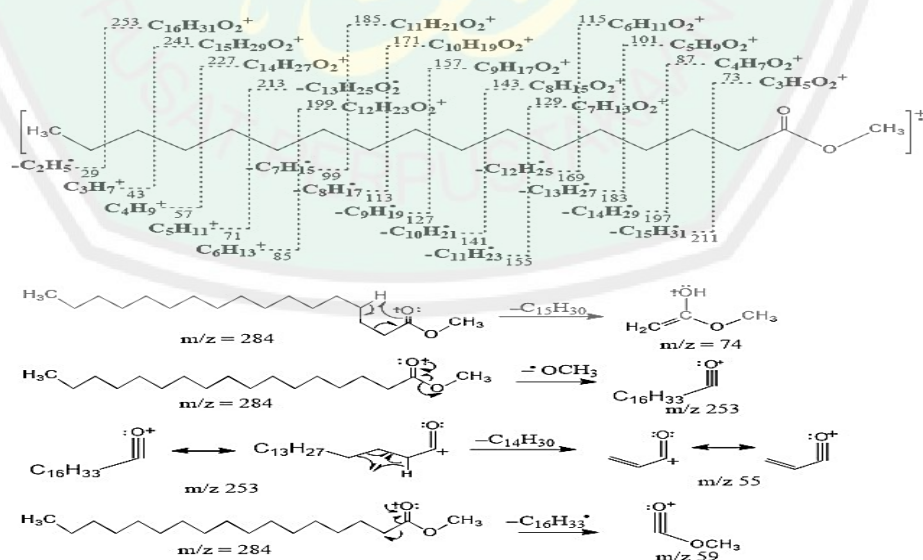
Gambar 4.50 Perkiraan pola fragmentasi metil palmitat hasil menggunakan katalis $KOH/\gamma-Al_2O_3$ dengan metode sonikasi.

Puncak kelima muncul pada tR 30.536 dengan luas area sebesar 1177848 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 32, 41, 43, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 227, 241, 253, dan 284 (Gambar 4.51). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB Library menunjukkan kesesuaian dengan standar metil margarat (WILEY7.LIB entry: 195586).



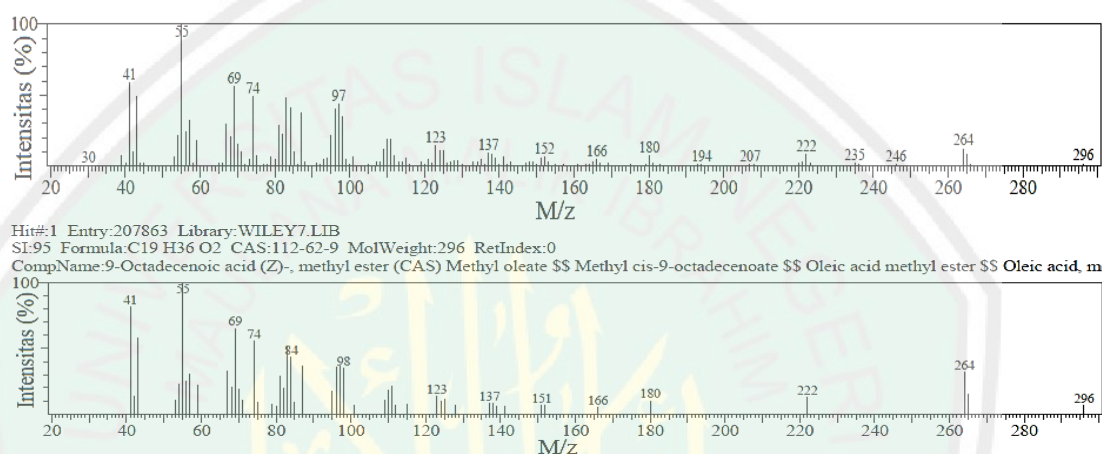
Gambar 4.51 Spektre massa puncak 5 dan standar WILEY7.LIB (195586) hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode sonikasi (tR 30.536).

Ion molekular (M^+) m/z 284 berasal dari senyawa metil margarat (metil heptadekanoat) dengan rumus molekul $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$. Puncak dengan m/z 74 (*base peak*) berasal dari terbentuknya $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2^+$ melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus $\text{C}_{15}\text{H}_{30}^+$. Puncak yang relatif tinggi juga muncul dengan m/z 87 berasal dari $\text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2^+$ akibat lepasnya gugus $\text{C}_{14}\text{H}_{29}^+$. Puncak-puncak dengan m/z 253, 241, 227, 199, 185, 171, 157, 143, 129, 115, 101, 57, 43, 41 dan 32 merupakan puncak yang berasal dari pemutusan ikatan C-C.



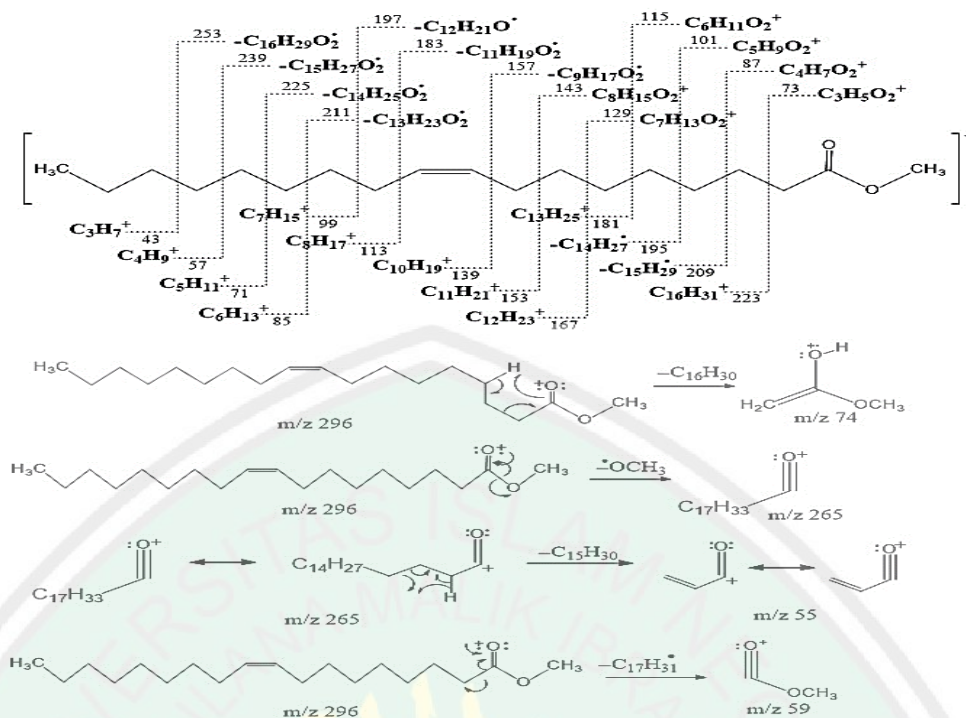
Gambar 4.52 Perkiraan pola fragmentasi metil margarat hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode sonikasi.

Puncak keenam muncul pada tR 32.236 dengan luas area sebesar 455761971 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 30, 41, 55, 69, 74, 97, 123, 137, 152, 166, 180, 194, 207, 222, 235, 246, 264, dan 296 (Gambar 4.53). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil oleat (WILEY7.LIB entry: 207863).



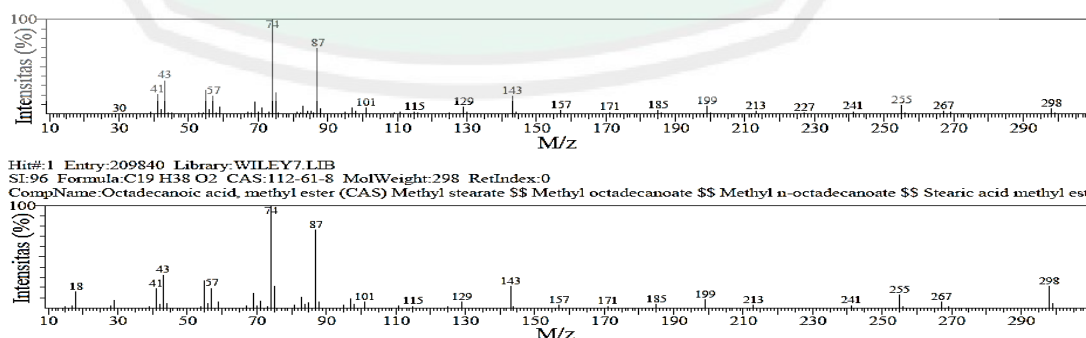
Gambar 4.53 Spektra massa puncak 6 dan standar WILEY7.LIB (207863) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode sonikasi (tR 32.236)

Gambar 4.53 menunjukkan puncak ion molekuler (M⁺) muncul pada m/z 296 yang berasal dari adanya senyawa metil oleat (metil 9-oktadekanoat) dengan rumus molekul C₁₉H₃₆O₂. Puncak dasar (*base peak*) muncul pada m/z 55 yang berasal dari C₄H₇⁺ akibat terlepasnya C₁₅H₃₂O₂⁺. Pecahan dengan m/z 265 diperoleh dari C₁₈H₃₅O⁺ akibat terlepasnya CH₃O⁺ pada ion molekuler. Untuk pecahan pada m/z 222 didapat dari C₁₆H₃₂⁺ dengan terlepasnya C₂H₃O⁺. Puncak dengan m/z 180 berasal dari C₁₃H₂₄⁺ akibat lepasnya C₂H₅⁺ dari C₁₆H₃₂⁺. Pecahan dengan m/z 123 berasal dari C₉H₁₄⁺ dan pecahan dengan m/z 95 berasal dari C₇H₁₁⁺.



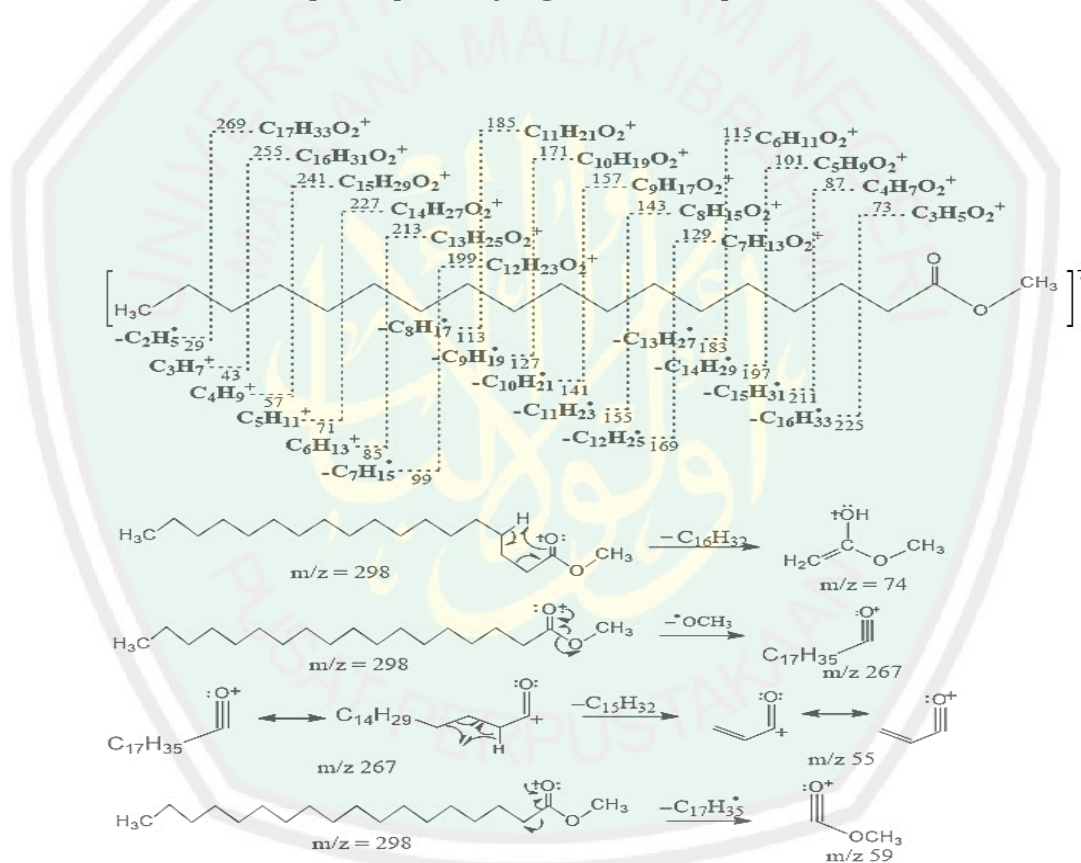
Gambar 4.54 Perkiraan pola fragmentasi metil oleat hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode sonikasi.

Puncak ketujuh muncul pada tR 32.564 dengan luas area sebesar 63002083 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 30, 41, 43, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 213, 227, 241, 255, 267, dan 298 (Gambar 4.55). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB *Library* menunjukkan kesesuaian dengan standar metil stearat (WILEY7.LIB entry: 209840).



Gambar 4.55 Spektra massa puncak 7 dan standar WILEY7.LIB (209840) hasil menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan metode sonikasi (tR 32.564).

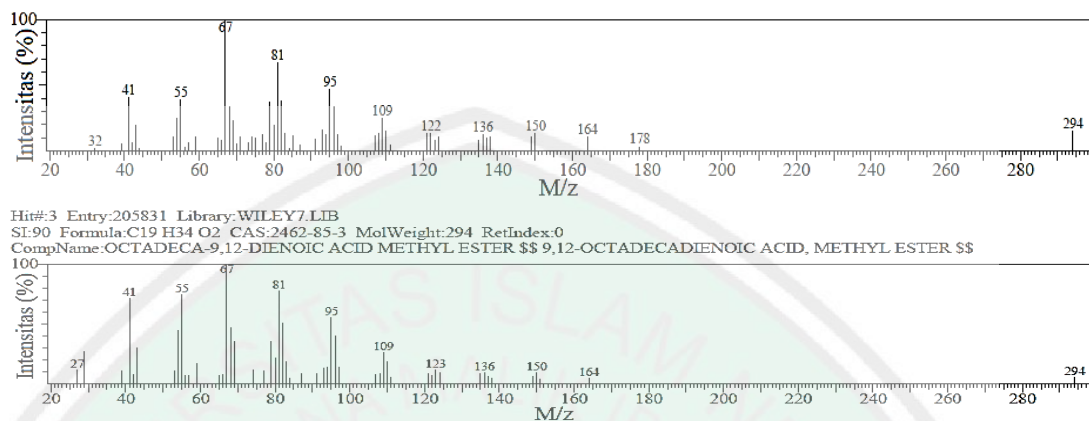
Gambar 4.55 menunjukkan puncak ion molekuler (M^+) muncul pada m/z 298 yang berasal dari adanya senyawa metil stearat (metil oktadekanoat) dengan rumus molekul $C_{19}H_{38}O_2$. Munculnya puncak dasar (*base peak*) pada m/z 74 berasal dari $C_3H_6O_2^+$ yang terbentuk melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus $C_{16}H_{33}^+$. Puncak yang relatif tinggi juga muncul dengan m/z 87 berasal dari $C_4H_7O_2^+$ akibat lepasnya gugus $C_{15}H_{31}^+$. Pecahan pada m/z 43 diperoleh dari $C_3H_7^+$. Sedangkan untuk pecahan pada m/z 267, 255, 241, 213, 199, 185, 157, 143, 129, 115, dan 101 merupakan puncak yang berasal dari pemutusan rantai C-C.



Gambar 4.56 Perkiraan pola fragmentasi metil stearat hasil menggunakan katalis $KOH/\gamma-Al_2O_3$ dengan metode sonikasi.

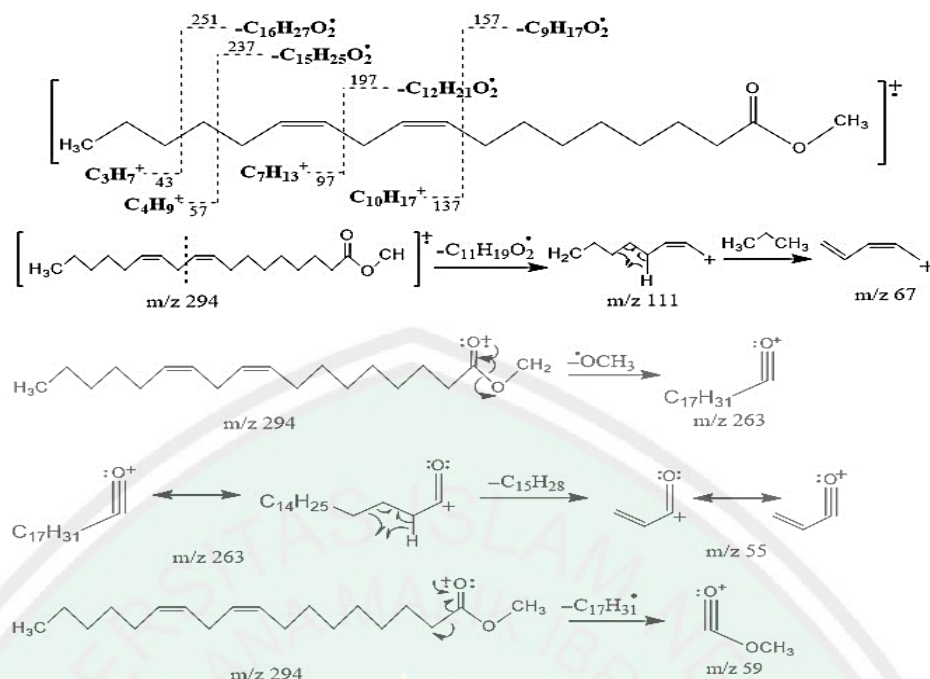
Puncak kedelapan muncul pada tR 33.595 dan luas area sebesar 343248 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 30, 41, 54, 67, 81, 95, 109, 121, 135, 150, 164, 178, dan 294 (Gambar 4.57). Perbandingan spektra hasil dengan

standar WILEY7.LIB Library menunjukkan kesesuaian dengan standar metil linoleat (WILEY7.LIB entry: 205831).



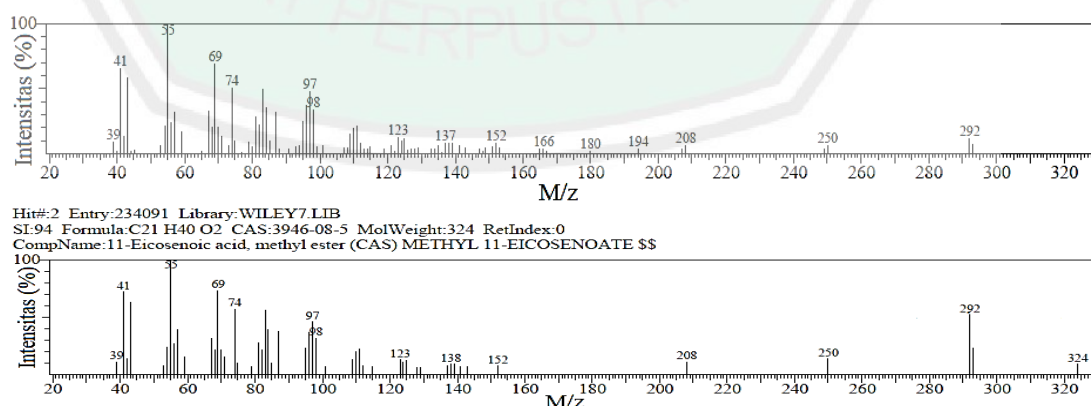
Gambar 4.57 Spektra massa puncak 8 dan standar WILEY7.LIB (205831) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode sonikasi (tR 33.595).

Berdasarkan Gambar 4.57 menunjukkan ion molekular (M^+) pada m/z 294 yang berasal dari senyawa metil linoleat (metil 9, 12-oktadekanoat) dengan rumus molekul C₁₉H₃₄O₂. Puncak dasar (*base peak*) muncul dengan m/z 67 merupakan ion molekular dari C₄H₇⁺ akibat dari terlepasnya gugus C₁₅H₂₇O₂. Puncak dengan m/z 262 berasal dari C₁₈H₃₀O⁺ yang muncul akibat dari terlepasnya gugus CH₃O dari C₁₉H₃₄O₂. Kemudian, puncak m/z 178 muncul dari C₁₂H₁₈O⁺ akibat terlepasnya C₆H₁₂ dari C₁₈H₃₀O⁺. Pecahan dengan m/z 149 berasal dari C₁₁H₁₇⁺ dari terlepasnya C₈H₁₇O₂ dari ion molekular (M^+). Pecahan dengan m/z 95 berasal dari terlepasnya C₃H₄⁺ dari C₁₁H₁₇⁺ dan untuk m/z 121 diperoleh dari terlepasnya C₂H₄⁺ dari C₁₁H₁₇⁺.



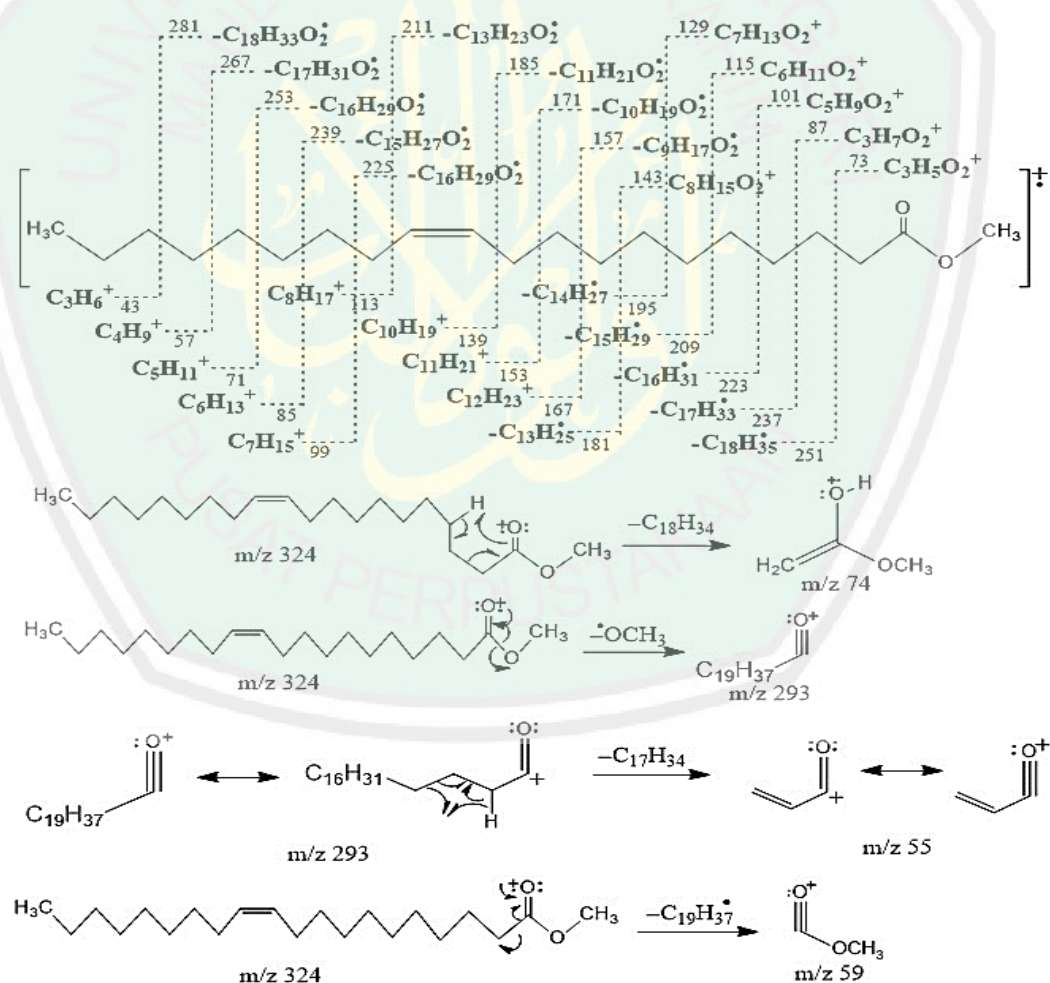
Gambar 4.58 Perkiraan pola fragmentasi metil linoleat hasil menggunakan katalis $KOH/\gamma-Al_2O_3$ dengan metode sonikasi.

Puncak kesembilan muncul pada tR 35.616 dengan luas area sebesar 2252743 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 39, 41, 55, 69, 74, 87, 97, 98, 123, 137, 152, 166, 180, 194, 208, 250 dan 292 (Gambar 4.59). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB Library menunjukkan kesesuaian dengan standar metil 11-eikosanoat (WILEY7.LIB entry: 234091).



