



UNIVERSITAS INDONESIA

**SINTESIS BIODIESEL MELALUI PROSES
TRANSESTERIFIKASI MINYAK SAWIT MENGGUNAKAN
KATALIS HETEROGEN KOH/ZEOLIT**

SKRIPSI

**HANIF ADHI SETYOKO
0606043105**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA TEKNIK KIMIA
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**SINTESIS BIODIESEL MELALUI PROSES
TRANSESTERIFIKASI MINYAK SAWIT MENGGUNAKAN
KATALIS HETEROGEN KOH/ZEOLIT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**HANIF ADHI SETYOKO
0606043105**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
KEKHUSUSAN TEKNIK KIMIA
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Hanif Adhi Setyoko

NPM : 0606043105

Tanda Tangan : 

Tanggal : 23 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Hanif Adhi Setyoko
NPM : 0606043105
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi :

Sintesis Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi Minyak Sawit Menggunakan Katalis Heterogen KOH/Zeolit

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Bambang Heru Susanto, MT.

Penguji I : Ir. Tilani Hamid, Msi.

Penguji II : Dr. Ir. Slamet, MT.



(.....)
(.....) 3/12-08
(.....)

Ditetapkan di : Depok, Jawa Barat, Indonesia

Tanggal : 23 Desember 2008

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillahirrahmaanirahiim,

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan semesta alam yang telah memberikan rahmat, taufik dan hidayah-Nya serta nikmat iman dan Islam kepada penulis hingga saat ini. Untuk segala bentuk pertolongan, kelembutan, kebijaksanaan, keadilan, kasih sayang, dan kesabaran yang tiada terbatas dalam bentuk nyata maupun tidak nyata. Salawat serta salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, saudara, dan sahabat yang tetap istiqomah dalam menegakkan Islam di dunia hingga akhir zaman.

Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia FT UI;
2. Bapak Ir. Bambang Heru Susanto, MT. selaku pembimbing skripsi dan dosen pembimbing akademis yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam menyusun skripsi ini;
3. Seluruh dosen Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia atas kesabaran dan perhatiannya dalam menanamkan ilmu pengetahuan dan nilai kehidupan untuk penulis;
4. Bapak, Ibu, Kakak dan Adik-adikku, yang selalu setia memberikan nasehat, doa, arahan, bimbingan baik secara spiritual maupun material yang tidak akan pernah dapat terbalaskan oleh penulis sampai kapanpun sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah dengan baik. Semoga Allah SWT senantiasa mencurahkan rahmat-Nya;
5. Babe Ijal, Kang Jajat, Mas Eko, Mas Topik dalam bantuannya selama penelitian berlangsung;

6. Teman-teman seperjuangan sejak “Bimbel” azis, eko, ekky, ronald (makasih da mw nemenin gw lembur n bwt tumpangan kosannya..).
7. Teman - teman S-1 Ekstensi angkatan 2006 yang banyak membantu dalam memberi motivasi, kerja sama, dan persahabatannya kepada penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu;
8. Someone special in my heart, ndutquwh.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Desember 2008



Hanif Adhi Setyoko

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hanif Adhi Setyoko
NPM : 0606043105
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Sintesis Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi Minyak Sawit
Menggunakan Katalis Heterogen KOH/Zeolit**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok, Jawa Barat, Indonesia
Pada tanggal : 23 Desember 2008

Yang menyatakan



(Hanif Adhi Setyoko)

ABSTRAK

Nama : Hanif Adhi Setyoko
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Sintesis Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi Minyak Sawit Menggunakan Katalis Heterogen KOH/Zeolit

Sintesis biodiesel dari minyak sawit trigliserida dengan metanol melalui proses transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan zeolit alam Malang yang diimpregnasi dengan larutan basa KOH membentuk katalis heterogen. Proses transesterifikasi dilakukan dengan variasi terhadap konsentrasi katalis sebesar 5% dan 10% dengan rasio mol 6:1 dan 10:1. Temperatur reaksi pada 65°C dengan waktu reaksi selama 8 jam pada tiap variasi.

Penurunan nilai densitas KOH/z 10% 10:1 (0,8812g) and viskositas KOH/z 5% 10:1 (0,8812cSt), lebih rendah dibanding yang lain, sebelum dan sesudah reaksi menunjukkan bahwa terdapat bagian dari molekul trigliserida yang terputus menjadi molekul yang lebih kecil.

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa konversi KOH/z 10% 10:1 lebih besar dibanding yang lain (86,4%).

Analisa dengan menggunakan spektrum FT-IR minyak sawit sebelum dan sesudah reaksi menunjukkan bahwa peak absorbansi dari gugus metil tinggi. Hal ini berarti terjadi peningkatan jumlah gugus metil selama proses reaksi.

Dari analisa dengan menggunakan GC-MS, kandungan senyawa hidrokarbon yang terdapat pada produk biodiesel diketahui sebagian besar mengandung C₁₈.

Kata kunci :

Biodiesel, Minyak Sawit, Katalis Heterogen KOH/zeolit, Transesterifikasi.

ABSTRACT

Name : Hanif Adhi Setyoko
Study Program: Chemical Engineering
Tittle : Synthesize Biodiesel From Palm Oil Through Transesterification
with KOH/Zeolite as Heterogenous Catalyst

Synthesize biodiesel from palm oil triglyceride in methanol through transesterification was used natural zeolite Malang were impregnated using potassium hydroxide as heterogenous catalyst. The transesterification process were varied by catalyst concentration 5% and 10 % with ratio mol 6:1 and 10:1. The reaction temperature was 65°C with reaction time was 8 hours for each variation.

The decreasing density KOH/z 10% 10:1 (0,8812g) and viscosity KOH/z 5% 10:1 (0,8812cSt), was lower than the other, of palm oil before and after reaction began have proven that a part of triglyceride molecules in the palm oil were cracked to become smaller molecules.

The results showed that the conversion of KOH/z 10% 10:1 was bigger than the other (86,4%).

Further analyst using FT-IR spectra of palm oil before and after reaction had shown that peak of absorbance of methyl group was high. It means that amount of methyl group was increased during the reaction.

From the result of GC-MS analyst, the hydrocarbon contents of the biodiesel were known consisting mostly C₁₈.

Keywords :

Biodiesel, Palm Oil, Heterogenous Catalyst KOH/Zeolite, Transesterification.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1. 1. Latar Belakang.....	1
1. 2. Rumusan Masalah.....	3
1. 3. Tujuan Penelitian.....	3
1. 4. Batasan Masalah	3
1. 5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2. 1. Definisi Biodiesel.....	4
2. 2. Reaksi Sintesis Biodiesel.....	7
2. 2. 1. Rute Alkohol	7
2. 2. 2. Esterifikasi	7
2. 2. 3. Transesterifikasi	8
2. 3. Minyak Nabati	10
2. 3. 1. Asam Lemak	11
2. 4. Variabel yang Mempengaruhi Proses Sintesis Biodiesel	13
2. 4. 1. Pengaruh Katalis	13
2. 4. 2. Pengaruh Konsentrasi Katalis	16
2. 4. 3. Pengaruh Temperatur	16
2. 4. 4. Pengaruh Rasio Mol Reaktan.....	17
2. 5. Zeolit	17
2. 5. 1. Sifat Zeolit Sebagai Penyangga/ <i>Support</i>	17
2. 5. 2. Aktivasi Mineral Zeolit.....	18
2. 6. Analisa Sifat Fisika dan Kimia	19
2. 6. 1. Densitas.....	19
2. 6. 2. Viskositas.....	20
2. 6. 3. Cetane Number.....	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3. 1. Alat dan Bahan.....	22
3. 2. Tahapan Percobaan	23
3. 3. Preparasi Katalis	23
3. 3. 1. Dealuminasi	23
3. 3. 2. Impregnasi Basa KOH.....	24
3. 3. 3. Kalsinasi.....	24
3. 4. Sintesis Produk Biodiesel.....	24
3. 4. 1. Untuk Rasio Mol 6:1	24
3. 4. 2. Untuk Rasio Mol 10:1	24
3. 5. Uji Karakterisasi Produk	25