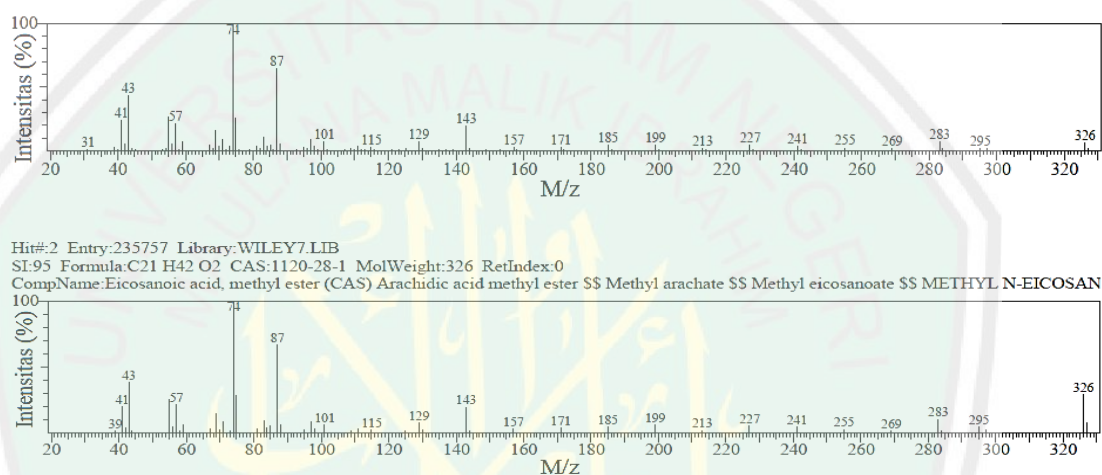
Gambar 4.59 Spektra massa puncak 9 dan standar WILEY7.LIB (234091) hasil menggunakan katalis $KOH/\gamma-Al_2O_3$ dengan metode sonikasi (tR 35.616).

Berdasarkan Gambar 4.59 menunjukkan puncak ion molekuler (M^+) muncul pada m/z 292 akibat terputusnya gugus CH_3O^+ dari $\text{C}_{21}\text{H}_{40}\text{O}_2$ yang merupakan senyawa metil 11-eikosanoat menjadi $\text{C}_{20}\text{H}_{36}\text{O}^+$. Munculnya puncak dasar dengan m/z 55 (*base peak*) berasal dari C_4H_7^+ akibat terlepasnya gugus $\text{C}_{16}\text{H}_{31}\text{O}^+$ dari ion molekuler m/z 292. Pecahan pada m/z 152, 138, 123, 97, 83, 41 dan 39 merupakan deret $\text{C}_n\text{H}_{2n-1}$ dan $\text{C}_n\text{H}_{2n-3}\text{O}^+$ yang berasal dari pemutusan rantai C-C.



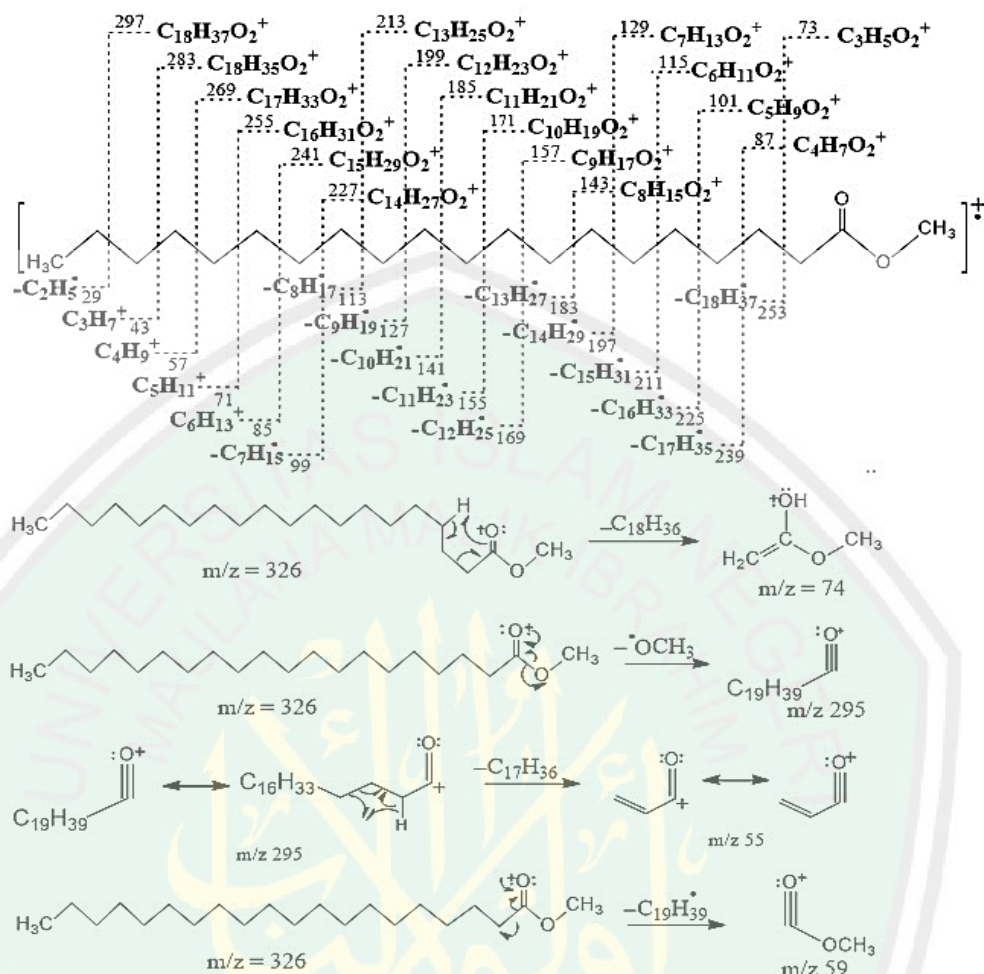
Gambar 4.60 Perkiraan pola fragmentasi metil 11-eikosanoat hasil $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ menggunakan katalis dengan metode sonikasi.

Puncak kesepuluh muncul pada tR 36.034 dengan luas area sebesar 5712247 count, memiliki pola spektra yang muncul pada m/z : 31, 41, 43, 57, 74, 87, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 213, 227, 241, 255, 269, 283, 295, dan 326 (Gambar 4.61). Perbandingan spektra hasil dengan standar WILEY7.LIB Library menunjukkan kesesuaian dengan standar metil arasat (WILEY7.LIB entry: 235757).



Gambar 4.61 Spektra massa puncak 10 dan standar WILEY7.LIB (235757) hasil menggunakan katalis KOH/ γ -Al₂O₃ dengan metode sonikasi (tR 36.034).

Gambar 4.61 menunjukkan puncak ion molekuler (M⁺) muncul pada m/z 326 yang berasal dari adanya senyawa metil arasat (metil eikosanoat) dengan rumus molekul C₂₁H₄₂O₂. Puncak dasar (*base peak*) yang muncul pada m/z 74 berasal dari C₃H₆O₂⁺ yang terbentuk melalui penataan ulang Mc Lafferty akibat terlepasnya gugus C₁₈H₃₇⁺. Kemudian, Puncak yang relatif tinggi juga muncul dengan m/z 87 berasal dari C₄H₇O₂⁺ akibat lepasnya gugus C₁₇H₃₅⁺. Sedangkan untuk pecahan pada m/z 295, 283, 269, 255, 241, 227, 213, 199, 185, 171, 157, 143, 129, 115, 101, 57, 43, 41, dan 31 merupakan puncak yang berasal dari pemutusan rantai C-C.



Gambar 4.62 Perkiraan pola fragmentasi metil araset hasil menggunakan katalis $KOH/\gamma-Al_2O_3$ dengan metode sonikasi.

Hasil analisis menggunakan GC-MS pada produk transesterifikasi menggunakan katalis $KOH/\gamma-Al_2O_3$ metode sonikasi menunjukkan adanya 10 senyawa yang berhasil dipisahkan. Spektra massa dari masing-masing komponen mengkonfirmasi bahwa kesepuluh komponen merupakan senyawa metil ester. Berdasarkan perhitungan luas area juga telah didapat kadar dari masing-masing komponen yang disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil GC produk reaksi menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ metode sonikasi.

No. Peak	Waktu Retensi (Menit)	Jenis Metil Ester	Kadar (%)
1	19.408	Metil Laurat	0.10
2	24.180	Metil Miristat	1.45
3	28.107	Metil Palmitoleat	0.30
4	28.743	Metil Palmitat	38.12
5	30.536	Metil Margarat	0.13
6	32.236	Metil Oleat	51.79
7	32.564	Metil Stearat	7.16
8	33.595	Metil Linoleat	0.04
9	35.616	Metil 11-Eikosanoat	0.26
10	36.034	Metil Arasat	0.65

4.4 Aktivitas dan Selektivitas Katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Metode Impregnasi Basah, Hidrotermal, dan Sonikasi Terhadap Hasil Reaksi Transesterifikasi

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh melalui analisis menggunakan GC-MS maka dapat diketahui adanya aktivitas katalisis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dalam reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi metil ester yang ditentukan melalui besarnya *yield* konversi. Ketiga metode dibandingkan *yield* konversinya untuk mengetahui metode terbaik dalam mensintesis katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang digunakan untuk reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi metil ester. Adapun *yield* konversi diperoleh melalui perhitungan dan disajikan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6 *Yield* konversi masing-masing metode menggunakan katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Metode	<i>Yield</i> Konversi (%)
Impregnasi Basah	77.81
Hidrotermal	77.21
Sonikasi	80.49

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa perbedaan energi yang digunakan saat mensintesis katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ membuat aktivitas yang berbeda dalam reaksi katalisis. Perbedaan yang terjadi menunjukkan adanya distribusi katalis KOH dan luas permukaan yang berbeda pada $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dimana distribusi katalis dan luas area mempengaruhi aktivitas katalisis. Berdasarkan hasil pada Tabel 4.6 metode sonikasi memiliki persentase *yield* konversi diantara ketiga metode yaitu sebesar 80.49% yang menandakan metode sonikasi membuat katalis KOH terdistribusi lebih baik dibanding metode hidrotermal dan sonikasi.

Selektivitas katalisis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dalam reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi metil ester ditentukan melalui besarnya kandungan metil ester palmitat dan oleat. Hal ini dikarenakan komponen dominan pada minyak kelapa sawit adalah asam lemak dengan jenis asam palmitat dan asam oleat. Adapun selektivitas masing-masing metode terhadap Metil ester palmitat dan oleat dapat diketahui melalui perhitungan dan disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Selektivitas masing-masing metode

Metode	Jenis Metil Ester	Kadar (%)
Impregnasi Basah	Metil Palmitat	52.39
	Metil Oleat	34.44
Hidrotermal	Metil Palmitat	37.86
	Metil Oleat	50.54
Sonikasi	Metil Palmitat	38.12
	Metil Oleat	51.79

Berdasarkan Tabel 4.7 menunjukkan bahwa metode impregnasi basah, hidrotermal, dan sonikasi memiliki kecenderungan selektif terhadap salah satu dari dua komponen dominan yang ada pada minyak kelapa sawit. Rios, dkk (2005) melakukan penelitian mengenai katalis yang terdispersi merata pada pengembangan

dengan luas area yang tinggi untuk mengkonversi minyak nabati menjadi metil oleat. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi katalis dan luas area yang tinggi cenderung mengkonversi metil ester dengan rantai panjang. Sehingga hasil yang didapat pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa metode impregnasi basah lebih cenderung selektif terhadap metil palmitat karena metode impregnasi basah menggunakan energi yang lebih rendah saat sintesis katalis dibanding metode hidrotermal dan sonikasi sehingga distribusi dan luas area katalisnya lebih rendah dan cenderung membentuk metil ester dengan rantai yang lebih pendek yaitu metil palmitat. Sedangkan, metode hidrotermal dan sonikasi menggunakan energi yang lebih tinggi saat proses sintesis katalis dibanding metode impregnasi sehingga memiliki distribusi dan luas area yang lebih tinggi dan cenderung selektif terhadap metil ester dengan rantai yang lebih panjang yaitu metil oleat.

Standar mutu biodiesel telah dikeluarkan dalam bentuk SNI No. 7182-2015, melalui keputusan Badan Standarisasi Nasional (BSN) ICS 27.190;75.160.20. Standar Nasional Indonesia (SNI) menyebutkan bahwa rentang pengujian angka setana berada dalam rentang 30 sampai 65 dengan standar mutu biodiesel angka setana minimal 51. Berdasarkan penelitian yang dilaporkan Bamgboye dan Hansen (2008); Barabas dan Todorut (2011); dan Knothe (2010) mengatakan bahwa standar biodiesel yang baik adalah biodiesel yang memiliki bilangan setana minimal 51 dan tidak lebih besar dari 65 karena apabila bilangan setana terlalu yang rendah akan menyebabkan nyala mesin menjadi sulit, pembakaran yang terjadi tidak sempurna, dan meningkatkan polusi mesin. Sedangkan apabila bilangan setana terlalu tinggi dapat menyebabkan pengapian mesin terjadi terlalu awal dan menghasilkan pembakaran tidak sempurna, serta meningkatkan jumlah asap knalpot. Nilai

bilangan setana selengkapnya disajikan pada Lampiran 4.12 (hal131). Adapun nilai bilangan setana untuk metil palmitat dan metil oleat disajikan pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Nilai bilangan setana untuk asam lemak metil ester murni (Bamgboye dan Hansen. 2008; Barabas dan Todorut. 2011).

Jenis Metil Ester	Bilangan Setana
	74.3
Metil Palmitat	74.5
	81.2
	55.0
Metil Oleat	59.3
	62.3

Berdasarkan Tabel 4.7 dan 4.8 menunjukkan bahwa konversi metil oleat lebih direkomendasikan karena metil oleat memiliki rentang bilangan setana 55 sampai 62.3 sedangkan metil palmitat memiliki rentang bilangan setana 74.3 sampai 81.2 sehingga metil oleat lebih sesuai dengan standar SNI pengujian angka setana yang berada pada rentang 30 sampai 65 dengan nilai minimal angka setana sebesar 51. Berdasarkan data selektivitas, metode yang paling direkomendasikan untuk sintesis katalis sebagai pembantu reaksi transesterifikasi yang terbaik pada minyak kelapa sawit adalah menggunakan metode sonikasi.

Metil palmitat dan metil oleat merupakan komponen yang paling dominan dalam minyak kelapa sawit. Total % (persen) komponen metil ester yang dominan di tentukan dengan menjumlahkan % metil palmitat dengan % metil oleat sehingga dapat diketahui jumlah keseluruhan komponen metil ester pada masing-masing metode. Adapun total komponen metil ester masing-masing metode disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Total komponen metil ester masing-masing metode.

Metode	Total Metil Ester (%)
Impregnasi Basah	86.83
Hidrotermal	88.40
Sonikasi	89.91

4.5 Konversi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Metil Ester (Biodiesel) dalam Perspektif Islam

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapat katalis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang disintesis menggunakan metode impregnasi basah, hidrotermal, dan sonikasi. $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ hasil sintesis digunakan sebagai katalis untuk reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi metil ester. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode sintesis katalis dapat mempengaruhi banyaknya *yield* metil ester (aktivitas) dan mengubah fokus metil ester yang terbentuk (selektivitas) yang didapat dari reaksi transesterifikasi.

Allah S.W.T berfirman dalam Al-Qur'an surat Ibrahim ayat 52:

هَذَا بَلَّغُ لِلنَّاسِ وَيُنذِرُوا بِهِ وَلِيَعْلَمُوا أَنَّمَا هُوَ إِلَهُ وَحْدٌ وَلِيَذَّكَّرَ أُولُوا الْأَلْبَابِ

Artinya :

“(Al Quran) ini adalah penjelasan yang sempurna bagi manusia, dan supaya mereka diberi peringatan dengannya, dan supaya mereka mengetahui bahwasanya Dia adalah Tuhan Yang Maha Esa dan agar orang-orang yang berakal mengambil pelajaran”.

Keterkaitan surat Ibrahim ayat 52 dengan penelitian ini yaitu bahwa Allah S.W.T yang berkuasa atas segala sesuatu telah memberikan kita Al-Qur'an sebagai penjelasan yang sempurna. Al-Qur'an disebut oleh Allah sebagai penjelasan yang sempurna bagi manusia karena isi kandungan Al-Qur'an yang mencakup segala macam aspek kehidupan manusia termasuk mengenai sintesis $\text{KOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang merupakan marbub (sesuatu yang berada di bawah kekuasaan-Nya) sebagaimana

dijelaskan surat Al-Furqon ayat 2 (hal 21). Serta pemanfaatan minyak kelapa sawit menjadi metil ester (biodiesel) sebagaimana diterangkan pada surat Yassin ayat 80 (hal 1). Ayat-ayat tersebut menunjukkan bahwa Al-Qur'an merupakan penjelasan yang sempurna bagi manusia. Kemudian juga sebagai pemberi peringatan bahwa Al-Qur'an benar datangnya dari Allah S.W.T dengan segala kesempurnaan kandungannya sehingga dapat menambah keimanan kita terhadap Al-Qur'an. Serta agar kita sebagai orang-orang berakal dapat mengambil pelajaran dengan terus mengeksplorasi pengetahuan kita dan memahami secara mendalam kandungan tiap-tiap ayat Al-Qur'an yang tentunya dapat menambah keimanan dan ketaqwa'an kita sebagai hamba Allah.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa penelitian telah berhasil dengan didapatkan rendemen hasil reaksi transesterifikasi dibantu katalis KOH/ γ -Al₂O₃ metode impregnasi basah, hidrotermal, dan sonikasi berturut-turut yaitu 85.66; 84.85; 85.78 dengan yield konversi yaitu 77.81; 77.21; 80.49 dan katalis yang masing-masing memiliki kecenderungan selektivitas yang berbeda yaitu metode impregnasi basah yang cenderung selektif terhadap metil palmitat, metode hidrotermal cenderung selektif terhadap metil oleat dan metode sonikasi cenderung selektif terhadap metil oleat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil karakterisasi katalis KOH/ γ -Al₂O₃ menggunakan XRD menunjukkan bahwa sintesis menggunakan metode impregnasi basah, hidrotermal dan sonikasi tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Karakterisasi menggunakan XRF menunjukkan bahwa metode impregnasi basah, hidrotermal dan sonikasi berhasil mengembangkan KOH pada γ -Al₂O₃ yang ditandai dengan munculnya unsur K pada masing-masing metode.
2. Rendemen yang dihasilkan menggunakan metode impregnasi basah, hidrotermal dan sonikasi berturut-turut yaitu 85.66%; 84.85%; dan 85.78%. dengan *yield* konversi berturut-turut 77.81%; 77.21%; 80.49%. Sedangkan selektivitas katalis untuk metil ester palmitat adalah menggunakan metode Impregnasi Basah dan untuk metil ester oleat adalah menggunakan metode sonikasi dan hidrotemal.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disarankan untuk melakukan beberapa langkah penelitian lanjutan yaitu :

1. Uji karakteristik metil ester sebagai biodiesel meliputi uji titik nyala, uji densitas, uji viskositas, bilangan setana, titik kabut dan stabilitas oksidatif metil ester hasil.
2. Uji situs basa (kebasaan) dari katalis menggunakan adsorpsi uap asam CO₂.
3. Perlu dilakukan karakterisasi *surface area* katalis.

4. Untuk memaksimalkan hasil sintesis perlu dilakukan eksplorasi mengenai lama waktu reaksi pengembanan, suhu reaksi pengembanan, dan suhu kalsinasi.
5. Uji aktivitas katalis setelah penggunaan.



DAFTAR PUSTAKA

- Ad-Dimasqi, Al Iam Abul Fida' Isma'il Ibnu Kasir. 2004. *Tafsir Ibnu Katsir Juz 18*. terj. Bahrin Abu Bakar. Bandung: Sinar Baru Algensindo.
- Al-Mahalli, Jalaluddin dan As-Suyuthi, Jalaluddin. 2000. *Tafsir Jalalain*. Bandung: Sinar Baru Algensindo.
- Allen, M., dan Prateepchaikul, G. 2003. *The Modelling of The Biodiesel Reaction*. Thailand: Prince of Songkla University.
- Anshary, M. I., Damayanti, O., dan Roesyadi, A. 2012. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis Padat Berpromotor Ganda Dalam Reaktor Fixed Bed. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 1, No. 1 pp. 1-4.
- Arifin dan Latifah. 2015. Sintesis Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Menggunakan Katalis Zeolit Alam Termodifikasi. *Indonesian Journal of Chemical Science*. Vol 4 pp. 2.
- Arita, S., K. A., dan Septian. 2013. Pembuatan Biodisel dari Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis CaO Disinari dengan Gelombang Mikro. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 19 pp. 45-52.
- Baba, T. 2000. Preparation, Characterization, and Application of $\text{KNH}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ and $\text{KF}/\text{Al}_2\text{O}_3$ As Strong Solid Bases. Tokyo: Tokyo Institute of Technology Japan.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. *Standar Nasional Indonesia "Biodiesel"*. Jakarta: SNI 7182:2015 ICS 27.190:75.160.20.
- Bamgboye, A. I., dan Hansen, A. C. 2008. *Prediction of Cetane Number of Biodiesel Fuel from The Fatty Acid Methyl Ester (FAME) Composition*. International Agrophysics 22 : 21-29.
- Bang, J. H, dan Kenneth S.S. 2010. *Applications of Ultrasound to the Synthesis of Nanostructured Materials*. Advances Material 22 : 1039-1059.
- Barabas, I., dan Todorut, I. A. 2011. Biodiesel Quality, Standards and Properties. Napoca: Technical University of Cluj Romania.
- Benjapornkulaphong, S., Ngamcharussrivichai, C., Bunyakiat, K. 2009. Al_2O_3 -Supported Alkali and Alkali Earth Metal Oxides For Transesterification of Palm Kernel Oil and Coconut Oil. *Elsevier: Fuel* Vol.145 pp.468-474.
- Cao, W., Han, H., dan Zhang, J. 2005. Preparation of Biodiesel from Soybean Oil Using Supercritical Methanol and Co-Solvent. *Elsevier: Fuel*. Vol. 84 pp. 347-351.

- Chen, Y. H., Huang, Y. H., Lin, R. H., Shang, N. C., Chang, C. Y., Chang, C. C., Chiang, P. C., dan Hu, C. Y. Biodiesel Production in A Rotating Packed Bed Using K/ γ -Al₂O₃ Solid Catalyst. *Elsevier*. Vol.42 pp. 937-944.
- Cho, A., Lee, J. J., Koh, J. H., Wang, A., dan Moon, S. H. 2007. Performance of NiMoS/Al₂O₃ Prepared by Sonochemical and Vapor Deposition Method in The Hydrodisulfurization of Dibenzothiophene. *Green Chem*. Vol. 9 pp. 620-625.
- Chopade, S. G., Kulkarni, K. S., Kulkarni, A. D., dan Topare, N. S. 2012. Solid Heterogeneous Catalysts For Production of Biodiesel from Transesterification of Triglycerides With Methanol A Review. *Acta Chimica & Pharmaceutica Indica*. Vol. 2 pp. 72-78
- Chowdhury, P dan Viraraghavan, T. 2009. Sonochemical Degradation of Chlorinated Organic Compounds, Phenolic Compounds and Organic Dyes A Review. *Science of The Total Environment* 407 : 2474-2492.
- Dias, J. M., Alvim-Ferraz, M. C. M., dan Almeida, M. F., 2008. Comparison of The Performance of Different Homogeneous Alkali Catalyst During Transesterification of Waste and Virgin Oils and Evaluation of Biodiesel Quality. *Elsevier : Fuel*. Vol. 87 pp. 3572-3578
- Dias, J. M., Araujo, J. M., Costa, J.F., Alvim-Ferraz, M. C. M., dan Almeida, M.F. 2013. Biodiesel Production from Raw Carrot Oil. *Elsevier : Energy*. Vol. 53 pp. 58-66.
- Digne, M., Sautet, P., Raybaud, P., Euzen, P., dan Toulhoat, H. 2004. Use of DFT To Achieve A Rational Understanding of Acid – Basic Properties of γ -Alumina Surfaces. *Elsevier: Catalysis*. Vol. 226 pp.54-68.
- Ealet, B., Elyakhloufi, M. H., Gillet, E., dan Ricci, M. 1994. Electronic and Crystallographic Structure of γ -Alumina Thin Films. Marseille: Faculté des Sciences et Techniques de St Jérôme France.
- Ertl, G., Knozinger, H., Scuth, F., dan Weitkamp, J. 2008. Handbook of Heterogeneous Catalysis. Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Fauzi, Y. 2004. Kelapa Sawit. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Foon, C. S., May, C. Y., Ngan, M. A., dan Hock, C. C. 2004. Kinetics Study On Transesterification of Palm Oil. Kuala Lumpur: University Malaya Malaysia.
- Gergogogianni, K. G., Katsoulidis, A. K., Pomonis, P. J., Manos, G., dan Kontominas, M. G. 2009. Transesterification of Repressed Oil for The Production of Biodiesel Using Homogeneous and Heterogeneous Catalysts. *Elsevier : Fuel Processing Technology*. Vol. 90 pp. 1016-1022.

- Ghazemi, M., dan Dehkordi, A. M. 2014. Transesterification of Waste Cooking Oil to Biodiesel Using KOH/gamma-Alumina Catalyst in a New Two-Impinging-Jets Reactor. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. Vol. 53 pp. 12238-12248.
- Gutierrez, G., Taga, A., dan Johansson, B. 2001. Theoretical Structure Determination of γ -Al₂O₃. *Physical Review B*. Vol 65 pp. 012101.
- Handa, H., Fu, Y., Baba, T., dan Ono, Y., 1999. Characterization of Strong Solid Bases By Test Reactions. Tokyo: Tokyo Institute of Technology Japan.
- Hamid. T., dan Yusuf. R. 2002. Preparasi Karakteristik Biodisel dari Minyak Kelapa Sawit. *Makara : Teknologi*. Vol. 6 pp. 60-65.
- Harfani, R. 2009. Sintesis Katalis Padatan Asam Gamma Alumina Terfosfat (Gamma-Al₂O₃/ PO₄) dan Digunakan untuk Sintesis Senyawa Metil Ester Asam Lemak dari Limbah Industri Margarin. *Skripsi*. Depok: Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan IPA Universitas Indonesia.
- Hun, Kwak Ja., Zhi, Hu Jain., Heui, Kim Do., Janos Szanyi and Charles Peden. 2007. Pentacoordinated Al³⁺ Ions as Preferential Nucleation Sites for BaO on γ -Al₂O₃." *Journal of Catalysis* 251(1):189-194.
- Intarapong, P., Langthanarat, S., Luengnaruemithai, A., dan Jai-In, S. 2014. Biodiesel Production from Palm Oil Using Potassium Hydroxide Loaded on ZrO₂ Catalyst in a Batch Reactor. *Chiang Mai j. Sci*. Vol. 41 pp. 128-137.
- Islam, A., Yap, Y. H. T., Ravindra, P., Teo, S. H., Sivasangar, S., dan Chan, E. S. 2015. Biodiesel Synthesis Over Milimetric γ -Al₂O₃/KI Catalyst. *Elsevier: Energy*. Vol. xxx pp. 1-9.
- Ismagilov, Z. R., dkk. 2012. Synthesis of Nanoscale TiO₂ and Study of the Effect of Their Crystal Structure on Single Cell Response. *The ScientificWorld Journal*, 498345-498359
- J.C. Colmenares. 2013. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 13 : 4787–4798.
- Ketaren, S. 1986. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Kiel, S., Grinberg, O., Perkass, N., Cermet, J., Kepner, H., dan Gedanken, A. 2012. Forming Nanoparticles of Water Soluble Ionic Molecules and Embedding Them Into Polymer and Glas Substrates. *Beilstein Journal of Nanotechnology*. Vol. 3 pp. 267-276.

- Kim, Hyun Na., dan Lee, Sung Keun. 2013. Effect of particle size on phase transitions in metastable alumina nanoparticles: A view from high-resolution solid-state ^{27}Al NMR study. *Journal American Mineralogist*, Volume 98, pages 1198–1210.
- Knothe, G. 2010. Biodiesel and Renewable Diesel: A Comparison. *Elsevier: Progress in Energy and Combustion Science*. Vol. 36 pp. 364-373.
- Kusuma, R. I., Hadinoto, J. P., Ayucitra, A. Soetaredjo, F. E., Ismadji, S. Natural zeolite from Pacitan Indonesia, as catalyst support for transesterification of palm oil. *Elsevier: Applied Clay Science*. Vol. 74 pp. 121-126.
- Lam, M. K., Lee, K. T., dan Mohamed, A. R. 2010. Homogeneous, Heterogeneous and Enzymatic Catalysis for Transesterification of High Free Fatty Acid Oil (Waste Cooking Oil) to Biodiesel A Riview. *Elsevier: Biotechnology Advances*. Vol. 28 pp. 500-518.
- Lee, J. D. 1991. *Concise inorganic chemistry*. Chapman and Hall : London.
- Lee, J. J., Kim, H., Koh, J. H., Jo, Ara., Moon, S. H. 2005. Performance of CoMoS/Al₂O₃ Prepared by Sonochemical and Chemical Vapor Deposition in the Hydrodesulfurization of Dibenzilthiophene and 4,6-dimethyldibenzothiophene. *Elsevier : Applied Catalyst*. Vol. 58 pp. 89-95.
- Li, X., Yu, D., Zhang, W., Li, Z., dan Zhang, X. 2013. Effective Synthesis of Cis-3-hexen-1-yl Acetate Via Transesterification over KOH/Gamma-Alumina: Structure and Catalytic Performance. *Elsevier : Applied Catalyst*. Vol. 455 pp. 1-7.
- Liu, X., He, H., Wang, Y., Zhu, S., dan Piao, X. 2008. Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel Using CaO as A Solid Base Catalyst. *Elsevier: Fuel*. Vol. 87 pp. 216-221.
- Liu, X., Xiong, X., Liu, C., Liu, D., Wu, A., Hu, Q., dan Liu, C. 2010. Preparation of Biodiesel by Transesterification of Rapeseed Oil with Methanol Using Solid State Catalyst Calcined K₂CO₃/Gamma-alumina. *J Am Oil Chem Soc*. Vol. 87 pp. 817-823.
- Ma, H., Li, S., Wang, B., Wang, R., dan Tiang, S. 2008. Transesterification of Rapeseed Oil for Synthesizing Biodiesel by K/KOH/Gamma-alumina as Heterogeneous Base Catalyst. *J Am Oil Chem Soc*. Vol. 85 pp. 263-270.
- Ma, G., Hu, W., Pei, H., Jiang, L., Ji, Y., dan Mu, R. 2014. Study of KOH/gamma-alumina as Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production Via In Situ Transesterification from Microalgae. *Environmental Technology*. pp. 1-6.

- Manadee, S., Sophiphun, O., Osakoo, N., Supamathanon, N., Kidkhunthod, P., Chanlek, N., Wittayakun, J., dan Prayoonpokarach, S. 2016. Identification of Pottasium Phase in Catalysts Supported On Zeolite NaX and Performance In Transesterification of Jatropha Seed Oil. *Elsevier: Fuel Processing Technology*. Vol. 156. pp. 62-67.
- Munajjin., Husin, H., dan Marwan. 2013. Studi Pembuatan Biodiesel Sebagai Energi Bersih dari Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum*) Menggunakan Katalis KOH/Al₂O₃. *Journal of Environment*. Banda Aceh: Uniiiversitas Syiah Kuala Darussalam Aceh.
- Naibaho. 1988. Pemisahan Karotena (Provitamin A) Minyak Sawit Dengan Metode Adsorbsi. *Desertasi*. Bogor : FPS.
- Neumann, R., dan Sasson, Y., 1986. Gas Phase Base-Catalyzed Dehydrogenations of Cyclic Hydrocarbons Over A KOH/Al₂O₃ Catalyst. Jerusalem: Hebrew University of Jerusalem. Vol. 35 pp. 131-136.
- Noiroj, K., Intarapong, P., Luengnaruemchai, A., dan Jai-In, S. 2009. A Comparative Study of KOH/gamma-alumina and KOH/NaY Catayst for Biodiesel Production Via Transesterification from Palm Oil. *Elsevier : Renewable Energy*. Vol. 34 pp. 1145-1150.
- Noureddini, H., dan Zhu, D. 1997. Kinetics of Transesterification of Soybean Oil. *JAACS* Vol. 74 pp. 1457-1463.
- Okullo, A. A., dan Temu, A. A. 2015. Modelling The Kinetics of Jatropha Oil Transesterification. *Scientific Reasearch Publishing: Energy*. Vol. 7 pp. 135-143.
- Paglia, G., Rohl, A. R., Buckley, C. E., dan Gale, J. D. 2005. Determination of The Stucture of γ -Alumina from Interatomic Potential and First-Principles Calculations The requirement of Significant Numbers of Nonspinel Positions to Achieve An Accurate Structural Model. Perth: Curtin University of Technology Australia.
- Pasaribu, N. 2004. Minyak Buah Kelapa Sawit. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Qiu, J., Wang, X., Ning, P., Liu, W., Chen, W., dan Feng, Q. 2013. Ambient Temperature Adsorbtion of Carbonyl Sulfida Using Modified Gamma-alumina. China: Kumning University.
- Ramli, S., Murad, S. Z. A., dan Hsin, A. F. 2015. Kefahaman Tafsiran Ayat 80 Surah Yasin dan Hubungannya dengan Sains Biodiesel: Satu Pengayaan. *Al-Qimah Al-Mudhafah The Journal of Management and Science (ALQIMAH)*. Vol. 1 pp. 1-8.

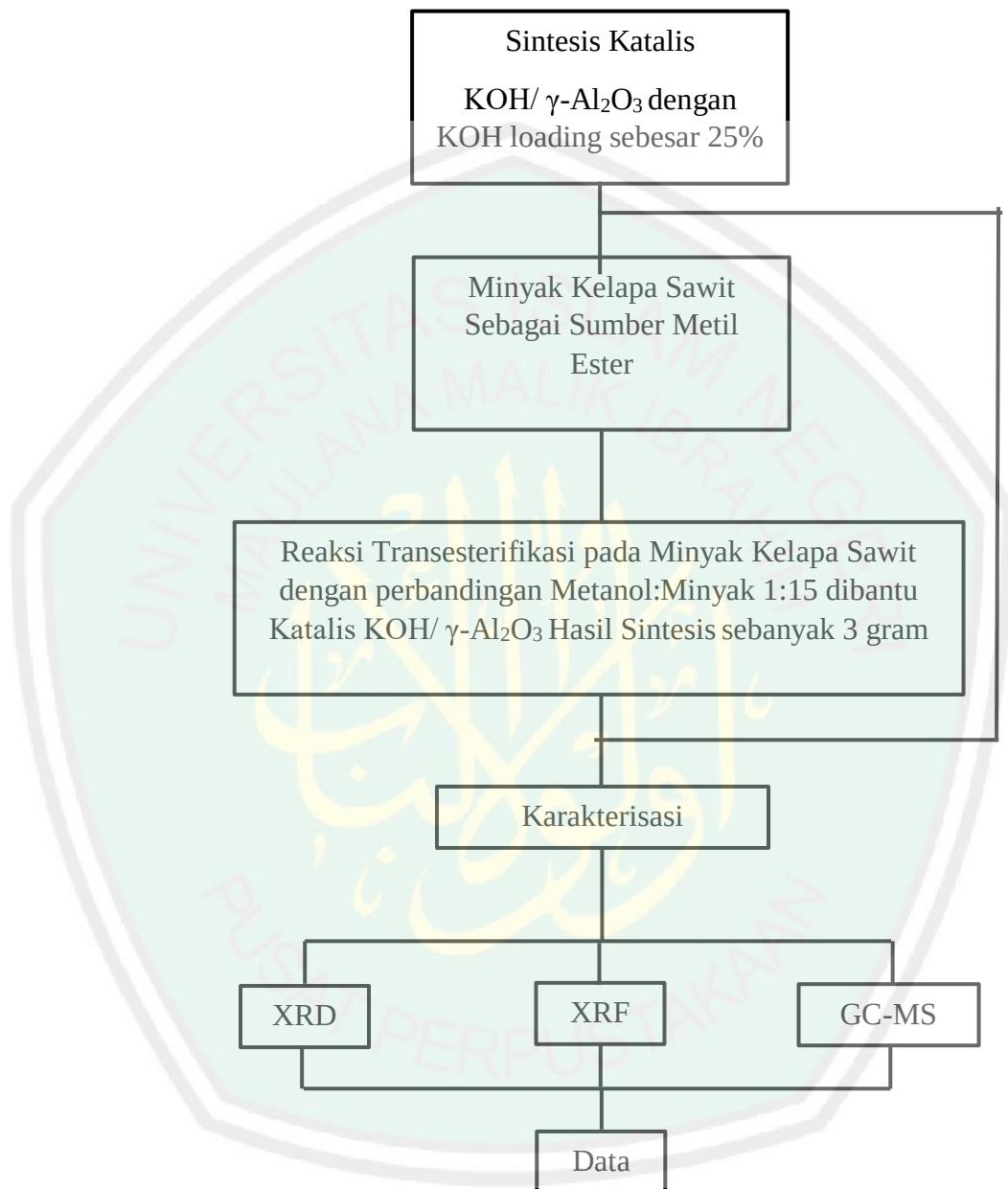
- Ramos, M. J., Fernandez, C. M., Casas, A., Rodriguez, L., dan Perez, A. 2009. Influence of Fatty Acid Composition of Raw Materials On Biodiesel Properties. *Elsevier: Bioresource Technology*. Vol. 100 pp. 261-268.
- Rios, L. A., Weckes, P., Schuster, H., dan Hoelderich, W. F. 2005. Mesoporous and Amorphous Ti-Silicas On The Epoxidation of Vegetable Oils. *Elsevier: Journal of Catalysis*. Vol 232 pp. 19-26.
- Satterfield, C. N. 1980. Heterogeneous Catalyst In Practice. New York : Mc Graw Hill Book Company.
- Sivasamy, A., Cheah, K. Y., Fornasiero, P., Kemausuor, F., Zinoviev, S., dan Miertus, S. 2009. Catalytic Applications In The Production of Biodiesel From Vegetable Oils. *ChemSusChem* Vol. 2 pp. 278-300.
- Soetardjo, F. E., Ayucitra, A., Ismadji, S., dan Maukar, A.L. 2011. KOH/bentonite catalyst for Transesterification of Palm Oil to Biodiesel. *Elsevier: Applied Clay Science*. Vol. 53 pp. 341-346.
- Sohlberg, K., Pennycook, and S. J., Pantelides, S. T. 2000. The Bulk and Surface Structure of γ -Alumina. *Chem.Eng.Comm.* Vol. 181 pp. 107-135.
- Suslick, K. S., dan Price, G. J. 1999. Application of Ultrasound To Materials Chemistry. Indiana : Purdue University Indianapolis.
- Tarmadzi, M. 2013. Pengaruh Konsentrasi Li yang di-Doping ke Dalam Katalis CaO Terhadap Reaksi Transesterifikasi Minyak Sawit. Skripsi .Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Teng, G., Gao, L., Xiao, G., dan Liu, H. 2009. Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel over Heterogeneous Solid Base Catalyst. *Energy Fuel Article*. Vol. 23 pp. 4630-4634.
- Tsukrenko, V., Dudnik, E., dan Shevchenko. 2012. Nanocrystalline Zirconia Based Powder Synthesis by Hydrothermal Method. *Processing and Application of Ceramic*. Vol. 6 pp. 151-157.
- Vicente, G., Martinez, M., dan Aracil, J. 2004. Integrated Biodiesel Production : A Comparison of Different Homogeneous Catalyst System. *Elsevier : Bioresource Technology*. Vol. 92 pp. 297-305.
- Wang, X., Sun, M., Meng, B., Yang, N., dan Tan, X. 2016. Preparation of Ti-Containing Mesoporous Zeolite using Two-Step Hydrothermal Synthesis Method. *Elsevier : Material Letters*. Vol. 171 pp. 59-62.
- Xie, W., dan Li, H. 2006. Alumina-Supported Potassium Iodide as A Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production from Soybean Oil. *Elsevier: Molecular Catalysis*. Vol. 255 pp. 1-9.

- Zhang, L., Sun, S., Xin, Z., Sheng, B., dan Liu, Qun. 2010. Synthesis and Component Confirmation of Biodiesel from Palm Oil and Dimethyl Carbonate Catalyzed by Immobilized-Lipase in Solvent-Free System. *Elsevier: Fuel*. Vol. 89 pp. 3960-3965.
- Zhang, Z., dan Pinnavaia, T. J. 2002. Mesostructure gamma-Alumina with a Lathlike Framework Morphology. *J Am Chem Soc*. Vol. 124 pp. 12294-12301.
- Zhao, Y. 2008. Synthesis and Characterization of Metal (Fe, Ga, Y) Doped Alumina and Galium Oxide Nanostructures. Thesis. Beijing: Beijing University of Chemical Technology China.



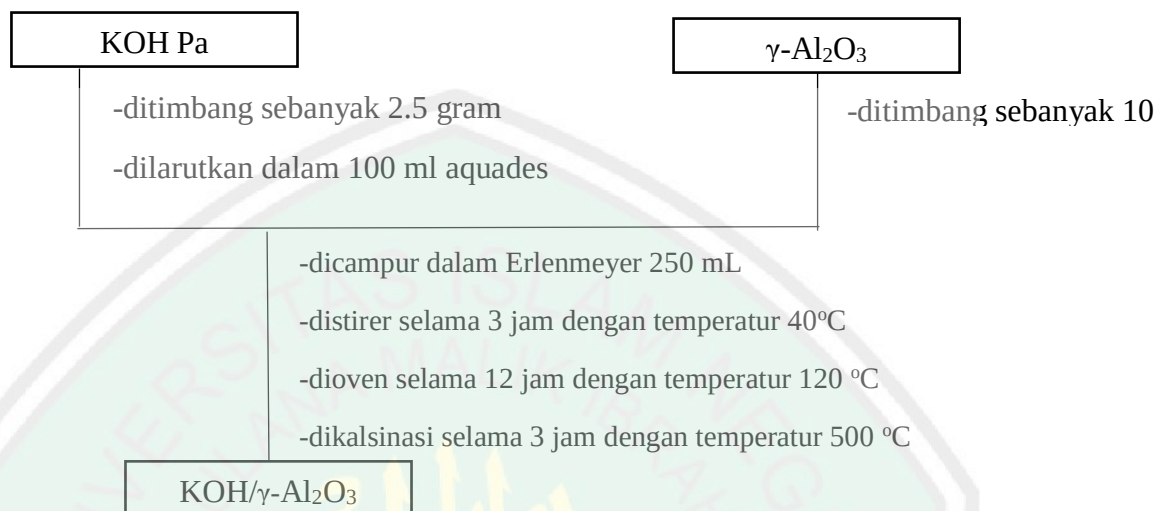
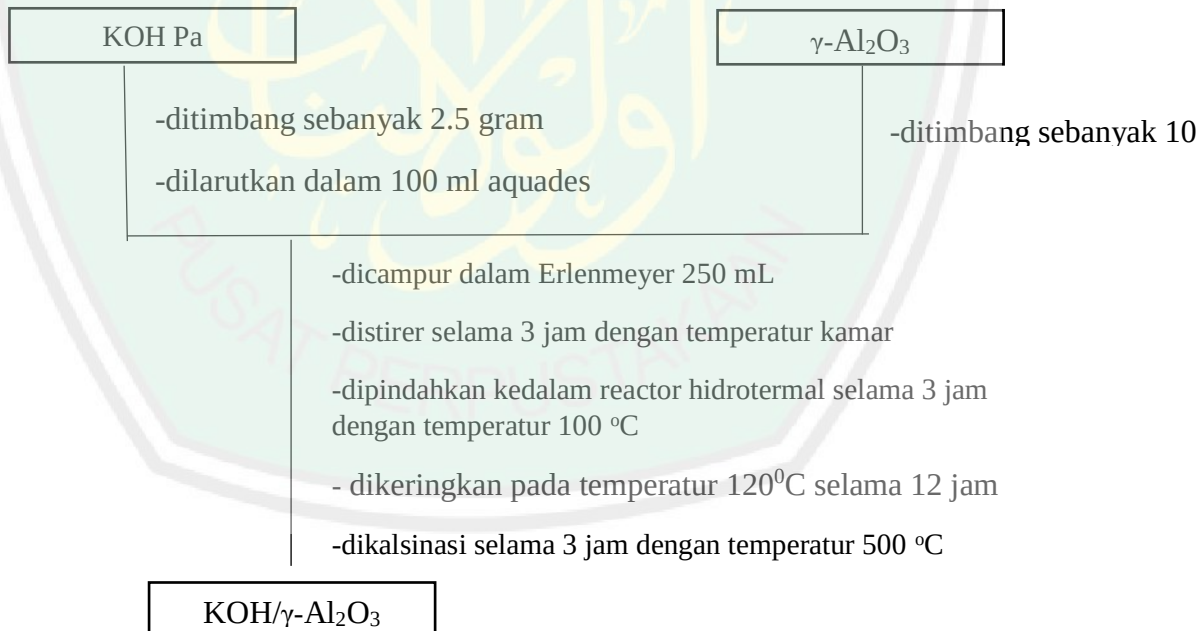
LAMPIRAN 1

KERANGKA PENELITIAN



LAMPIRAN 2

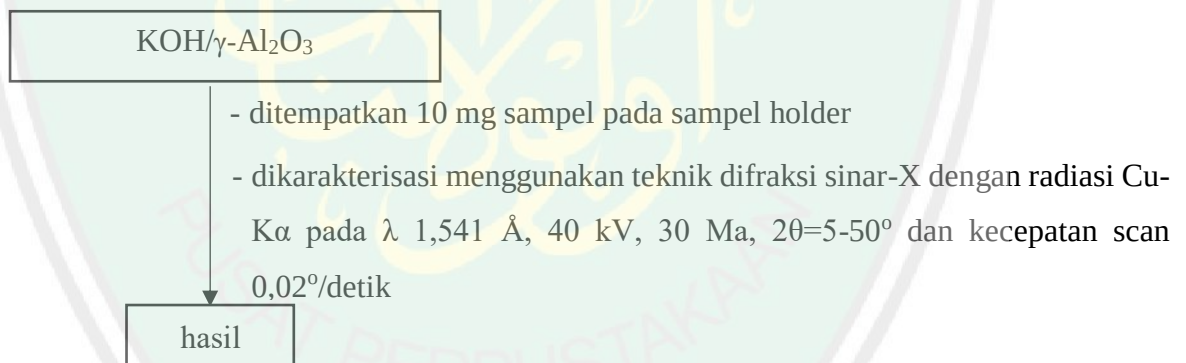
DIAGRAM ALIR

2.1 Sintesis KOH/ γ -Al₂O₃ Metode Impregnasi Basah2.2 Sintesis KOH/ γ -Al₂O₃ Metode Hidrotermal

```
graph TD; A[KOH Pa] --> C; B["γ-Al2O3"] --> C; C["-ditimbang sebanyak 2.5 gram<br/>-dilarutkan dalam 100 ml aquades"] --> D["-dicampur dalam Erlenmeyer 250 mL<br/>-distirer selama 3 jam dengan temperatur kamar<br/>-dipindahkan kedalam sonikator dan diberi radiasi ultrasonik sebesar 42 KHz selama 3 Jam<br/>- dikeringkan pada temperatur 120°C selama 12 jam<br/>-dikalsinasi selama 3 jam dengan temperatur 500 °C"]; D --> E["KOH/γ-Al2O3"]
```

The diagram illustrates the synthesis process for the KOH/γ-Al₂O₃ composite. It begins with two starting materials: KOH Pa and γ-Al₂O₃. KOH Pa is weighed (2.5 g) and dissolved in 100 ml of distilled water (aquades). γ-Al₂O₃ is weighed (10 g). These are then combined in a 250 mL Erlenmeyer flask, stirred at room temperature for 3 hours, and then transferred to a sonicator for ultrasonic irradiation at 42 KHz for 3 hours. The mixture is then dried at 120°C for 12 hours and calcined at 500°C for 3 hours to produce the final KOH/γ-Al₂O₃ composite.