3. 5. 1. Uji Densitas.....	25
3. 5. 2. Uji Viskositas Kinematik.....	25
3. 5. 3. Uji Cetane Number.....	26
3. 5. 4. Uji FT-IR	26
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4. 1. Preparasi Katalis	27
4. 1. 1. Dealuminasi	27
4. 1. 2. Impregnasi Basa KOH.....	27
4. 1. 3. Kalsinasi.....	28
4. 2. Sintesis Produk Biodiesel.....	28
4. 2. 1. Konversi.....	31
4. 3. Uji Karakterisasi Produk	34
4. 3. 1. Uji Densitas.....	33
4. 3. 2. Uji Viskositas Kinematik.....	36
4. 3. 3. Uji Cetane Number.....	39
4. 3. 4. Uji FT-IR	40
4. 3. 5. GC-MS.....	42
BAB 5 KESIMPULAN.....	48
DAFTAR REFERENSI.....	49
LAMPIRAN.....	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Kurva Produksi Konsumsi CPO Untuk Industri dan Kebutuhan Pangan di Indonesia.....	2
Gambar 2. 1. Reaksi esterifikasi dari asam lemak menjadi metil ester.....	8
Gambar 2. 2. Reaksi keseluruhan Transesterifikasi dari Trigliserida menjadi ester metil asam-asam lemak.....	9
Gambar 2. 3. Struktur Molekul Trigliserida	10
Gambar 2. 4. Mekanisme reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa.....	15
Gambar 2. 5. Reaksi Saponifikasi	16
Gambar 4. 1. Reaktor Batch.....	28
Gambar 4. 2. Mekanisme Reaksi Transesterifikasi Trigliserida dengan Alkohol Menggunakan Katalis Basa	30
Gambar 4. 3. Grafik Waktu Reaksi vs Konversi KOH/z 5%.....	32
Gambar 4. 4. Grafik Waktu Reaksi vs Konversi KOH/z 10%.....	32
Gambar 4. 5. Grafik KOH vs Konversi	33
Gambar 4. 6. Grafik Rasio Mol vs Konversi	33
Gambar 4. 7. Grafik Densitas vs Konsentrasi Katalis	35
Gambar 4. 8. Grafik Densitas Terhadap Produk.....	35
Gambar 4. 9. Grafik Hubungan Temperatur vs Viskositas KOH/z 5%	37
Gambar 4. 10. Grafik Hubungan Temperatur vs Viskositas KOH/z 10%.....	37
Gambar 4. 11. Grafik Hubungan Waktu vs Viskositas KOH/z 14%	38
Gambar 4. 12. Spektrum FT-IR RBDPO.....	40
Gambar 4. 13. Spektrum FT-IR dengan KOH/z 5% 6:1	41
Gambar 4. 14. Spektrum FT-IR dengan KOH/z 5% 10:1	41
Gambar 4. 15. Spektrum FT-IR dengan KOH/z 14%	42
Gambar 4. 16. KOH/z 5% 6:1	43
Gambar 4. 17. KOH/z 5% 10:1	44
Gambar 4. 18. KOH/z 10% 6:1	45
Gambar 4. 19. KOH/z 10% 10:1	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Spesifikasi Biodiesel sesuai SNI 04-7182-2006.....	6
Tabel 2. 2. Spesifikasi solar sesuai SK Dirjen Migas No.. 3675K/24/DJM/2006..	6
Tabel 2. 3. Struktur Asam Lemak yang Terikat Pada Trigliserida Minyak Sawit.	11
Tabel 2. 4. Sifat Asam Lemak dan Esternya	12
Tabel 4. 1. Data Hubungan Densitas dengan Konsentrasi Katalis	31
Tabel 4. 2. Perbandingan Densitas Hasil Penelitian dengan Literatur	36
Tabel 4. 3. Data Hubungan Viskositas dengan Temperatur.....	36
Tabel 4. 4. Perbandingan Viskositas Hasil Penelitian dengan Literatur	39
Tabel 4. 5. Cetane Number Produk Biodiesel Hasil Penelitian	40
Tabel 4. 6. Senyawa yang Terkandung Pada Produk KOH/z 5% Dengan Rasio Mol 6:1	43
Tabel 4. 7. Senyawa yang Terkandung Pada Produk KOH/z 5% Dengan Rasio Mol 10:1	44
Tabel 4. 8. Senyawa yang Terkandung Pada Produk KOH/z 10% Dengan Rasio Mol 6:1	45
Tabel 4. 9. Senyawa yang Terkandung Pada Produk KOH/z 10% Dengan Rasio Mol 10:1	46
Tabel 4. 10. Senyawa yang Terkandung Pada Produk KOH/z 10%	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Jumlah Reaktan yang Diperlukan	51
Lampiran 2. Perhitungan Nilai Konversi.....	52
Lampiran 3. Perhitungan Densitas, Viskositas, Cetane Index	53
Lampiran 4. Hasil GC-MS pada KOH/z 5% 6:1.....	54
Lampiran 5. Hasil GC-MS pada KOH/z 5% 10:1.....	55
Lampiran 6. Hasil GC-MS pada KOH/z 10% 6:1.....	56
Lampiran 7. Hasil GC-MS pada KOH/z 10% 10:1.....	57
Lampiran 8. Hasil Total Petroleum Hydrocarbon KOH/z 10% 6:1	58
Lampiran 9. Hasil Total Petroleum Hydrocarbon KOH/z 10% 6:1	59
Lampiran 10. Hasil Total Petroleum Hydrocarbon KOH/z 5% 10:1	60
Lampiran 11. Hasil Total Petroleum Hydrocarbon KOH/z 5% 6:1	61