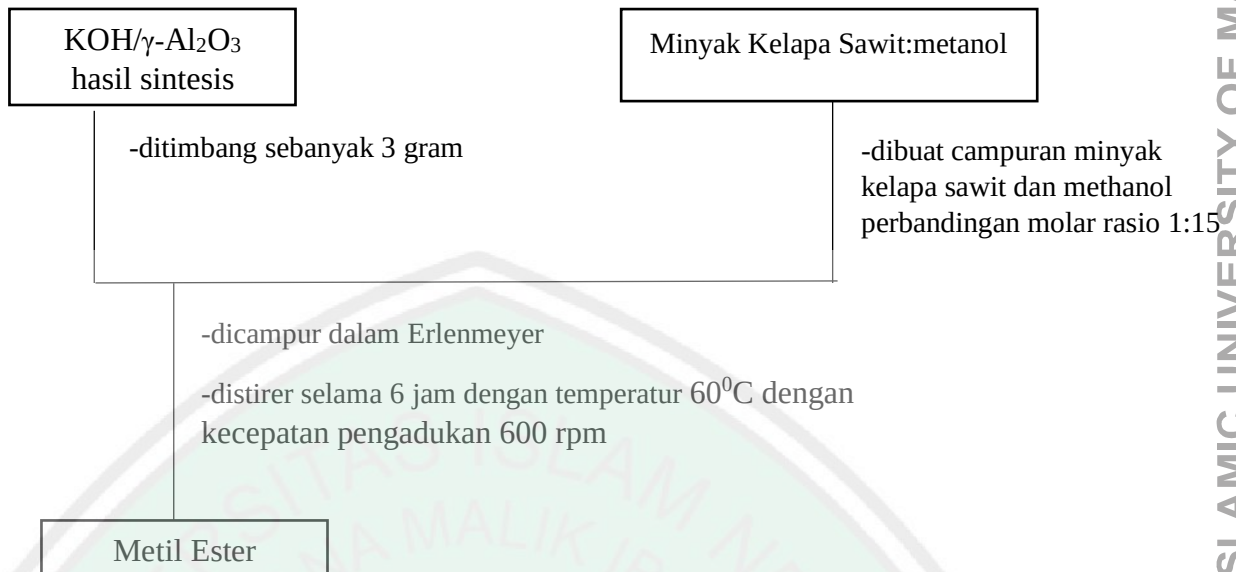
2.4.1 Karakterisasi Menggunakan XRD



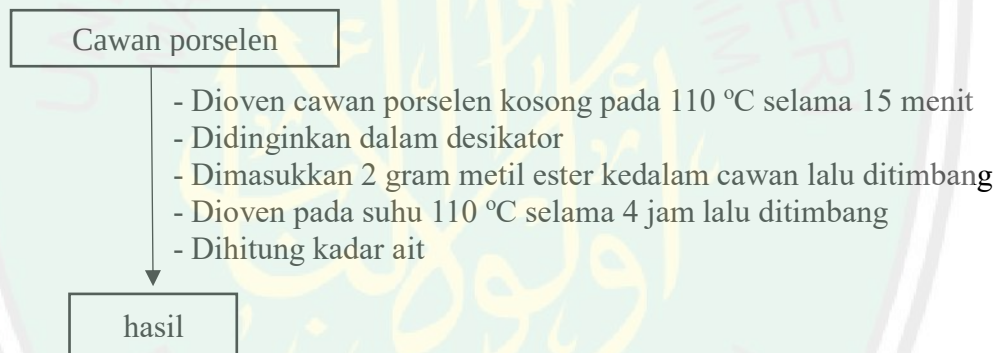
```

graph TD
    A[KOH/γ-Al2O3] --> B[hasil]
    A --> C["-ditempatkan 5 mg sampel kaolin pada sampel holder  
-disinari dengan sinar -X"]
  
```

2.5 Reaksi Transesterifikasi



2.6 Analisa Kadar Air



2.7 Karakterisasi Metil Ester Hasil Reaksi Transesterifikasi Menggunakan GC-MS



LAMPIRAN 3

PERHITUNGAN

3.1 Pembuatan 25% KOH *Loading* dalam *Support* $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

KOH *loading* sebesar 25% dari berat $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sehingga perbandingan

(b/b) KOH: $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ adalah 1:4

$$\text{Berat } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 = 10 \text{ gram}$$

$$\text{Berat KOH} = 10 \times \frac{1}{4} = 2,5 \text{ gram}$$

3.2 Penentuan Jumlah Minyak Kelapa Sawit:Metanol

Perbandingan molar rasio minyak dan metanol yang digunakan 1:15

$$\rho \text{ Triglicerida (TG)} = 0,9 \text{ gr/ml}$$

$$\text{Berat Molekul} = 871$$

$$1 \text{ Mol TG} = 1 \times 871 = 871 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 mol TG} &= \frac{871 \text{ gr}}{0,9 \text{ gr/ml}} \\ &= 967,78 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ Metanol} = 0,8 \text{ gr/ml}$$

$$\text{Berat Molekul} = 32$$

$$15 \text{ mol metanol} = 15 \times 32 = 480 \text{ gr}$$

$$\text{Volume 15 Mol methanol} = \frac{480 \text{ gr}}{0,8 \text{ gr/ml}}$$

$$= 600 \text{ ml}$$

Penelitian ini menggunakan $\frac{1}{50}$ resep sehingga volume minyak kelapa

sawit dan metanol yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\text{Volume minyak kelapa sawit} = 967,78 \text{ ml} \times \frac{1}{50} = 19,4 \text{ ml}$$

$$\text{Volume metanol} = 600 \text{ ml} \times \frac{1}{50} = 12 \text{ ml}$$

3.3 Penentuan Rendemen Metil Ester

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Berat Produk}}{\text{Berat awal minyak}} \times 100\%$$

$$\text{Impregnasi Basah} = \frac{15,2251 \text{ gram}}{17,7732 \text{ gram}} \times 100\% = 85,66 \%$$

$$\text{Hidrotermal} = \frac{15,0818 \text{ gram}}{17,7732 \text{ gram}} \times 100\% = 84,85 \%$$

$$\text{Sonikasi} = \frac{15,2462 \text{ gram}}{17,7732 \text{ gram}} \times 100\% = 85,78 \%$$

3.4 Penentuan Kadar Air Metil Ester

$$\% \text{ Kadar air (Impregnasi basah)} = \frac{57,3657 - 57,1824}{2 \text{ gram}} \times 100\% = 9,165 \%$$

$$\% \text{ Kadar air (Hidrotermal)} = \frac{60,8617 - 60,6816}{2 \text{ gram}} \times 100\% = 9,005 \%$$

$$\% \text{ Kadar air (Sonikasi)} = \frac{42,3041 - 42,1814}{2 \text{ gram}} \times 100\% = 9,005 \%$$

3.5 Penentuan % Metil Ester

$$\% \text{ Metil ester} = \frac{\text{Luas Area}}{\text{Total luas area}} \times 100\%$$

3.5.1 Impregnasi basah

$$\% \text{ Metil miristat} = \frac{4200108}{306297231} \times 100\% = 1,37 \%$$

$$\% \text{ Metil palmitoleat} = \frac{612576}{306297231} \times 100\% = 0,20 \%$$

$$\% \text{ Metil palmitat} = \frac{160470550}{306297231} \times 100\% = 52,39 \%$$

$$\% \text{ Metil linoleat} = \frac{12714236}{306297231} \times 100\% = 4,15 \%$$

$$\% \text{ Metil oleat} = \frac{105473984}{306297231} \times 100\% = 34,44 \%$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Metil stearat} &= \frac{21356965}{306297231} \times 100\% = 6,97 \% \\ \% \text{ Metil 11-eikosanoat} &= \frac{350636}{306297231} \times 100\% = 0,11 \% \\ \% \text{ Metil arasat} &= \frac{1118176}{306297231} \times 100\% = 1,37 \%\end{aligned}$$

3.5.2 Hidrotermal

$$\begin{aligned}\% \text{ Metil laurat} &= \frac{901736}{1029271456} \times 100\% = 0,08 \% \\ \% \text{ Metil miristat} &= \frac{20474505}{1029271456} \times 100\% = 1,99 \% \\ \% \text{ Metil palmitoleat} &= \frac{3142693}{1029271456} \times 100\% = 0,31 \% \\ \% \text{ Metil palmitat} &= \frac{389383886}{1029271456} \times 100\% = 37,83 \% \\ \% \text{ Metil margarar} &= \frac{1688362}{1029271456} \times 100\% = 0,16 \% \\ \% \text{ Metil oleat} &= \frac{519753690}{1029271456} \times 100\% = 50,50 \% \\ \% \text{ Metil stearat} &= \frac{80862786}{1029271456} \times 100\% = 7,86 \% \\ \% \text{ Metil 11-eikosanoat} &= \frac{3551899}{1029271456} \times 100\% = 0,35 \% \\ \% \text{ Metil arasat} &= \frac{8485973}{1029271456} \times 100\% = 0,82 \% \\ \% \text{ Metil behenat} &= \frac{1025926}{1029271456} \times 100\% = 0,10 \%\end{aligned}$$

3.5.3 Sonikasi

$$\begin{aligned}\% \text{ Metil laurat} &= \frac{901736}{880039711} \times 100\% = 0,10 \% \\ \% \text{ Metil miristat} &= \frac{12786288}{880039711} \times 100\% = 1,45 \% \\ \% \text{ Metil palmitoleat} &= \frac{2640599}{880039711} \times 100\% = 0,30 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Metil palmitat} &= \frac{335460948}{880039711} \times 100\% = 38,12 \% \\
 \% \text{ Metil margarat} &= \frac{1177848}{880039711} \times 100\% = 0,13 \% \\
 \% \text{ Metil oleat} &= \frac{455761971}{880039711} \times 100\% = 51,79 \% \\
 \% \text{ Metil stearat} &= \frac{63002083}{880039711} \times 100\% = 7,16 \% \\
 \% \text{ Metil linoleate} &= \frac{343248}{880039711} \times 100\% = 0,04 \% \\
 \% \text{ Metil 11-eikosanoat} &= \frac{2252743}{880039711} \times 100\% = 0,26 \% \\
 \% \text{ Metil ararat} &= \frac{5712247}{880039711} \times 100\% = 0,65 \%
 \end{aligned}$$

3.6 Penentuan Yield Konversi Metil Ester

$$Yield (\%) = \frac{\text{Berat biodiesel (metil ester)} \times \% \text{ FAME dalam sampel}}{\text{Berat minyak kelapa sawit}} \times 100\%$$

Berat biodiesel (metil ester) = berat terukur – kadar air

% FAME = % total metil ester yang dihasilkan dari konversi

3.6.1 Impregnasi Basah

$$\text{Berat Biodiesel} = 15,2251 \text{ gr} - \left(\frac{9,165}{100} \times 15,2251 \text{ gr} \right) = 13,8298 \text{ gr}$$

$$Yield (\%) = \frac{13,8298 \times 100\%}{17,7732 \text{ gr}} \times 100\% = 77,81\%$$

3.6.2 Hidrotermal

$$\text{Berat Biodiesel} = 15,0818 \text{ gr} - \left(\frac{9,005}{100} \times 15,0818 \text{ gr} \right) = 13,7237 \text{ gr}$$

$$Yield (\%) = \frac{13,7237 \times 100\%}{17,7732 \text{ gr}} \times 100\% = 77,21\%$$

3.6.3 Sonikasi

$$\text{Berat Biodiesel} = 15,2462 \text{ gr} - \left(\frac{6,165}{100} \times 15,2462 \text{ gr} \right) = 14,3063 \text{ gr}$$

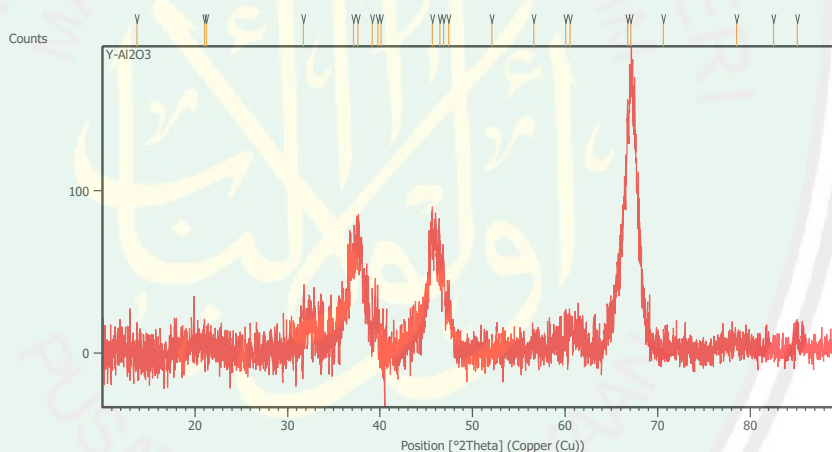
$$Yield (\%) = \frac{14,3063 \times 100\%}{17,7732 \text{ gr}} \times 100\% = 80,49\%$$

LAMPIRAN 4

Hasil Karakterisasi KOH/ γ -Al₂O₃ dan Metil Ester4.1 Hasil Karakterisasi XRD γ -Al₂O₃

Karakterisasi dilakukan di Laboratorium Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan merk XRD adalah Philips.

	Start Position [$^{\circ}$ 2Th.]	10.0084
End Position [$^{\circ}$ 2Th.]	89.9764	
Anode Material	Cu	
K-Alpha1 [Å]	1.54060	
K-Alpha2 [Å]	1.54443	
K-Beta [Å]	1.39225	
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000	
Generator Settings	30 mA, 40 kV	
Diffractometer Type	XPert MPD	
Diffractometer Number	1	



Peak List

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
13.7614	9.03	0.1338	6.43509	6.18
21.0196	19.04	0.0836	4.22654	13.03
21.2643	7.30	0.1673	4.17845	5.00
31.7534	28.48	0.1004	2.81808	19.50
37.1115	52.69	0.1004	2.42260	36.07
37.6160	64.78	0.4015	2.39126	44.35
39.1926	34.49	0.0502	2.29862	23.61
39.7566	29.87	0.0669	2.26731	20.45
40.0786	13.89	0.0836	2.24983	9.51
45.6471	67.46	0.2007	1.98749	46.19

46.4364	59.34	0.2676	1.95553	40.63
46.8597	47.05	0.1338	1.93885	32.21
47.4355	24.78	0.3346	1.91665	16.97
52.0954	8.11	0.1673	1.75564	5.55
56.6118	3.78	0.6691	1.62584	2.59
60.0714	10.87	0.2007	1.54021	7.44
60.5061	12.65	0.2007	1.53018	8.66
66.7691	132.81	0.1428	1.39989	90.94
67.1065	146.05	0.2007	1.39483	100.00
70.6204	8.46	0.1020	1.33269	5.79
78.5584	2.55	0.9368	1.21772	1.74
82.5239	3.56	0.2007	1.16897	2.44
85.0978	11.67	0.2007	1.14007	7.99

4.2 Hasil Karakterisasi XRD KOH/ γ -Al₂O₃ Impregnasi Basah

Measurement Condition

X-ray tube

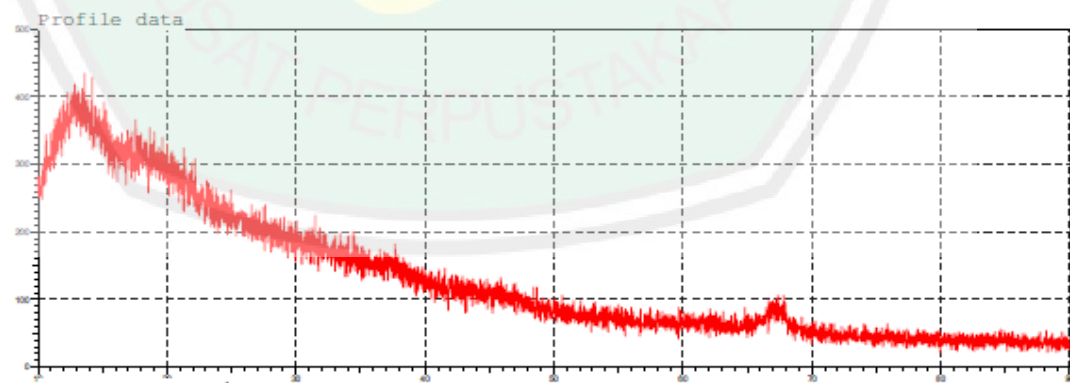
target : Cu
voltage : 30.0 (kV)
current : 30.0 (mA)

slits

Auto Slit : not Used
divergence slit : 1.00000 (deg)
scatter slit : 1.00000 (deg)
receiving slit : 0.15000 (mm)

Scanning

drive axis : Theta-2Theta
scan range : 10.0000 - 90.0000 (deg)
scan mode : Continuous Scan
scan speed : 3.0000 (deg/min)
sampling pitch : 0.0200 (deg)
preset time : 0.40 (sec)



Strongest 3 peaks

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I ₁	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	2	12.9024	6.85583	100	2.95000	73	6986
2	3	13.5797	6.51537	93	0.00000	68	0
3	4	14.7955	5.98260	70	1.78000	51	6015

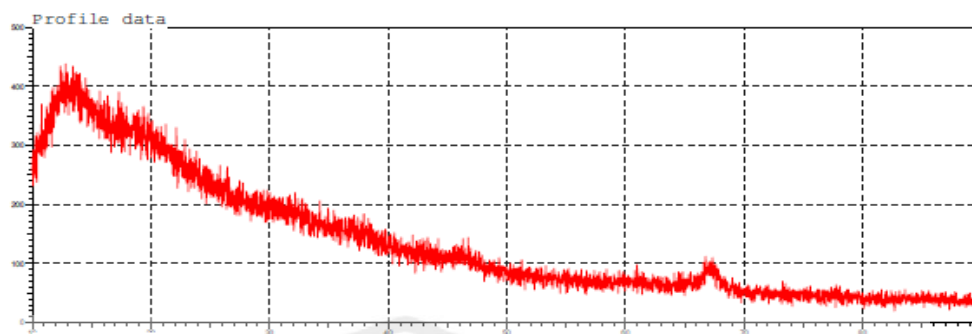
# Peak Data List						
peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I ₁	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	10.8335	8.16001	30	0.48000	22	613
2	12.9024	6.85583	100	2.95000	73	6986
3	13.5797	6.51537	93	0.00000	68	0
4	14.7955	5.98260	70	1.78000	51	6015
5	16.1918	5.46970	41	0.00000	30	0
6	17.0499	5.19630	38	0.00000	28	0
7	18.1679	4.87898	42	0.00000	31	0
8	19.0458	4.65602	41	0.00000	30	0
9	20.4814	4.33279	36	1.00000	26	2275
10	21.6583	4.09993	21	1.08000	15	886
11	22.9702	3.86866	8	0.19000	6	123
12	24.9012	3.57286	4	0.06000	3	30
13	25.6000	3.47689	4	0.06000	3	30
14	26.6482	3.34246	3	0.04000	2	13
15	27.8363	3.20244	5	0.14000	4	58
16	28.4554	3.13415	3	0.06000	2	18
17	30.0083	2.97541	3	0.03000	2	10
18	31.6080	2.82837	7	0.09330	5	57
19	33.7791	2.65138	3	0.08000	2	11
20	34.6782	2.58467	7	0.08000	5	67
21	37.0961	2.42157	10	0.22000	7	161
22	37.7056	2.38381	11	0.42000	8	233
23	38.2851	2.34905	5	0.14000	4	60
24	39.8340	2.26121	5	0.08000	4	50
25	41.3080	2.18386	5	0.15000	4	36
26	43.6615	2.07144	5	0.18000	4	42
27	45.7403	1.98202	8	0.30000	6	179
28	47.0197	1.93103	7	0.10000	5	69
29	48.1541	1.88815	3	0.09000	2	16
30	52.9869	1.72676	3	0.04000	2	10
31	54.4264	1.68444	3	0.04000	2	14
32	55.9308	1.64265	4	0.03000	3	21
33	57.2653	1.60750	5	0.36000	4	82
34	58.2149	1.58352	4	0.34000	3	97
35	59.9843	1.54097	3	0.04000	2	11
36	61.6038	1.50428	4	0.08000	3	37
37	62.8034	1.47840	3	0.04000	2	8
38	63.9431	1.45477	3	0.16000	2	26
39	64.8628	1.43635	5	0.20000	4	51
40	65.8825	1.41657	5	0.56000	4	165
41	67.1871	1.39220	26	1.29000	19	1315
42	72.6605	1.30022	4	0.04000	3	24
43	74.1601	1.27759	3	0.28000	2	35
44	76.0796	1.25006	3	0.04000	2	10
45	76.8694	1.23918	3	0.06000	2	16
46	78.4589	1.21801	3	0.08000	2	20
47	80.4184	1.19319	3	0.04000	2	9
48	81.7181	1.17747	3	0.20000	2	30
49	83.7975	1.15346	4	0.04000	3	22
50	84.7373	1.14305	5	0.28000	4	90
51	85.3471	1.13644	5	0.06000	4	28

4.3 Hasil Karakterisasi XRD KOH/ γ -Al₂O₃ Hidrotermal

```
# Measurement Condition
X-ray tube
target      : Cu
voltage     : 30.0 (kV)
current     : 30.0 (mA)

slits
Auto slit   : not Used
divergence slit : 1.00000 (deg)
scatter slit  : 1.00000 (deg)
receiving slit : 0.15000 (mm)

Scanning
drive axis   : Theta-2Theta
scan range   : 10.0000 - 90.0000 (deg)
scan mode    : Continuous Scan
scan speed   : 3.0000 (deg/min)
sampling pitch : 0.0200 (deg)
preset time  : 0.40 (sec)
```



# Strongest 3 peaks							
no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I ₁	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	2	12.7431	6.94117	100	2.58660	80	7731
2	3	13.6394	6.48699	98	0.00000	78	0
3	4	14.3569	6.16437	84	0.00000	67	0

#	Peak	Data List					
	peak no.	2Theta	d	I/I1	FWHM	Intensity	Integrated Int
		(deg)	(Å)		(deg)	(Counts)	(Counts)
	1	10.8931	8.11550	34	0.84000	27	1210
	2	12.7431	6.94117	100	2.58660	80	7731
	3	13.6394	6.48699	98	0.00000	78	0
	4	14.3569	6.16437	84	0.00000	67	0
	5	15.2941	5.78867	61	0.00000	49	0
	6	15.4138	5.74398	60	0.00000	48	0
	7	15.7928	5.60698	54	0.00000	43	0
	8	16.4712	5.37754	41	0.00000	33	0
	9	17.3494	5.10727	41	0.00000	33	0
	10	18.7468	4.72960	46	0.00000	37	0
	11	19.4645	4.55680	39	0.00000	30	0
	12	19.9829	4.43974	38	0.00000	31	0
	13	21.2194	4.18374	29	0.96000	23	2596
	14	22.6758	3.91821	11	0.00000	9	0
	15	23.8134	3.73355	6	0.00000	5	0
	16	25.0110	3.55742	6	0.04000	5	33
	17	26.3886	3.37475	3	0.04000	2	10
	18	27.5567	3.23429	6	0.10000	5	64
	19	28.7550	3.10218	4	0.10000	3	50
	20	29.5839	3.01712	6	0.04000	5	36
	21	30.1431	2.96241	6	0.08000	5	65
	22	31.0121	2.88135	9	0.30000	7	294
	23	32.3938	2.76153	11	0.25330	9	310
	24	33.0648	2.70701	9	0.17000	7	119
	25	34.1987	2.61981	6	0.20000	5	118
	26	35.8671	2.50167	3	0.06000	2	9
	27	37.0611	2.42377	11	0.29000	9	208
	28	37.9804	2.36719	8	0.39000	6	223
	29	41.4679	2.17581	3	0.05000	2	5
	30	42.7920	2.11150	4	0.08000	3	25
	31	43.7115	2.06919	4	0.04000	3	16
	32	45.7503	1.98161	10	0.44000	8	346
	33	46.6299	1.94626	11	0.28000	9	246
	34	47.4095	1.91606	6	0.12000	5	81
	35	50.9678	1.79032	3	0.04000	2	15
	36	51.9174	1.75979	3	0.14000	2	18
	37	52.6471	1.73710	3	0.08000	2	15
	38	54.9761	1.66889	3	0.10000	2	15
	39	56.0157	1.64036	3	0.06000	2	17
	40	57.5952	1.59907	3	0.14000	2	33
	41	58.4449	1.57783	5	0.16000	4	45
	42	59.7044	1.54752	5	0.16000	4	81
	43	60.4142	1.53102	3	0.18000	2	58
	44	61.0940	1.51561	4	0.18000	3	73
	45	62.5035	1.48477	5	0.20000	4	69
	46	65.1827	1.43007	8	0.28000	6	124
	47	67.1321	1.39320	28	1.18000	22	1409
	48	73.1204	1.29317	4	0.24000	3	99
	49	74.3201	1.27524	3	0.08000	2	20
	50	75.6297	1.25638	3	0.10000	2	32
	51	76.7194	1.24123	3	0.08000	2	27
	52	77.5392	1.23014	4	0.04000	3	23
	53	78.7089	1.21476	3	0.22000	2	42
	54	79.4887	1.20479	5	0.34000	4	103
	55	80.6484	1.19037	4	0.26000	3	76
	56	82.1380	1.17251	3	0.08000	2	18
	57	83.6376	1.15526	4	0.04000	3	26
	58	84.7473	1.14294	3	0.18000	2	32
	59	85.5521	1.13424	4	0.27000	3	67
	60	86.8267	1.12083	4	0.14000	3	50
	61	88.7162	1.10178	3	0.04000	2	10

4.4 Hasil Karakterisasi XRD KOH/ γ -Al₂O₃ Sonikasi

Measurement Condition

X-ray tube

target : Cu
voltage : 30.0 (kv)
current : 30.0 (ma)

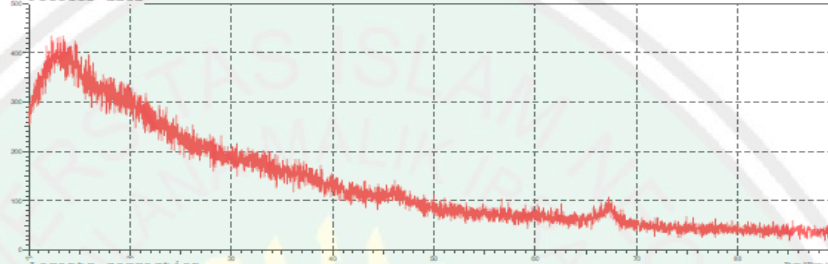
slits

Auto slit : not Used
divergence slit : 1.00000 (deg)
scatter slit : 1.00000 (deg)
receiving slit : 0.15000 (mm)

Scanning

drive axis : Theta-2Theta
scan range : 10.0000 - 90.0000 (deg)
scan mode : Continuous Scan
scan speed : 3.0000 (deg/min)
sampling pitch : 0.0200 (deg)
preset time : 0.40 (sec)

Profile data



# Strongest 3 peaks						
no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I ₁	FWHM (deg)	Intensity (Counts)
1	2	12.6037	7.01763	100	2.76000	74
2	3	13.2808	6.66133	97	0.00000	72
3	4	14.0978	6.27707	91	4.16000	67

# Peak Data List						
peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I ₁	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	10.7937	8.19001	38	0.60000	28	935
2	12.6037	7.01763	100	2.76000	74	6552
3	13.2808	6.66133	97	0.00000	72	0
4	14.0978	6.27707	91	4.16000	67	8059
5	16.2517	5.44967	47	0.00000	35	0
6	17.5091	5.06104	38	0.00000	28	0
7	18.2278	4.86308	39	0.00000	29	0
8	19.8433	4.47066	38	1.16000	28	2316
9	20.7806	4.27108	26	1.36000	19	796
10	21.6383	4.10368	19	0.92000	14	653
11	23.3693	3.80348	11	0.37000	8	196
12	24.3423	3.65361	9	0.10000	7	102
13	26.4335	3.36912	3	0.05000	2	7
14	27.3770	3.25511	8	0.14000	6	118
15	28.9447	3.08228	4	0.04000	3	19
16	30.1431	2.96241	3	0.04000	2	13
17	30.4627	2.93205	3	0.04000	2	19
18	30.8872	2.89271	5	0.05000	4	24
19	31.7412	2.81681	4	0.08000	3	50
20	32.4754	2.75478	11	0.17000	8	159
21	33.3495	2.68455	8	0.06000	6	45
22	33.7391	2.65443	3	0.04000	2	15
23	34.0188	2.63325	5	0.16000	4	43
24	35.4475	2.53032	4	0.10000	3	34
25	36.6664	2.44895	7	0.10000	5	56
26	36.8529	2.43699	7	0.11330	5	53
27	37.1960	2.41529	8	0.08000	6	81
28	37.6057	2.38991	9	0.14000	7	158
29	40.0988	2.24688	7	0.13000	5	95
30	42.0025	2.14934	8	0.30000	6	131
31	43.4916	2.07914	3	0.04000	2	9
32	44.7409	2.02394	4	0.10000	3	38
33	45.9602	1.97305	16	0.58000	12	412
34	46.8697	1.93686	11	0.60000	8	317
35	48.3890	1.87953	4	0.08000	3	28
36	49.8483	1.82788	7	0.12000	5	90
37	51.3076	1.77926	4	0.12000	3	47
38	52.4771	1.74233	5	0.14000	4	64
39	54.9162	1.67057	5	0.22000	4	59
40	56.7755	1.62020	5	0.18000	4	58
41	57.3153	1.60621	5	0.18000	4	74
42	58.7847	1.56952	4	0.04000	3	18
43	59.7144	1.54728	5	0.18000	4	99
44	60.6141	1.52645	5	0.22000	4	149
45	62.2902	1.48935	7	0.05330	5	37
46	63.9231	1.45518	5	0.16000	4	81
47	64.6628	1.44031	5	0.20000	4	68
48	66.4823	1.40524	18	1.04000	13	607
49	67.1221	1.39339	30	1.16000	22	1049
50	73.6602	1.28502	5	0.24000	4	67
51	74.9399	1.26622	5	0.36000	4	89
52	75.4548	1.25885	7	0.19000	5	87
53	77.3892	1.23215	5	0.26000	4	83

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
54	78.0391	1.22350	4	0.04000	3	22
55	79.4887	1.20479	4	0.10000	3	43
56	80.8083	1.18841	3	0.14000	2	33
57	81.5481	1.17949	3	0.26000	2	69
58	83.6376	1.15526	5	0.28000	4	78
59	84.6273	1.14426	4	0.06000	3	34
60	85.5971	1.13376	7	0.24000	5	149
61	86.9567	1.11949	4	0.04000	3	24
62	88.2264	1.10663	3	0.26000	2	90
63	89.0461	1.09855	4	0.06000	3	32

4.5 Hasil Karakterisasi XRF γ -Al₂O₃

19-Jun-2017 09:26:15

Sample results

Page 1

Sample ident
E 250

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	19-Jun-2017 08:51:09
Position	4

Compound	Al	P	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	Ba	Re
Conc	88.7	1.8	2.42	0.19	0.27	0.24	0.882	3.81	0.58	0.17	0.24	0.3	0.4
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

E 250 (γ -Al₂O₃)

4.6 Hasil Karakterisasi XRF KOH/ γ -Al₂O₃ Impregnasi Basah

19-Jun-2017 09:27:37

Sample results

Page 1

Sample ident
E 251

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	19-Jun-2017 08:53:11
Position	5

Compound	Al	P	K	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	Ba	Re
Conc	34.8	0.58	57.9	0.19	0.19	0.18	0.79	3.84	0.55	0.15	0.14	0.4	0.3
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

E 251 (KOH/ γ -Al₂O₃ impregnasi basah)

4.7 Hasil Karakterisasi XRF KOH/ γ -Al₂O₃ Hidrotermal

19-Jun-2017 09:28:51

Sample results

Page 1

Sample ident													
E 252													

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	19-Jun-2017 08:55:16
Position	6

Compound	Al	P	K	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	Br	Ba	Re
Conc	38.7	0.52	54.3	0.16	0.21	0.18	0.77	3.54	0.51	0.17	0.12	0.16	0.5	0.2
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

E 252 (KOH/ γ -Al₂O₃ Hidrotermal)

4.8 Hasil Karakterisasi XRF KOH/ γ -Al₂O₃ Sonikasi

19-Jun-2017 09:30:09

Sample results

Page 1

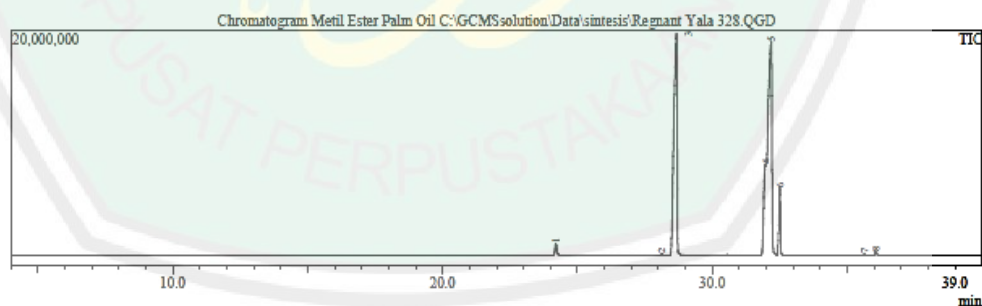
Sample ident													
E 253													

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	19-Jun-2017 08:57:22
Position	7

Compound	Al	P	K	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	Re
Conc	32.9	0.56	59.9	0.31	0.20	0.19	0.87	3.96	0.57	0.18	0.13	0.3
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

E 252 (KOH/ γ -Al₂O₃ Sonikasi)

4.9 Hasil GC-MS Reaksi Transesterifikasi (KOH/ γ -Al₂O₃ Impregnasi Basah)



Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Peak Report TIC		A/H	Mark
						Height	Height%		
1	24.196	24.100	24.317	4200108	1.37	1047933	2.38	4.00	MI
2	28.115	28.017	28.183	612576	0.20	162560	0.37	3.77	MI
3	28.671	28.400	28.783	160470550	52.39	19627603	44.57	8.17	MI
4	31.973	31.850	32.000	12714236	4.15	1458282	3.31	4.77	MI
5	32.178	32.025	32.267	105473984	34.44	15626404	35.49	6.74	MI
6	32.495	32.417	32.550	21356965	6.97	5687635	12.92	3.75	MI
7	35.641	35.592	35.692	350636	0.11	106254	0.24	3.29	MI
8	36.061	36.008	36.117	1118176	0.37	318829	0.72	3.50	MI
				306297231	100.00	44035500	100.00		

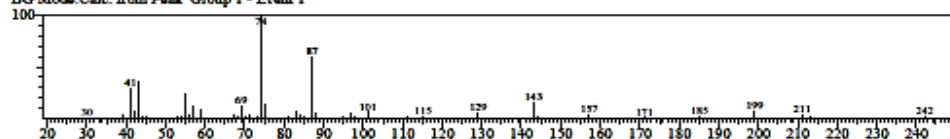
Library

<< Target >>

Line#:1 R.Time:24.192(Scan#:2424) MassPeaks:68

RawMode: Averaged 24.183-24.200(2423-2425) BasePeak:74.05(232451)

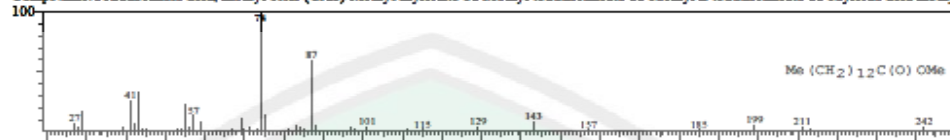
BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:148370 Library:WILEY7.LIB

SI:97 Formula:C15 H30 O2 CAS:124-10-7 MolWeight:242 RefIndex:0

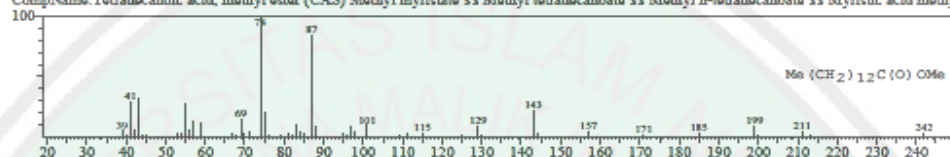
CompName:Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl myristate \$\$ Methyl tetradecanoate \$\$ Methyl n-tetradecanoate \$\$ Myristic acid methyl



Hit#2 Entry:148367 Library:WILEY7.LIB

SI:95 Formula:C15 H30 O2 CAS:124-10-7 MolWeight:242 RefIndex:0

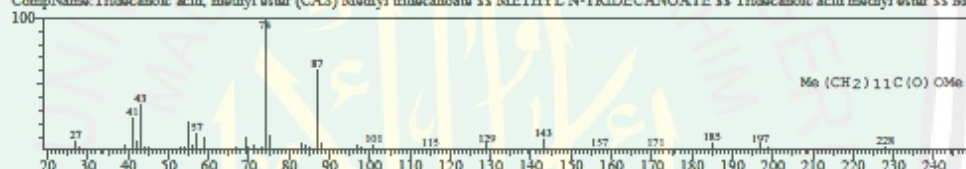
CompName:Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl myristate \$\$ Methyl tetradecanoate \$\$ Methyl n-tetradecanoate \$\$ Myristic acid methyl



Hit#3 Entry:131463 Library:WILEY7.LIB

SI:95 Formula:C14 H28 O2 CAS:1731-88-0 MolWeight:228 RefIndex:0

CompName:Tridecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl tridecanoate \$\$ METHYL N-TRIDECANOATE \$\$ Tridecanoic acid methyl ester \$\$ Maf

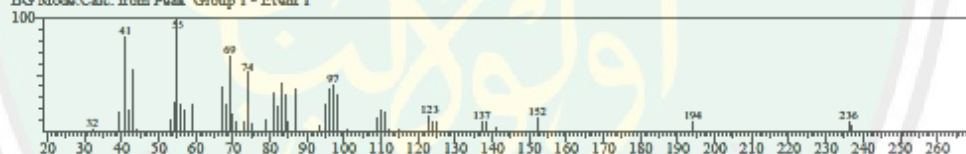


<< Target >>

Line#:2 R.Time:28.117(Scan#:2895) MassPeaks:48

RawMode: Averaged 28.108-28.125(2894-2896) BasePeak:55.05(14817)

BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:178120 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula:C17 H32 O2 CAS:1120-25-8 MolWeight:268 RefIndex:0

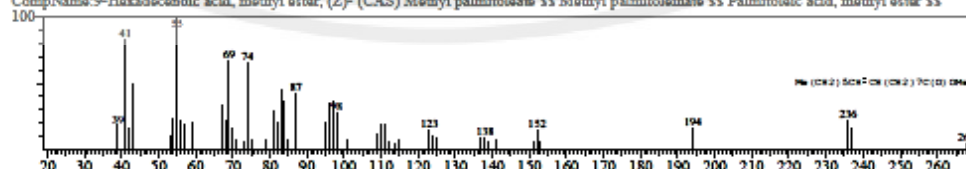
CompName:9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) Methyl palmitoleate \$\$ Methyl palmitoleinate \$\$ Palmitoleic acid, methyl ester \$\$



Hit#2 Entry:178119 Library:WILEY7.LIB

SI:95 Formula:C17 H32 O2 CAS:1120-25-8 MolWeight:268 RefIndex:0

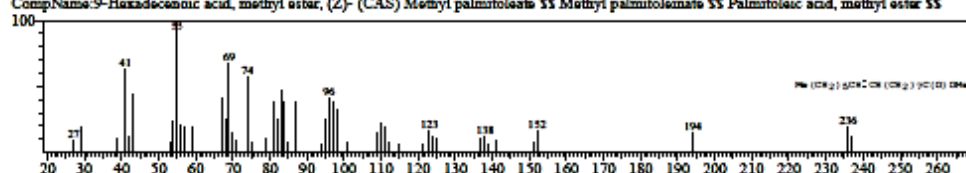
CompName:9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) Methyl palmitoleate \$\$ Methyl palmitoleinate \$\$ Palmitoleic acid, methyl ester \$\$



Hit#3 Entry:178118 Library:WILEY7.LIB

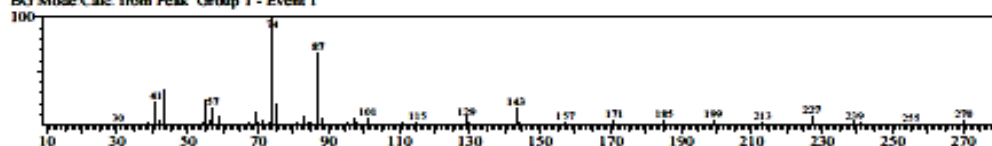
SI:95 Formula:C17 H32 O2 CAS:1120-25-8 MolWeight:268 RefIndex:0

CompName:9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) Methyl palmitoleate \$\$ Methyl palmitoleinate \$\$ Palmitoleic acid, methyl ester \$\$



<< Target >>

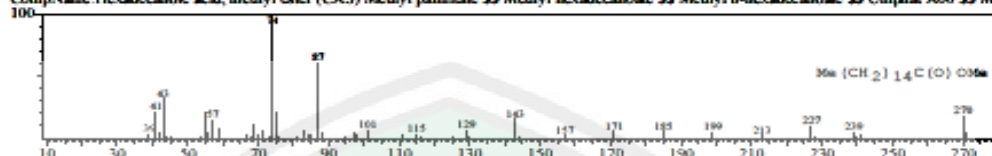
Line# 3 R-Time:28.675(Scan# 2962) MassPeaks:161
 RawMode: Averaged 28.667-28.683(2961-2963) BasePeak: 74.05(4191358)
 BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit# 1 Entry:180435 Library:WILEY7.LIB

SI 97 Formula: C17 H34 O2 CAS:112-39-0 MolWeight: 270 RefIndex:0

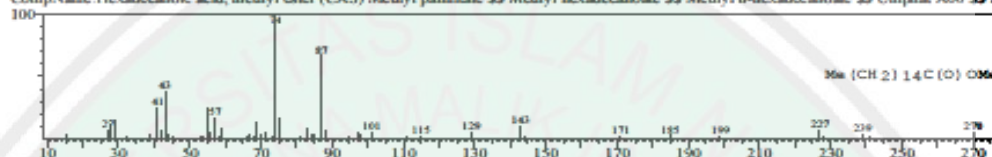
CompName: Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate SS Methyl hexadecanoate SS Methyl n-hexadecanoate SS Uniphac A60 SS Mer



Hit# 2 Entry:180432 Library:WILEY7.LIB

SI 96 Formula: C17 H34 O2 CAS:112-39-0 MolWeight: 270 RefIndex:0

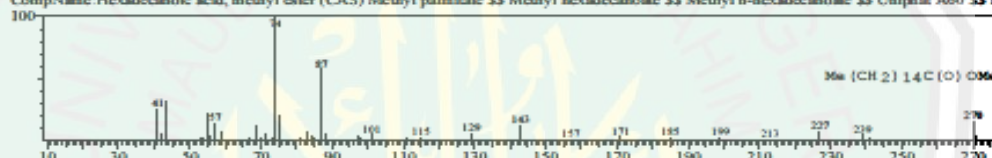
CompName: Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate SS Methyl hexadecanoate SS Methyl n-hexadecanoate SS Uniphac A60 SS Mer



Hit# 3 Entry:180438 Library:WILEY7.LIB

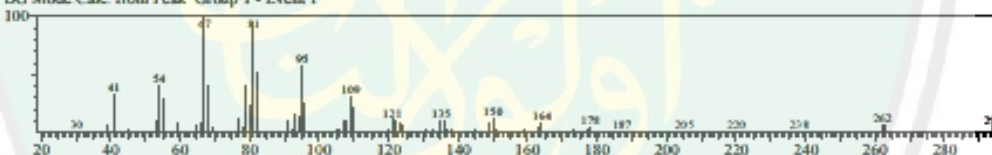
SI 96 Formula: C17 H34 O2 CAS:112-39-0 MolWeight: 270 RefIndex:0

CompName: Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate SS Methyl hexadecanoate SS Methyl n-hexadecanoate SS Uniphac A60 SS Mer



<< Target >>

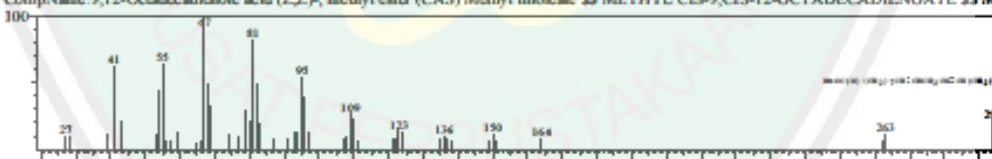
Line# 4 R-Time:31.975(Scan# 3358) MassPeaks:115
 RawMode: Averaged 31.967-31.983(3357-3359) BasePeak: 67.05(177570)
 BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit# 1 Entry:205817 Library:WILEY7.LIB

SI 87 Formula: C19 H34 O2 CAS:112-63-0 MolWeight: 294 RefIndex:0

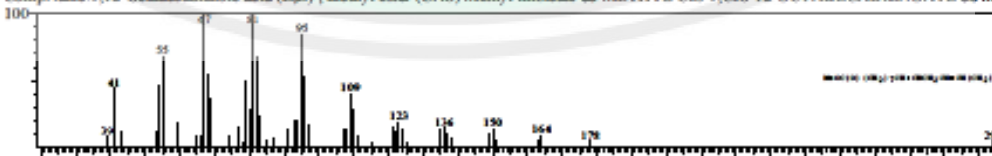
CompName: 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (CAS) Methyl linolate SS METHYL CIS-9,CIS-12-OCTADECADIENOATE SS Meth



Hit# 2 Entry:205819 Library:WILEY7.LIB

SI 87 Formula: C19 H34 O2 CAS:112-63-0 MolWeight: 294 RefIndex:0

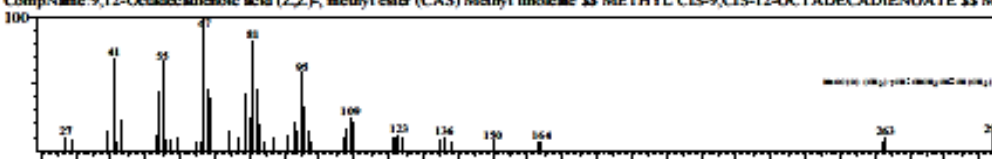
CompName: 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (CAS) Methyl linolate SS METHYL CIS-9,CIS-12-OCTADECADIENOATE SS Meth



Hit# 3 Entry:205820 Library:WILEY7.LIB

SI 86 Formula: C19 H34 O2 CAS:112-63-0 MolWeight: 294 RefIndex:0

CompName: 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (CAS) Methyl linolate SS METHYL CIS-9,CIS-12-OCTADECADIENOATE SS Meth

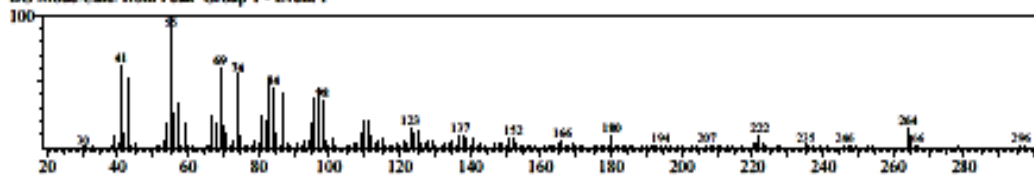


<< Target >>

Line# 5 R.Time:32.175(Scan# 3382) MassPeaks:198

RawMode: Averaged 32.167-32.183(3381-3383) BasePeak: 55.05(1253725)

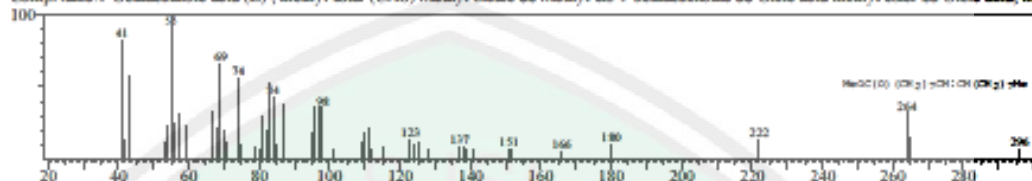
BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit# 1 Entry:207863 Library:WILEY7.LIB

SI:95 Formula:C19 H36 O2 CAS:112-62-9 MolWeight:296 RefIndex:0

CompName:9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS) Methyl oleate \$\$ Methyl cis-9-octadecenoate \$\$ Oleic acid methyl ester \$\$ Oleic acid, methyl ester



Hit# 2 Entry:207531 Library:WILEY7.LIB

SI:95 Formula:C19 H36 O2 CAS:1937-63-9 MolWeight:296 RefIndex: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



Hit# 3 Entry:207529 Library:WILEY7.LIB

SI:95 Formula:C19 H36 O2 CAS:13481-95-3 MolWeight:296 RefIndex:0

CompName:10-Octadecenoic acid, methyl ester (CAS) METHYL OCTADEC-10-ENOATE \$\$

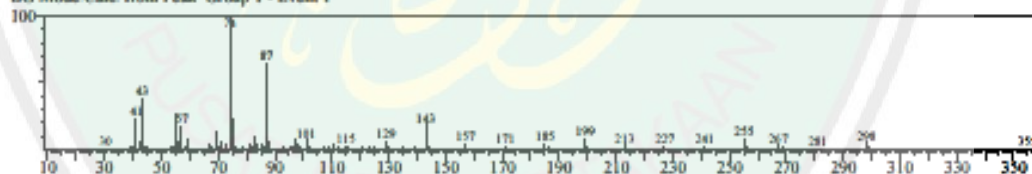


<< Target >>

Line# 6 R.Time:32.492(Scan# 3420) MassPeaks:143

RawMode: Averaged 32.483-32.500(3419-3421) BasePeak: 74.05(1117639)

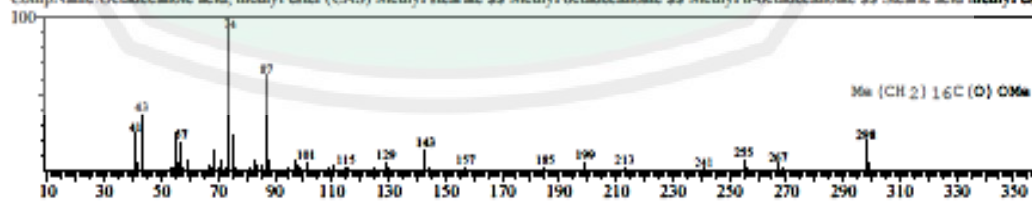
BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit# 1 Entry:209841 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula:C19 H38 O2 CAS:112-61-8 MolWeight:298 RefIndex:0

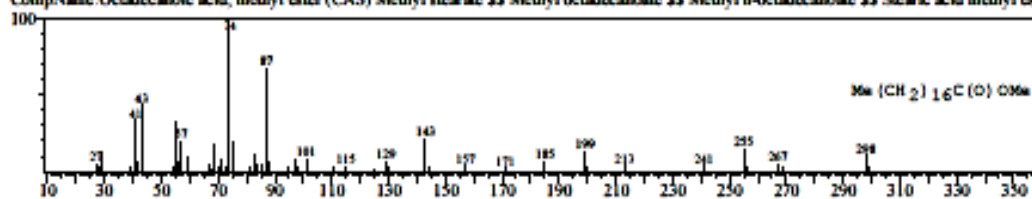
CompName:Octadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl stearate \$\$ Methyl octadecanoate \$\$ Methyl n-octadecanoate \$\$ Stearic acid methyl ester



Hit# 2 Entry:209839 Library:WILEY7.LIB

SI:95 Formula:C19 H38 O2 CAS:112-61-8 MolWeight:298 RefIndex:0

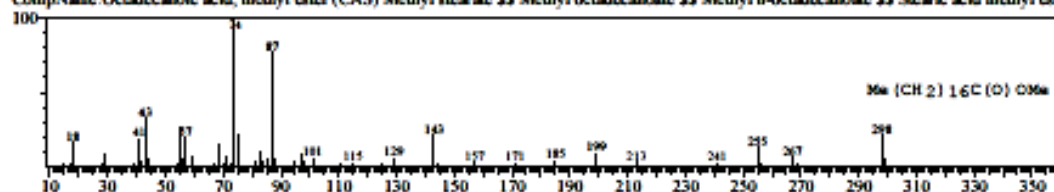
CompName:Octadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl stearate \$\$ Methyl octadecanoate \$\$ Methyl n-octadecanoate \$\$ Stearic acid methyl ester



Hit# 3 Entry: 209840 Library: WILEY7.LIB

SI: 95 Formula: C19 H34 O2 CAS: 112-61-8 MolWeight: 298 RefIndex: 0

CompName: Octadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl stearate \$\$ Methyl octadecanoate \$\$ Methyl n-octadecanoate \$\$ Stearic acid methyl ester

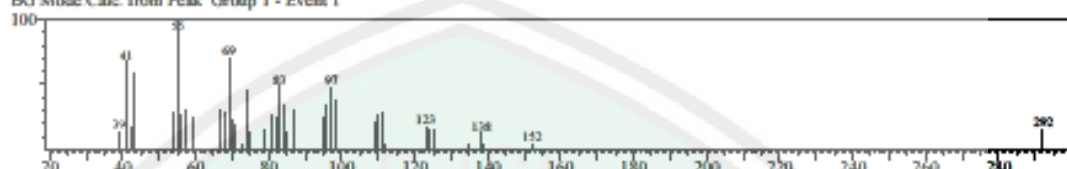


<< Target >>

Line# 7 R. Time: 35.642 (Scan# 3798) MassPeaks: 40

RawMode: Averaged 35.633-35.650 (3797-3799) BasePeak: 55.10 (9192)

BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit# 1 Entry: 193360 Library: WILEY7.LIB

SI: 91 Formula: C18 H34 O2 CAS: 10152-61-1 MolWeight: 282 RefIndex: 0

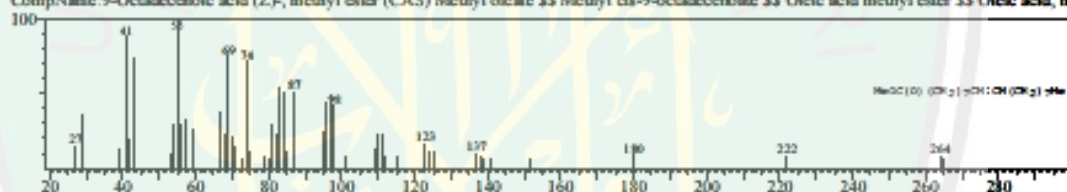
CompName: Cyclopropanecarboxylic acid, 2-hexyl-, methyl ester (CAS) METHYL 9,10-METHYLENE HEXADECANOATE \$\$



Hit# 2 Entry: 207855 Library: WILEY7.LIB

SI: 91 Formula: C19 H34 O2 CAS: 112-62-9 MolWeight: 296 RefIndex: 0

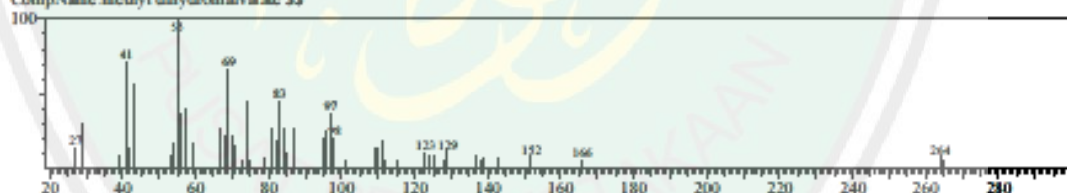
CompName: 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS) Methyl oleate \$\$ Methyl cis-9-octadecenoate \$\$ Oleic acid methyl ester \$\$ Oleic acid, methyl ester



Hit# 3 Entry: 207516 Library: WILEY7.LIB

SI: 91 Formula: C19 H36 O2 CAS: 0-00-0 MolWeight: 296 RefIndex: 0

CompName: methyl dihydromaleate \$\$

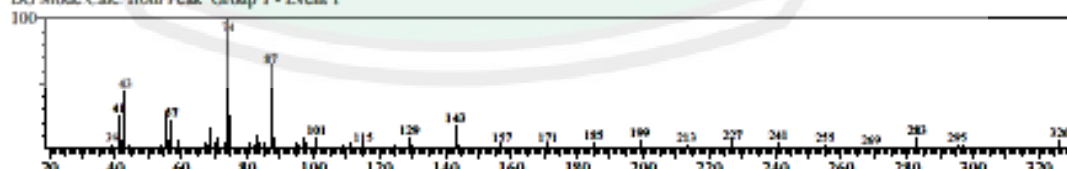


<< Target >>

Line# 8 R. Time: 36.058 (Scan# 3848) MassPeaks: 58

RawMode: Averaged 36.050-36.067 (3847-3849) BasePeak: 74.05 (57959)

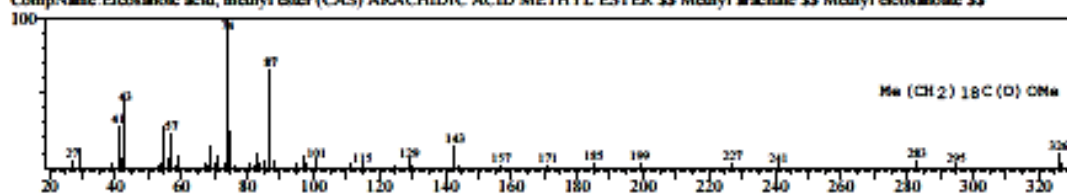
BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit# 1 Entry: 235755 Library: WILEY7.LIB

SI: 95 Formula: C21 H42 O2 CAS: 1120-28-1 MolWeight: 326 RefIndex: 0

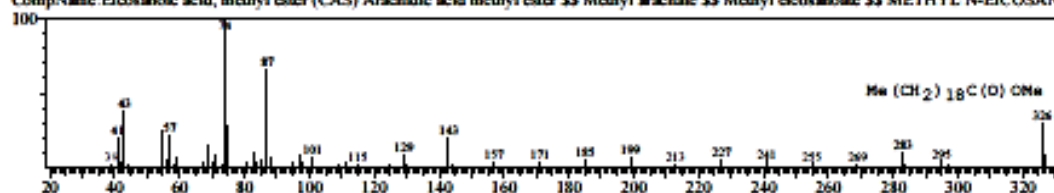
CompName: Eicosanoic acid, methyl ester (CAS) ARACHIDIC ACID METHYL ESTER \$\$ Methyl arachate \$\$ Methyl eicosanoate \$\$



Hit# 2 Entry: 235757 Library: WILEY7.LIB

SI: 94 Formula: C₂₁H₄₂O₂ CAS: 1120-28-1 MolWeight: 326 RetIndex: 0

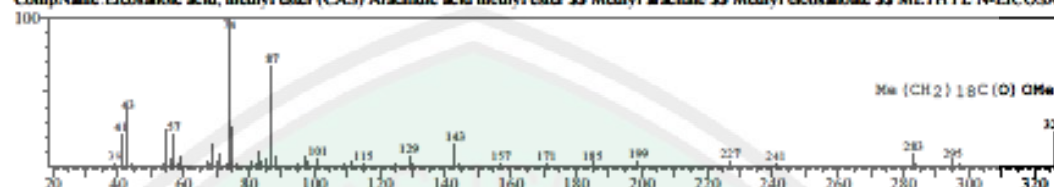
CompName: Eicosanoic acid, methyl ester (CAS) Arachidic acid methyl ester SS Methyl arachate SS Methyl eicosanoate SS METHYL N-EICOSAN



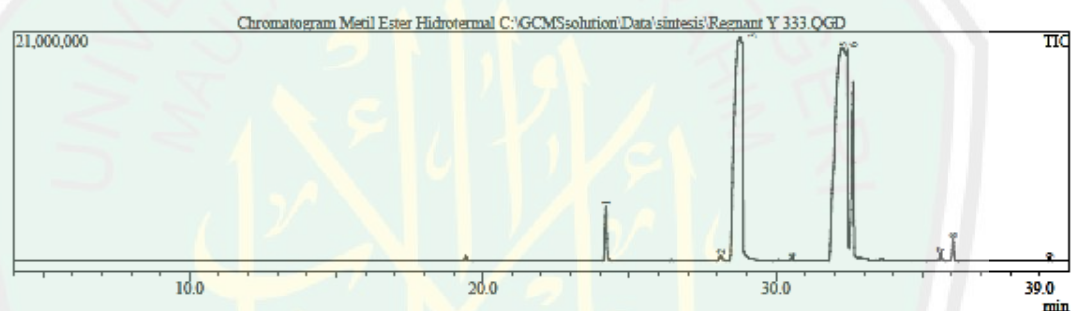
Hit# 3 Entry: 235754 Library: WILEY7.LIB

SI: 93 Formula: C₂₁H₄₂O₂ CAS: 1120-28-1 MolWeight: 326 RetIndex: 0

CompName: Eicosanoic acid, methyl ester (CAS) Arachidic acid methyl ester SS Methyl arachate SS Methyl eicosanoate SS METHYL N-EICOSAN



4.10 Hasil GC-MS Reaksi Transesterifikasi (KOH/ γ -Al₂O₃ Hidrotermal)



Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Peak Report TIC		A/H	Mark
						Height	Height%		
1	24.203	24.058	24.350	20474505	1.99	5013039	7.89	4.08	MI
2	28.114	27.983	28.242	3142693	0.31	558227	0.88	5.62	MI
3	28.759	28.392	28.967	38938386	37.86	20272921	31.91	19.20	MI
4	30.550	30.442	30.667	1688362	0.16	292667	0.46	5.76	MI
5	32.298	31.800	32.492	519753690	50.54	18585561	29.26	27.81	MI
6	32.643	32.517	32.775	80862786	7.86	15669144	24.67	5.16	MI
7	35.629	35.517	35.783	3551899	0.35	798583	1.26	4.44	MI
8	36.050	35.950	36.158	8485973	0.83	2072976	3.26	4.09	MI
9	39.352	39.250	39.425	1025926	0.10	259700	0.41	3.93	MI
				1028369720	100.00	63522818	100.00		

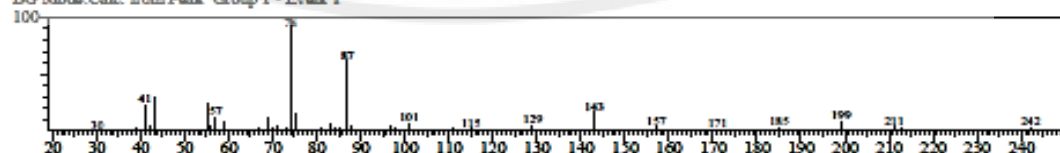
Library

<< Target >>

Line#: 1 R.Time: 24.200 (Scan#: 2425) MassPeaks: 108

RawMode: Averaged 24.192-24.208 (2424-2426) BasePeak: 74.05 (1160209)

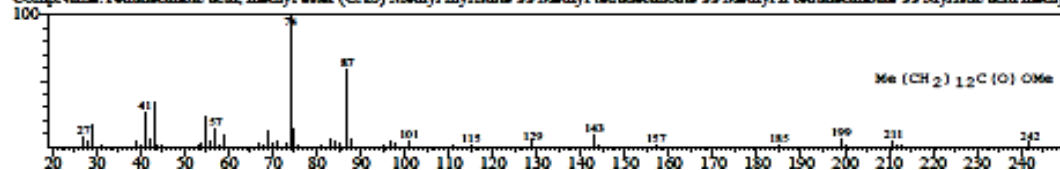
BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



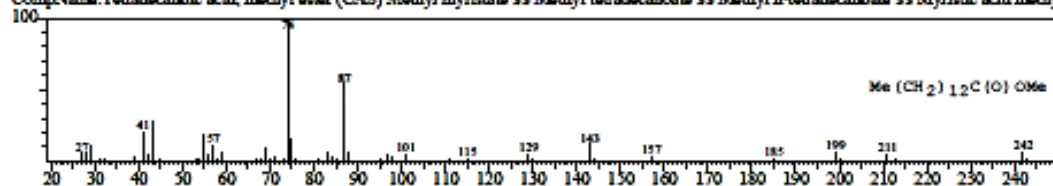
Hit# 1 Entry: 148570 Library: WILEY7.LIB

SI: 97 Formula: C₁₅H₃₀O₂ CAS: 124-10-7 MolWeight: 242 RetIndex: 0

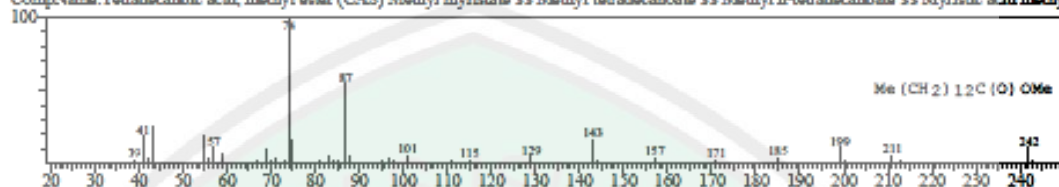
CompName: Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl myristate SS Methyl tetradecanoate SS Methyl n-tetradecanoate SS Myristic acid methyl



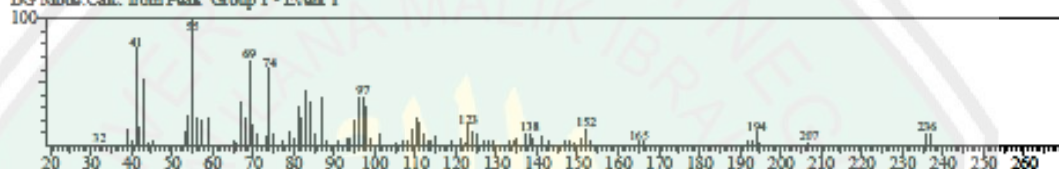
Hit#2 Entry:148366 Library:WILEY7.LIB
 SI:96 Formula:C15H30O2 CAS:124-10-7 MolWeight:242 RefIndex:0
 CompName:Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl myristate SS Methyl tetradecanoate SS Methyl n-tetradecanoate SS Myristic acid methyl



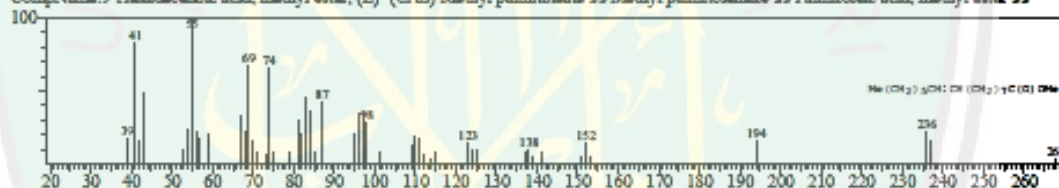
Hit#3 Entry:148369 Library:WILEY7.LIB
 SI:96 Formula:C15H30O2 CAS:124-10-7 MolWeight:242 RefIndex:0
 CompName:Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl myristate SS Methyl tetradecanoate SS Methyl n-tetradecanoate SS Myristic acid methyl



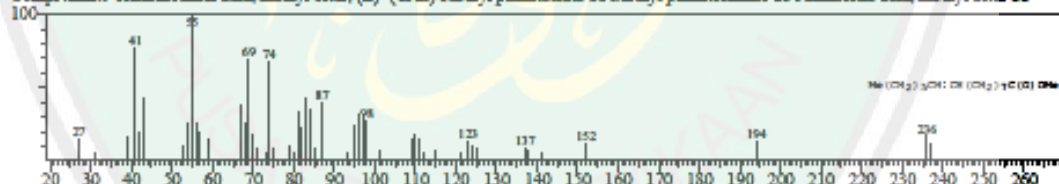
<< Target >>
 Line#2 R.Time:28.117(Scan#2895) MassPeaks:87
 RawMode:Avraged 28.108-28.125(2894-2896) BasePeak:55.05(44665)
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



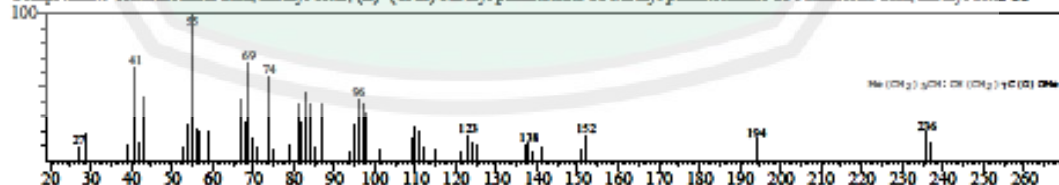
Hit#1 Entry:178119 Library:WILEY7.LIB
 SI:97 Formula:C17H32O2 CAS:1120-25-8 MolWeight:268 RefIndex:0
 CompName:9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) Methyl palmitoleate SS Methyl palmitoleinate SS Palmitoleic acid, methyl ester SS



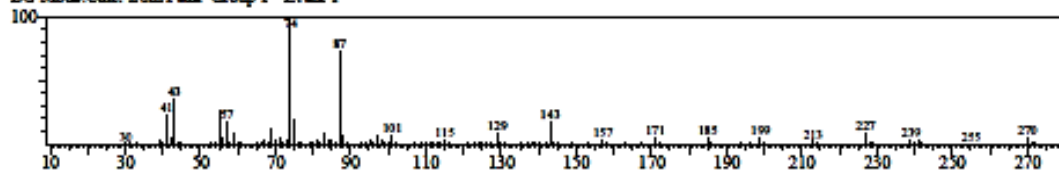
Hit#2 Entry:178120 Library:WILEY7.LIB
 SI:96 Formula:C17H32O2 CAS:1120-25-8 MolWeight:268 RefIndex:0
 CompName:9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) Methyl palmitoleate SS Methyl palmitoleinate SS Palmitoleic acid, methyl ester SS



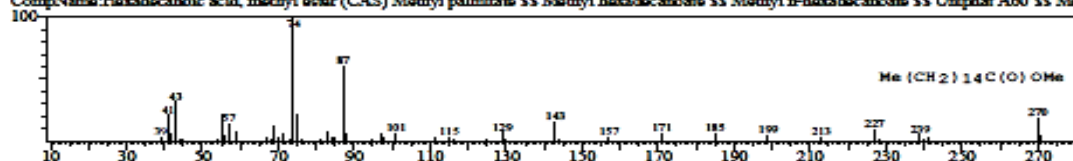
Hit#3 Entry:178118 Library:WILEY7.LIB
 SI:96 Formula:C17H32O2 CAS:1120-25-8 MolWeight:268 RefIndex:0
 CompName:9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) Methyl palmitoleate SS Methyl palmitoleinate SS Palmitoleic acid, methyl ester SS



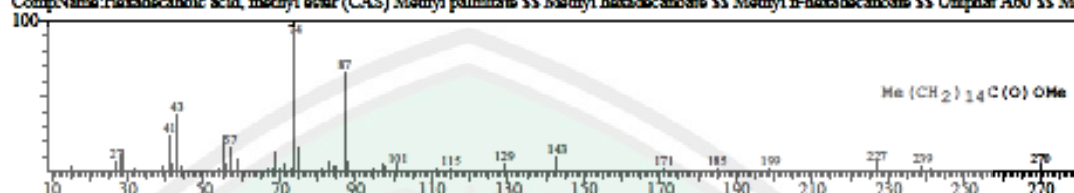
<< Target >>
 Line#3 R.Time:28.758(Scan#2972) MassPeaks:161
 RawMode:Avraged 28.750-28.767(2971-2973) BasePeak:74.00(4115174)
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:180435 Library:WILEY7.LIB
 SL96 Formula:C17H34O2 CAS:112-39-0 MolWeight:270 RefIndex:0
 CompName:Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate SS Methyl hexadecanoate SS Methyl n-hexadecanoate SS Uniphast A60 SS Me



Hit#2 Entry:180432 Library:WILEY7.LIB
 SL96 Formula:C17H34O2 CAS:112-39-0 MolWeight:270 RefIndex:0
 CompName:Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate SS Methyl hexadecanoate SS Methyl n-hexadecanoate SS Uniphast A60 SS Me



Hit#3 Entry:180434 Library:WILEY7.LIB
 SL95 Formula:C17H34O2 CAS:112-39-0 MolWeight:270 RefIndex:0
 CompName:Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate SS Methyl hexadecanoate SS Methyl n-hexadecanoate SS Uniphast A60 SS Me



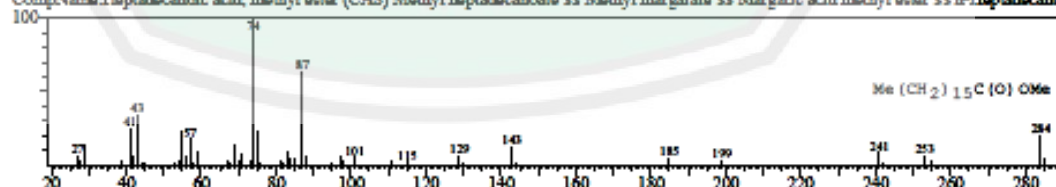
<< Target >>
 Line#4 R.Time:30.550(Scan#3187) MassPeaks:47
 RawMode:Averaged 30.542-30.558(3186-3188) BasePeak:74.05(62914)
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



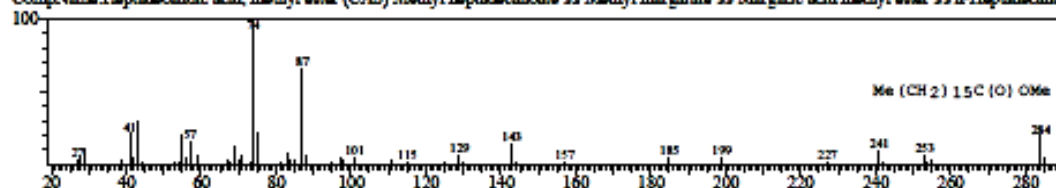
Hit#1 Entry:195586 Library:WILEY7.LIB
 SL96 Formula:C18H36O2 CAS:1731-92-6 MolWeight:284 RefIndex:0
 CompName:Heptadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl heptadecanoate SS Methyl margarate SS Margaric acid methyl ester SS



Hit#2 Entry:195589 Library:WILEY7.LIB
 SL95 Formula:C18H36O2 CAS:1731-92-6 MolWeight:284 RefIndex:0
 CompName:Heptadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl heptadecanoate SS Methyl margarate SS Margaric acid methyl ester SS n-Heptadecanoic

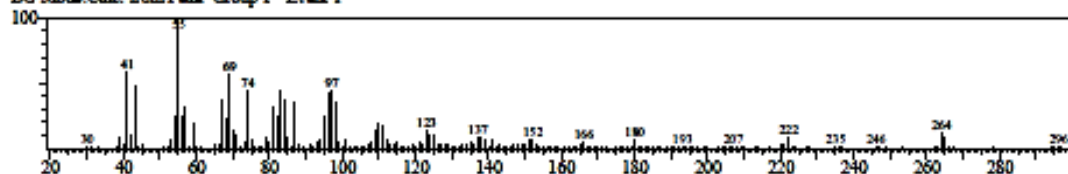


Hit#3 Entry:195585 Library:WILEY7.LIB
 SL95 Formula:C18H36O2 CAS:1731-92-6 MolWeight:284 RefIndex:0
 CompName:Heptadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl heptadecanoate SS Methyl margarate SS Margaric acid methyl ester SS n-Heptadecanoic



<< Target >>

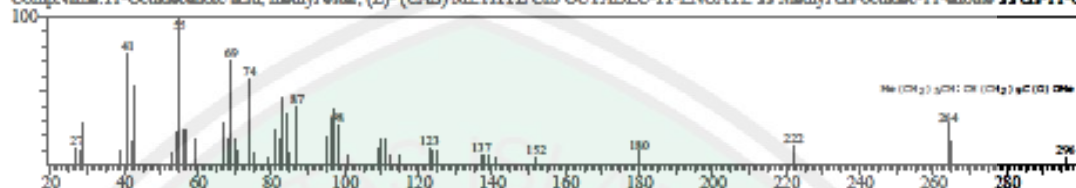
Line#5 R.Time:32.300(Scan#3397) MassPeak:213
 RawMode:Avraged 32.292-32.308(3396-3398) BasePeak:55.05(1508601)
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:207531 Library:WILEY7.LIB

SI:94 Formula:C19H36O2 CAS:1937-63-9 MolWeight:296 RefIndex:0

CompName:11-Octadecanoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) METHYL CIS OCTADEC-11-ENOATE \$\$ Methyl cis-octadec-11-enolate \$\$ cis-11-O



Hit#2 Entry:207863 Library:WILEY7.LIB

SI:94 Formula:C19H36O2 CAS:112-62-9 MolWeight:296 RefIndex:0

CompName:9-Octadecanoic acid (Z)-, methyl ester (CAS) Methyl oleate \$\$ Methyl cis-9-octadecanoate \$\$ Oleic acid methyl ester \$\$ Oleic acid, me



Hit#3 Entry:207865 Library:WILEY7.LIB

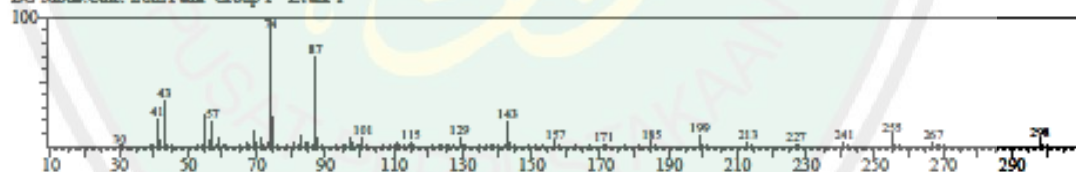
SI:94 Formula:C19H36O2 CAS:112-62-9 MolWeight:296 RefIndex:0

CompName:9-Octadecanoic acid (Z)-, methyl ester (CAS) Methyl oleate \$\$ Methyl cis-9-octadecanoate \$\$ Oleic acid methyl ester \$\$ Oleic acid, me



<< Target >>

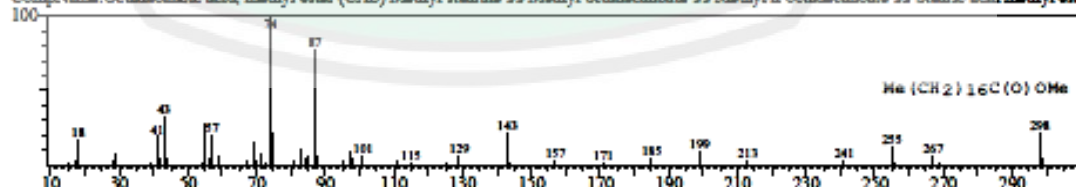
Line#6 R.Time:32.642(Scan#3438) MassPeak:175
 RawMode:Avraged 32.633-32.650(3437-3439) BasePeak:74.00(3126998)
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:209840 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula:C19H38O2 CAS:112-61-8 MolWeight:298 RefIndex:0

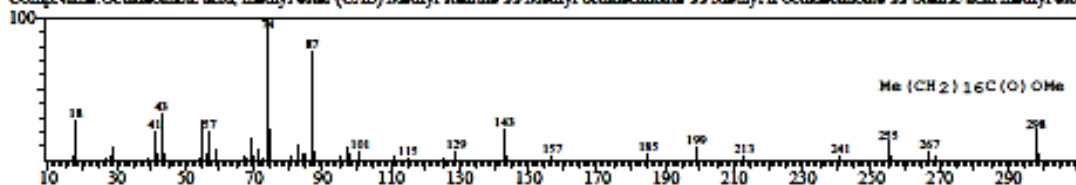
CompName:Octadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl stearate \$\$ Methyl octadecanoate \$\$ Methyl n-octadecanoate \$\$ Stearic acid methyl ester



Hit#2 Entry:209842 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula:C19H38O2 CAS:112-61-8 MolWeight:298 RefIndex:0

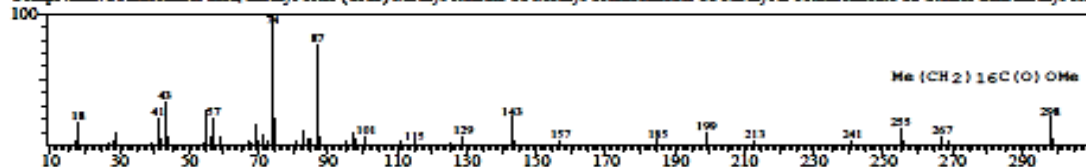
CompName:Octadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl stearate \$\$ Methyl octadecanoate \$\$ Methyl n-octadecanoate \$\$ Stearic acid methyl ester



Hit#3 Entry:209838 Library:WILEY7.LIB

SL95 Formula:C19 H38 O2 CAS:112-61-8 MolWeight:298 RefIndex:0

CompName:Octadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl stearate \$\$ Methyl octadecanoate \$\$ Methyl n-octadecanoate \$\$ Stearic acid methyl ester

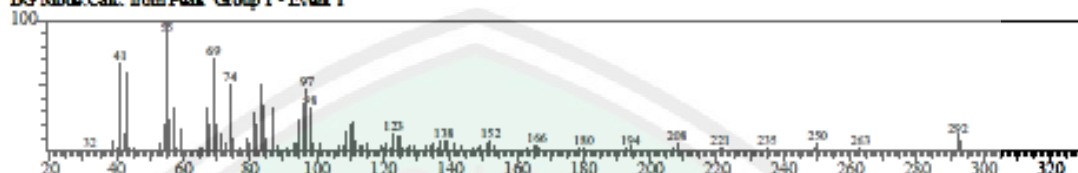


<< Target >>

Line#7 R.Time:35.625(Scan#3796) MassPeaks:104

RawMode: Averaged 35.617-35.633(3795-3797) BasePeak:55.05(62395)

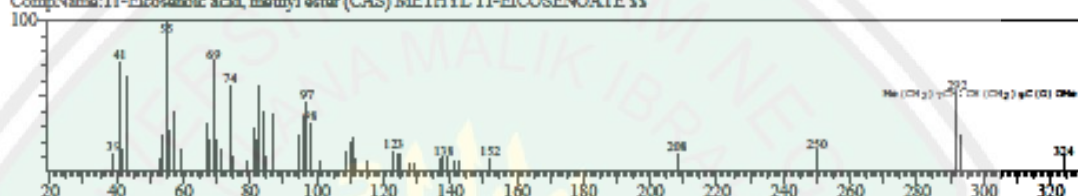
BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:234091 Library:WILEY7.LIB

SL94 Formula:C21 H40 O2 CAS:3946-08-5 MolWeight:324 RefIndex:0

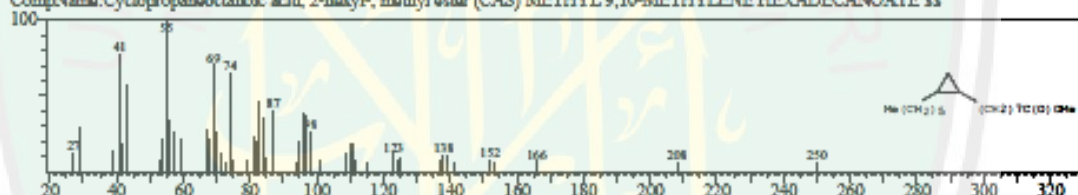
CompName:11-Eicosanoic acid, methyl ester (CAS) METHYL 11-EICOSENOATE \$\$



Hit#2 Entry:193360 Library:WILEY7.LIB

SL94 Formula:C18 H34 O2 CAS:10152-61-1 MolWeight:282 RefIndex:0

CompName:Cyclopropaneoctanoic acid, 2-hexyl-, methyl ester (CAS) METHYL 9,10-METHYLENE HEXADECANOATE \$\$



Hit#3 Entry:207855 Library:WILEY7.LIB

SL92 Formula:C19 H36 O2 CAS:112-62-9 MolWeight:296 RefIndex:0

CompName:9-Octadecanoic acid (Z)-, methyl ester (CAS) Methyl oleate \$\$ Methyl cis-9-octadecanoate \$\$ Oleic acid methyl ester \$\$ Oleic acid, methyl ester

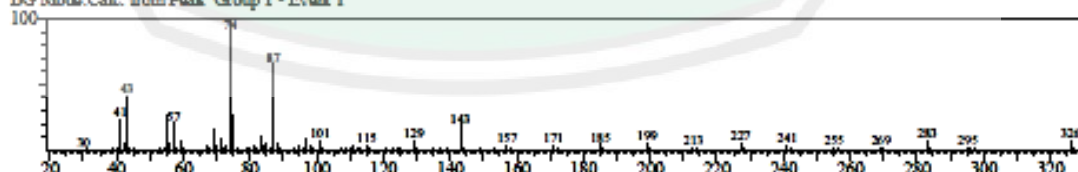


<< Target >>

Line#8 R.Time:36.050(Scan#3847) MassPeaks:103

RawMode: Averaged 36.042-36.058(3846-3848) BasePeak:74.00(381175)

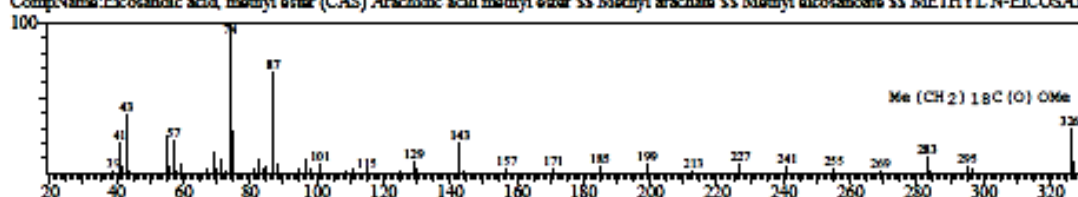
BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:235757 Library:WILEY7.LIB

SL96 Formula:C21 H42 O2 CAS:1120-28-1 MolWeight:326 RefIndex:0

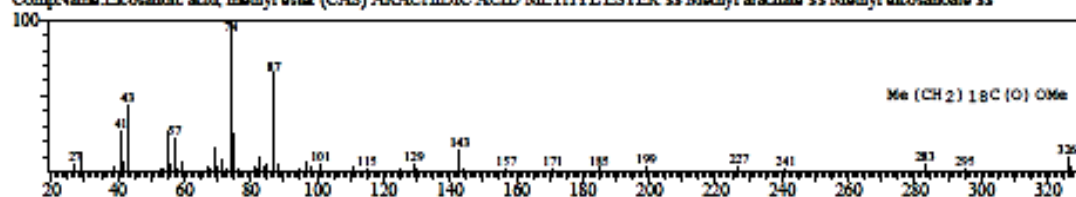
CompName:Eicosanoic acid, methyl ester (CAS) Arachidic acid methyl ester \$\$ Methyl arachate \$\$ Methyl eicosanoate \$\$ METHYL N-EICOSAN



Hit#2 Entry:235755 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula:C21 H42 O2 CAS:1120-28-1 MolWeight:326 RefIndex:0

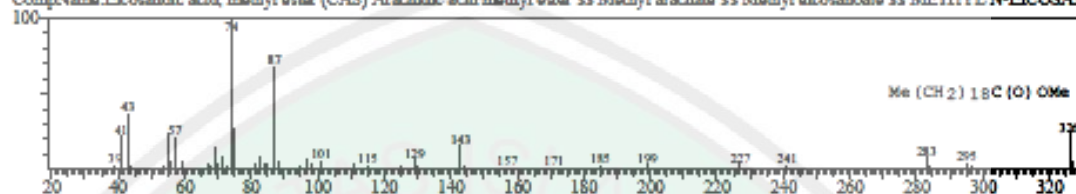
CompName:Eicosanoic acid, methyl ester (CAS) ARACHIDIC ACID METHYL ESTER \$\$ Methyl arachate \$\$ Methyl eicosanoate \$\$



Hit#3 Entry:235754 Library:WILEY7.LIB

SI:95 Formula:C21 H42 O2 CAS:1120-28-1 MolWeight:326 RefIndex:0

CompName:Eicosanoic acid, methyl ester (CAS) Arachidic acid methyl ester \$\$ Methyl arachate \$\$ Methyl eicosanoate \$\$ METHYL N-EICOSAN

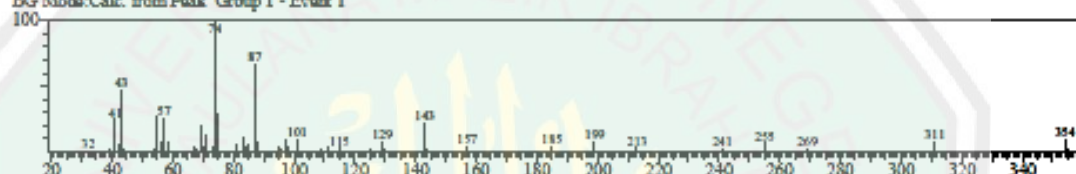


<< Target >>

Line#9 R Time:39.350(Scan#4243) MassPeaks:50

RawMode:Avraged 39.342-39.358(4242-4244) BasePeak:74.00(46137)

BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Evant 1



Hit#1 Entry:257361 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula:C23 H46 O2 CAS:929-77-1 MolWeight:354 RefIndex:0

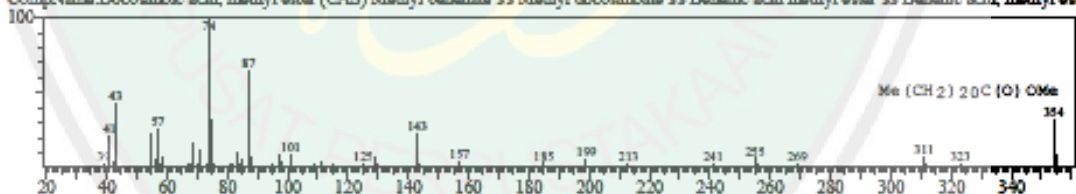
CompName:Docosanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl behenate \$\$ Methyl docosanoate \$\$ Behenic acid methyl ester \$\$



Hit#2 Entry:257365 Library:WILEY7.LIB

SI:95 Formula:C23 H46 O2 CAS:929-77-1 MolWeight:354 RefIndex:0

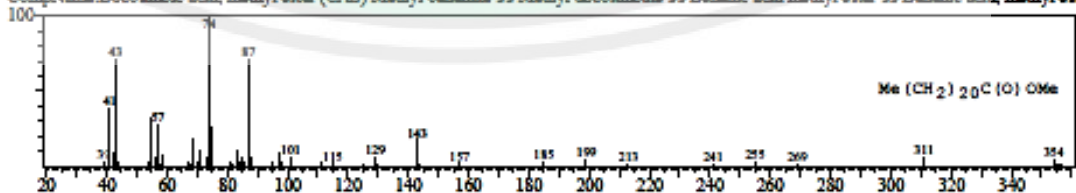
CompName:Docosanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl behenate \$\$ Methyl docosanoate \$\$ Behenic acid methyl ester \$\$ Behenic acid, methyl es



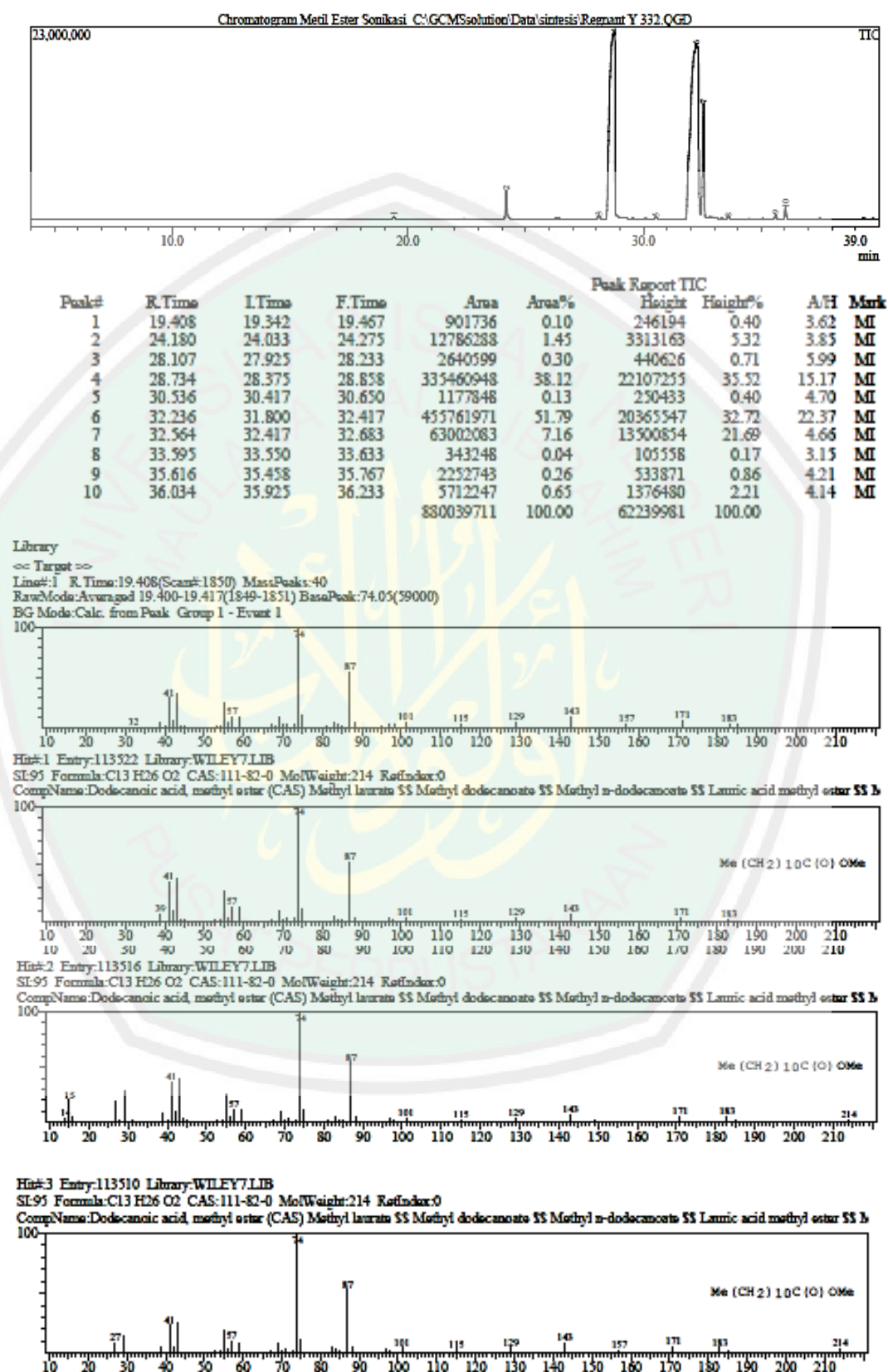
Hit#3 Entry:257368 Library:WILEY7.LIB

SI:94 Formula:C23 H46 O2 CAS:929-77-1 MolWeight:354 RefIndex:0

CompName:Docosanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl behenate \$\$ Methyl docosanoate \$\$ Behenic acid methyl ester \$\$ Behenic acid, methyl es

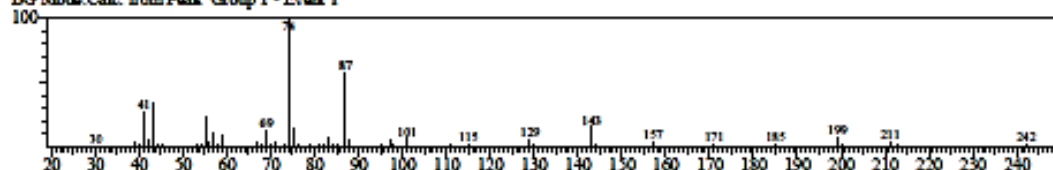


4.11 Hasil GC-MS Reaksi Transesterifikasi (KOH/ γ -Al₂O₃ Sonikasi)



<< Target >>

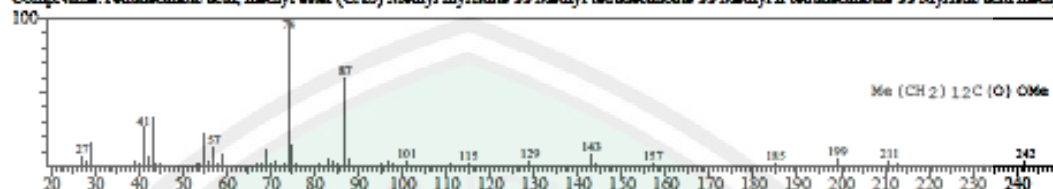
Line# 2 R.Time:24.183(Scan#2423) MassPeaks:98
 RawMode: Averaged 24.175-24.192(2422-2424) BasePeak:74.05(753973)
 BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:148370 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula: C15 H30 O2 CAS:124-10-7 MolWeight:242 RefIndex:0

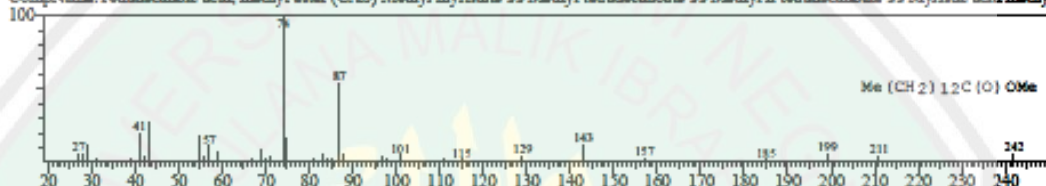
CompName: Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl myristate SS Methyl tetradecanoate SS Methyl n-tetradecanoate SS Myristic acid methyl



Hit#2 Entry:148366 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula: C15 H30 O2 CAS:124-10-7 MolWeight:242 RefIndex:0

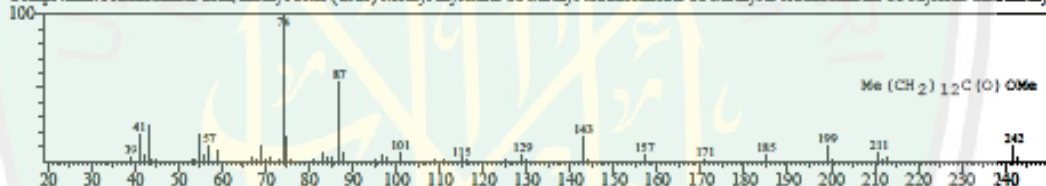
CompName: Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl myristate SS Methyl tetradecanoate SS Methyl n-tetradecanoate SS Myristic acid methyl



Hit#3 Entry:148369 Library:WILEY7.LIB

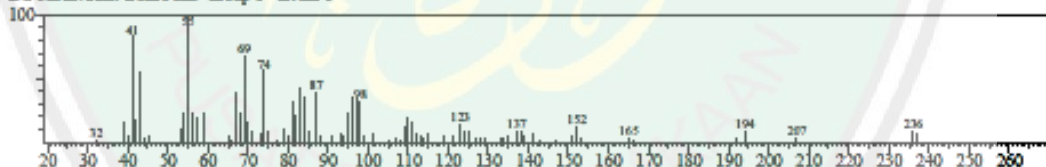
SI:95 Formula: C15 H30 O2 CAS:124-10-7 MolWeight:242 RefIndex:0

CompName: Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl myristate SS Methyl tetradecanoate SS Methyl n-tetradecanoate SS Myristic acid methyl



<< Target >>

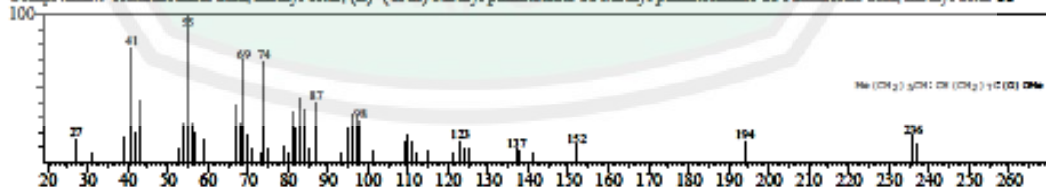
Line# 3 R.Time:28.108(Scan#2894) MassPeaks:80
 RawMode: Averaged 28.100-28.117(2893-2895) BasePeak:55.03(36604)
 BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:178120 Library:WILEY7.LIB

SI:97 Formula: C17 H32 O2 CAS:1120-25-8 MolWeight:268 RefIndex:0

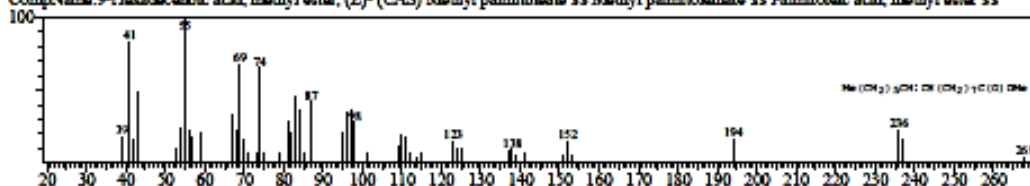
CompName: 9-Hexadecanoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) Methyl palmitoleate SS Methyl palmitoleinate SS Palmitoleic acid, methyl ester SS



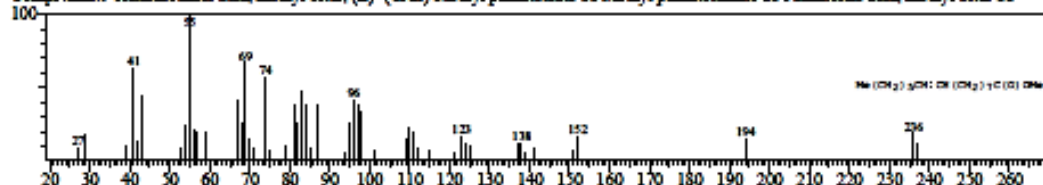
Hit#2 Entry:178119 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula: C17 H32 O2 CAS:1120-25-8 MolWeight:268 RefIndex:0

CompName: 9-Hexadecanoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) Methyl palmitoleate SS Methyl palmitoleinate SS Palmitoleic acid, methyl ester SS

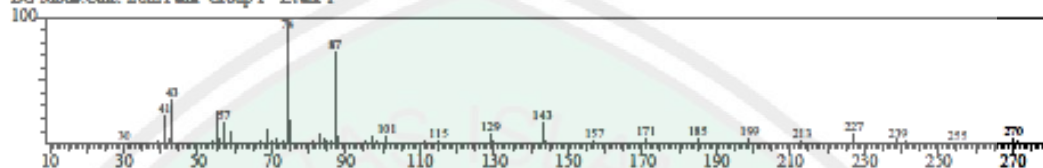


Hit#3 Entry:178118 Library:WILEY7.LIB
 SI:96 Formula:C17H32O2 CAS:1120-25-8 MolWeight:268 RefIndex:0
 CompName:9-Hexadecanoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) Methyl palmitoleate SS Methyl palmitoleate SS Palmitoleic acid, methyl ester SS

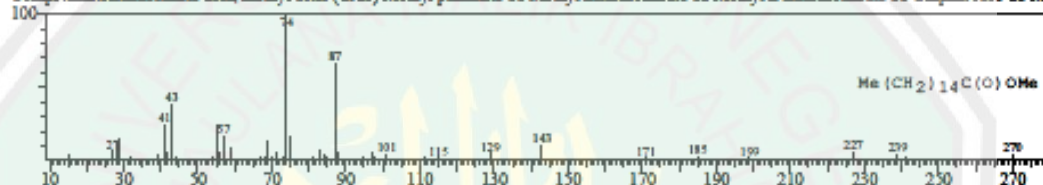


<< Target >>

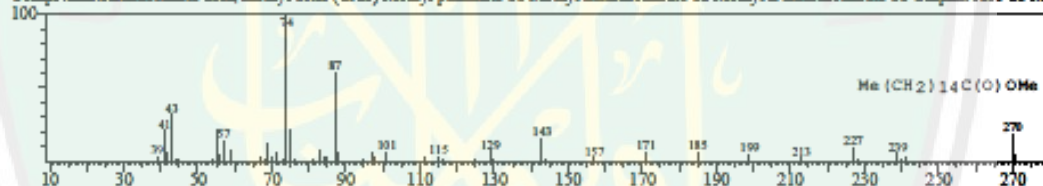
Line#4 R.Time:28.733(Scan#2969) MassPeaks:162
 RawMode: Averaged 28.725-28.742(2968-2970) BasePeak:74.05(4563729)
 BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



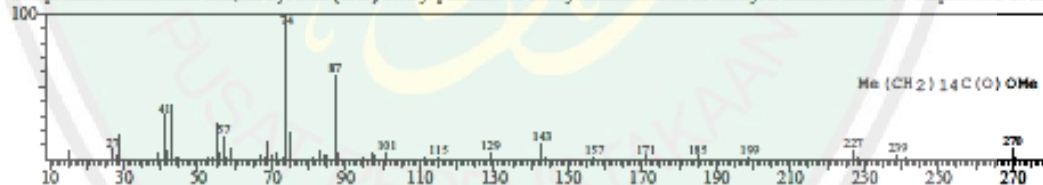
Hit#1 Entry:180432 Library:WILEY7.LIB
 SI:96 Formula:C17H34O2 CAS:112-39-0 MolWeight:270 RefIndex:0
 CompName:Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate SS Methyl hexadecanoate SS Methyl n-hexadecanoate SS Uniphyl A60 SS Me



Hit#2 Entry:180435 Library:WILEY7.LIB
 SI:96 Formula:C17H34O2 CAS:112-39-0 MolWeight:270 RefIndex:0
 CompName:Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate SS Methyl hexadecanoate SS Methyl n-hexadecanoate SS Uniphyl A60 SS Me

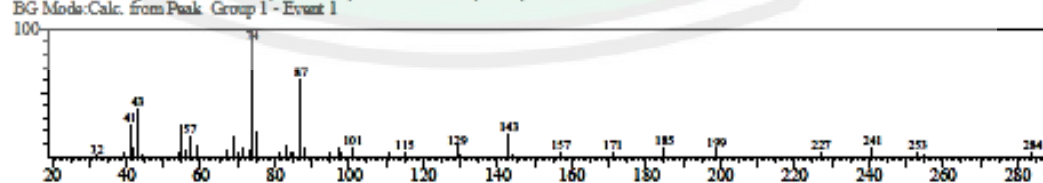


Hit#3 Entry:180433 Library:WILEY7.LIB
 SI:96 Formula:C17H34O2 CAS:112-39-0 MolWeight:270 RefIndex:0
 CompName:Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate SS Methyl hexadecanoate SS Methyl n-hexadecanoate SS Uniphyl A60 SS Me



<< Target >>

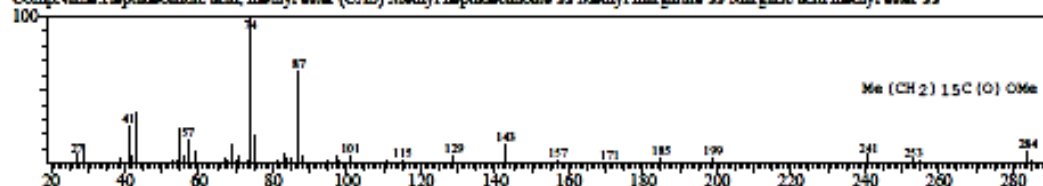
Line#5 R.Time:30.533(Scan#3185) MassPeaks:43
 RawMode: Averaged 30.525-30.542(3184-3186) BasePeak:74.00(54824)
 BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:195586 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula:C18H36O2 CAS:1731-92-6 MolWeight:284 RefIndex:0

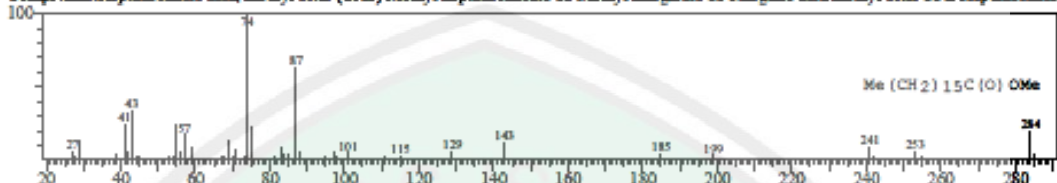
CompName:Haptadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl heptadecanoate \$\$ Methyl margarate \$\$ Margaric acid methyl ester \$\$



Hit#2 Entry:195589 Library:WILEY7.LIB

SI:94 Formula:C18H36O2 CAS:1731-92-6 MolWeight:284 RefIndex:0

CompName:Haptadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl heptadecanoate \$\$ Methyl margarate \$\$ Margaric acid methyl ester \$\$ n-Haptadecanoic acid



Hit#3 Entry:195585 Library:WILEY7.LIB

SI:94 Formula:C18H36O2 CAS:1731-92-6 MolWeight:284 RefIndex:0

CompName:Haptadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl heptadecanoate \$\$ Methyl margarate \$\$ Margaric acid methyl ester \$\$ n-Haptadecanoic acid

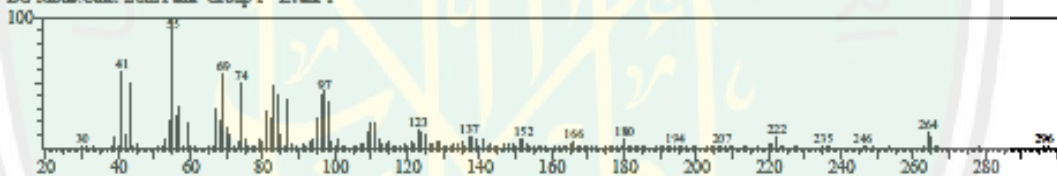


<< Target >>

Line#6 R.Time:32.233(Scan#3389) MassPeak#210

RawMode:Average 32.225-32.242(3388-3390) BasePeak:55.05(1670994)

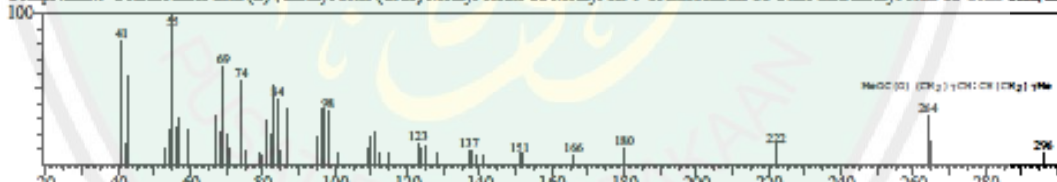
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:207863 Library:WILEY7.LIB

SI:95 Formula:C19H36O2 CAS:112-62-9 MolWeight:296 RefIndex:0

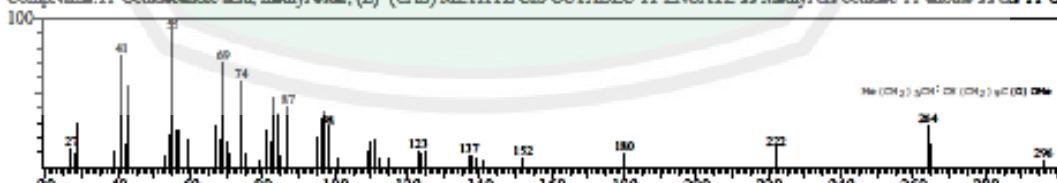
CompName:9-Octadecanoic acid (Z)-, methyl ester (CAS) Methyl oleate \$\$ Methyl cis-octadecanoate \$\$ Oleic acid methyl ester \$\$ Oleic acid, methyl ester



Hit#2 Entry:207531 Library:WILEY7.LIB

SI:95 Formula:C19H36O2 CAS:1937-63-9 MolWeight:296 RefIndex:0

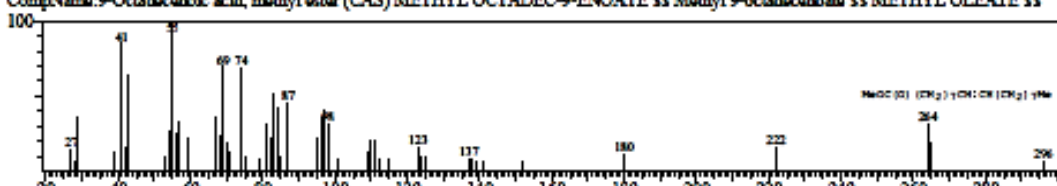
CompName:11-Octadecanoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) METHYL CIS OCTADEC-11-ENOATE \$\$ Methyl cis-octadec-11-enoate \$\$ cis-11-Octadecanoic acid, methyl ester



Hit#3 Entry:207859 Library:WILEY7.LIB

SI:95 Formula:C19H36O2 CAS:2462-84-2 MolWeight:296 RefIndex:0

CompName:9-Octadecanoic acid, methyl ester (CAS) METHYL OCTADEC-9-ENOATE \$\$ Methyl 9-octadecanoate \$\$ METHYL OLEATE \$\$

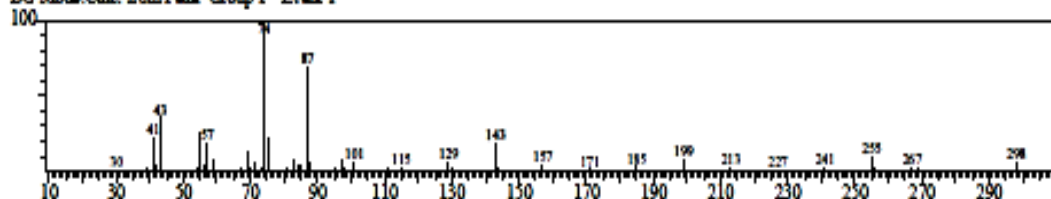


<< Target >>

Line#7 R.Time:32.567(Scan#3429) MassPeaks:171

RawMode: Averaged 32.558-32.575(3428-3430) BasePeak:74.05(2650682)

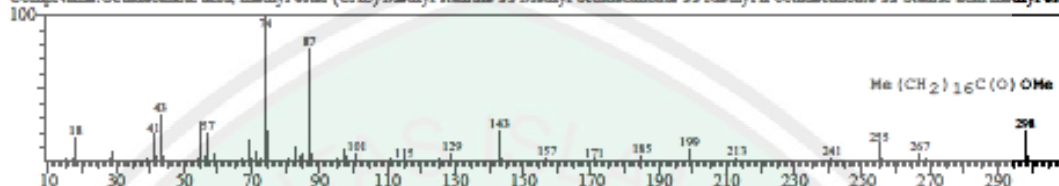
BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:209840 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula:C19H38O2 CAS:112-61-8 MolWeight:298 RefIndex:0

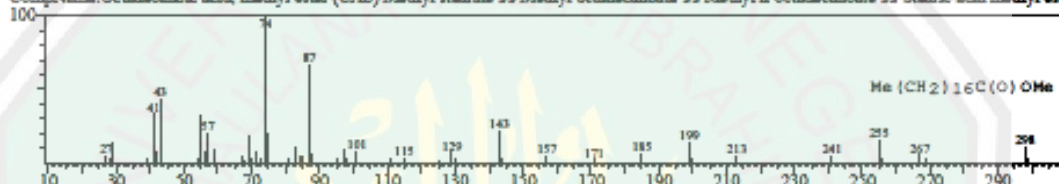
CompName:Octadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl stearate \$\$ Methyl octadecanoate \$\$ Methyl n-octadecanoate \$\$ Stearic acid methyl ester



Hit#2 Entry:209839 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula:C19H38O2 CAS:112-61-8 MolWeight:298 RefIndex:0

CompName:Octadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl stearate \$\$ Methyl octadecanoate \$\$ Methyl n-octadecanoate \$\$ Stearic acid methyl ester



Hit#3 Entry:209842 Library:WILEY7.LIB

SI:96 Formula:C19H38O2 CAS:112-61-8 MolWeight:298 RefIndex:0

CompName:Octadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl stearate \$\$ Methyl octadecanoate \$\$ Methyl n-octadecanoate \$\$ Stearic acid methyl ester

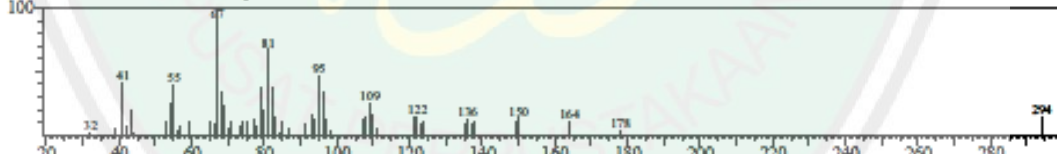


<< Target >>

Line#8 R.Time:33.592(Scan#3552) MassPeaks:57

RawMode: Averaged 33.583-33.600(3551-3553) BasePeak:67.05(11262)

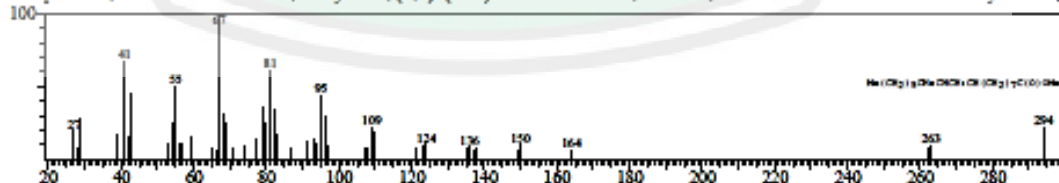
BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:205458 Library:WILEY7.LIB

SI:90 Formula:C19H34O2 CAS:13038-47-6 MolWeight:294 RefIndex:0

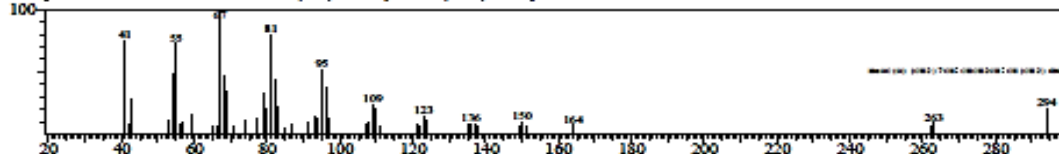
CompName:9,11-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)- (CAS) METHYL TRANS,TRANS 9,11-OCTADECADIENOATE \$\$ Methyl trans-9,11-



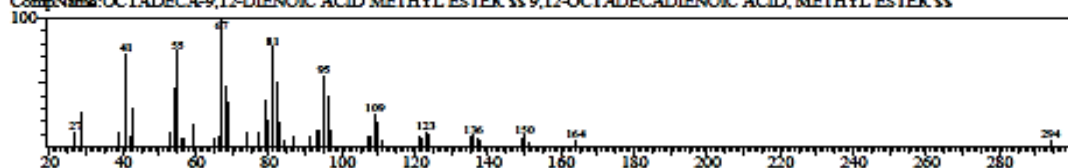
Hit#2 Entry:205821 Library:WILEY7.LIB

SI:90 Formula:C19H34O2 CAS:112-63-0 MolWeight:294 RefIndex:0

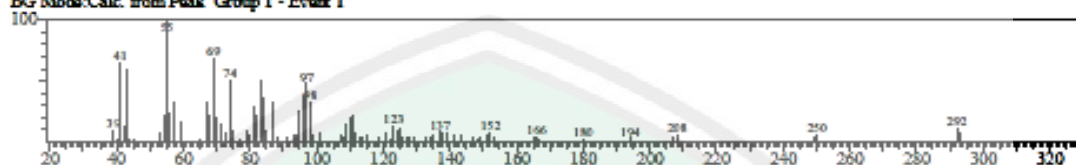
CompName:9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (CAS) Methyl linoleate \$\$ METHYL CIS-9,CIS-12-OCTADECADIENOATE \$\$ Methyl



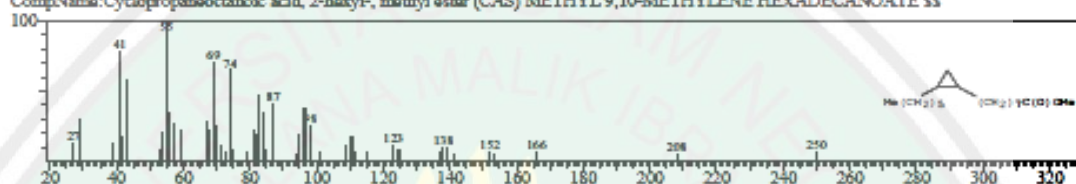
Hit#3 Entry:205831 Library:WILEY7.LIB
 SI:90 Formula:C19H34O2 CAS:2462-83-3 MolWeight:294 RefIndex:0
 CompName:OCTADEC-9,12-DIENOIC ACID METHYL ESTER \$\$ 9,12-OCTADECADIENOIC ACID, METHYL ESTER \$\$



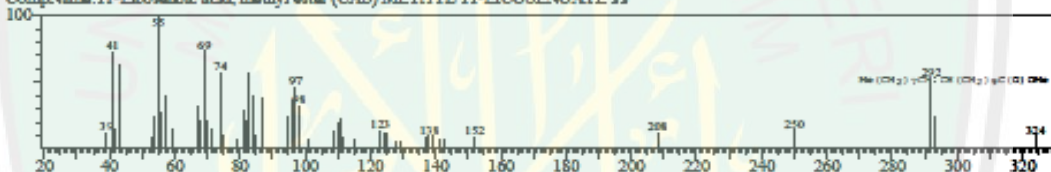
<< Target >>
 Line#9 R.Time:35.617(Scan#3795) MassPeaks:86
 RawMode: Averaged 35.608-35.625(3794-3796) BasePeak:55.03(42540)
 BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



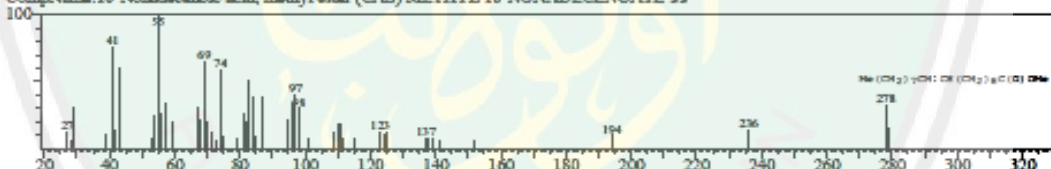
Hit#1 Entry:193360 Library:WILEY7.LIB
 SI:95 Formula:C18H34O2 CAS:10152-61-1 MolWeight:282 RefIndex:0
 CompName:Cyclopropaneoctanoic acid, 2-hexyl-, methyl ester (CAS) METHYL 9,10-METHYLENE HEXADECANOATE \$\$



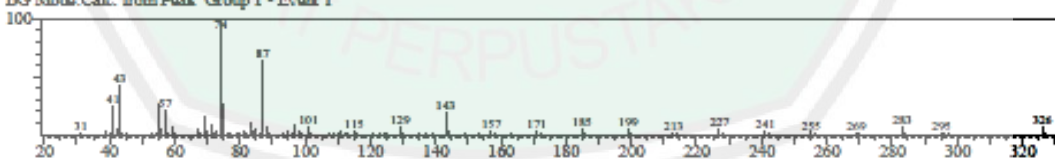
Hit#2 Entry:234091 Library:WILEY7.LIB
 SI:94 Formula:C21H40O2 CAS:3946-08-5 MolWeight:324 RefIndex:0
 CompName:11-Eicosanoic acid, methyl ester (CAS) METHYL 11-EICOSENOATE \$\$



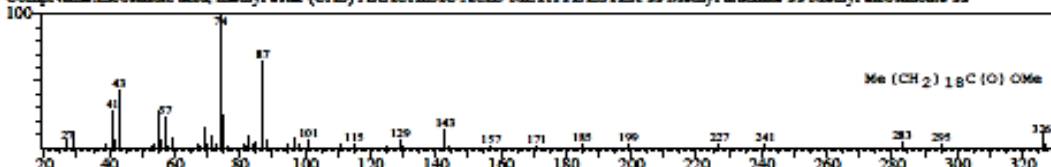
Hit#3 Entry:221083 Library:WILEY7.LIB
 SI:93 Formula:C20H38O2 CAS:56399-83-8 MolWeight:310 RefIndex:0
 CompName:10-Nonadecanoic acid, methyl ester (CAS) METHYL 10-NONADECENOATE \$\$

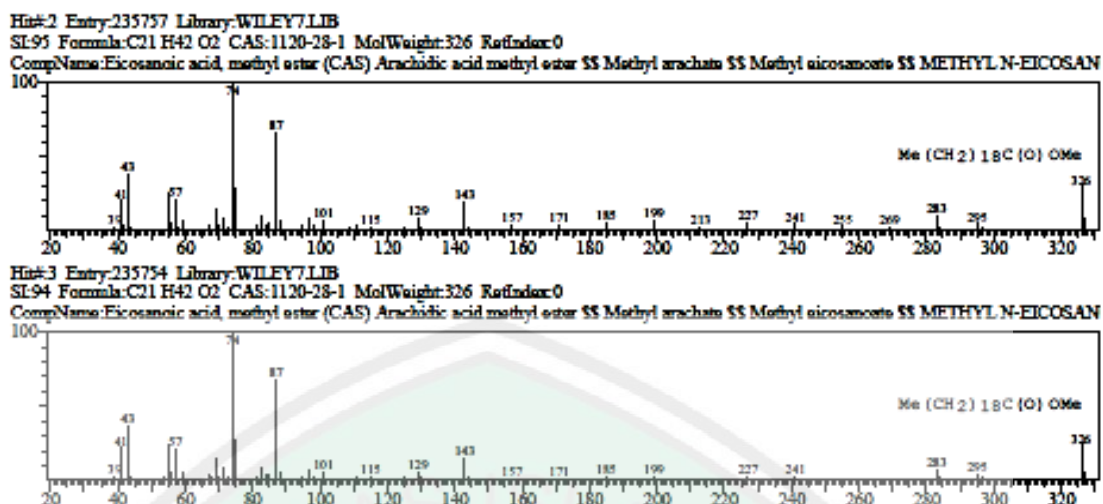


<< Target >>
 Line#10 R.Time:36.033(Scan#3845) MassPeaks:94
 RawMode: Averaged 36.025-36.042(3844-3846) BasePeak:74.00(253557)
 BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:235755 Library:WILEY7.LIB
 SI:96 Formula:C21H42O2 CAS:1120-28-1 MolWeight:326 RefIndex:0
 CompName:Eicosanoic acid, methyl ester (CAS) ARACHIDIC ACID METHYL ESTER \$\$ Methyl arachate \$\$ Methyl eicosanoate \$\$



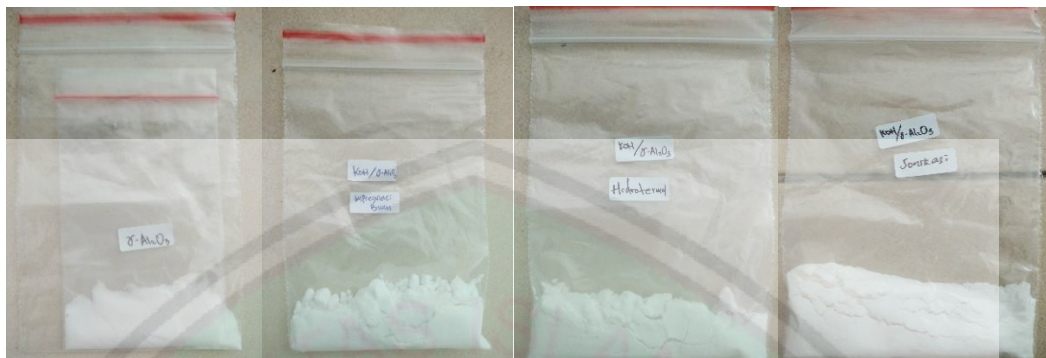


4.12 Referensi Bilangan Setana untuk asam lemak metil ester murni (Bangboye dan Hansen. 2008; Barabas dan Todorut. 2011).

Jenis Metil Ester	Bilangan Setana	Jenis Metil Ester	Bilangan Setana
	33.6		75.6
Metil Caprilat	47.9	Metil Stearat	86.9
	47.2		88.6
	60.8		51.0
Metil Laurat	61.4	Metil Palmitoleat	53.8
	61.4		-
	73.5		55.0
Metil Miristat	66.2	Metil Oleat	59.3
	69.5		62.3
	74.3		41.7
Metil Palmitat	74.5	Metil Linoleat	42.2
	81.2		42.1

LAMPIRAN 5

DOKUMENTASI



γ -Al₂O₃

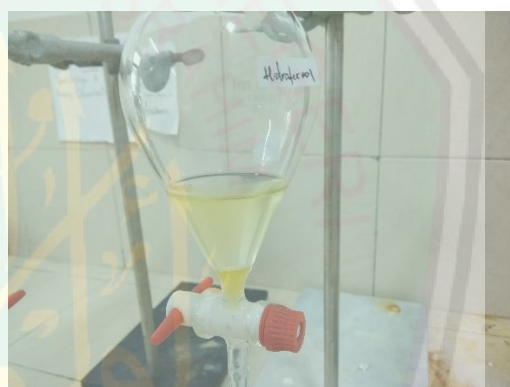
KOH/ γ -Al₂O₃
Impregnasi Basah

KOH/ γ -Al₂O₃
Hidrotermal

KOH/ γ -Al₂O₃
Sonikasi



Produk Transesterifikasi
(Impregnasi Basah)



Produk Transesterifikasi
(Hidrotermal)



Produk Transesterifikasi (Sonikasi)



Produk Reaksi Transesterifikasi