BAB 1

PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang

Bahan bakar diesel/solar sebagai salah satu sumber energi dengan konsumsi yang terbesar saat ini diseluruh dunia membuat kebutuhan akan energi ini meningkat, khususnya di Indonesia.

Banyak negara, terutama Indonesia, mengalami masalah kekurangan bahan bakar minyak (dari bahan bakar fosil) karena jumlah konsumsinya yang terus meningkat^[2]. Data Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral juga menyebutkan bahwa cadangan minyak bumi Indonesia hanya cukup untuk 18 tahun ke depan, sementara cadangan gas bumi masih mencukupi untuk 61 tahun ke depan dan cadangan batu bara baru habis dalam waktu 147 tahun lagi^[3].

Ketergantungan terhadap impor solar ini tentu saja harus dihindari atau paling tidak pengurangannya harus diupayakan. Sehingga perlu dicari alternatif bahan bakar lain, terutama dari bahan yang terbarukan. Indonesia memiliki kelebihan untuk pengembangan energi alternatif pengganti solar, yaitu dengan mengembangkan biodiesel yang dibuat dari minyak nabati. Bahan baku biodiesel yang berpotensi besar di Indonesia untuk saat ini adalah minyak mentah kelapa sawit (*Crude Palm Oil* atau CPO), dimana produksi kelapa sawit sangat tinggi di Indonesia. Jumlah produksi dan konsumsi CPO di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Kurva Produksi Konsumsi CPO Untuk Industri dan Kebutuhan Pangan di Indonesia^[2]

Sampai saat ini, dalam sintesis biodiesel katalis yang umum digunakan adalah katalis homogen basa. Namun kendala yang muncul adalah terjadinya reaksi samping saponifikasi dan kesulitan dalam pemisahan (pemurnian) produk biodiesel dari katalisnya.

Xie dkk^[1] melakukan sintesis biodiesel dengan menggunakan zeolit sintetis NaX yang di-loading dengan KOH melalui proses transesterifikasi minyak sawit dan diperoleh hasil konversi 85,6% dengan rasio molar 10:1, berat katalis 3%, suhu 65°C dan waktu reaksi selama 8 jam. Di Departemen Teknik Kimia FTUI, Waffa^[8] melakukan penelitian sintesis metil ester sebagai bagian dari tahapan untuk sintesis biopelumas dengan menggunakan katalis heterogen KOH/zeolit yang dilakukan pada reaktor sirkulasi untuk menghasilkan produk metil ester yang terbebas dari reaksi saponifikasi, namun dari sisi konversi dan kondisi operasinya belum terlihat optimal.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut diatas, maka dilakukan kembali penelitian tentang sintesis metil ester (biodiesel) dengan menggunakan katalis heterogen KOH/zeolit namun menggunakan reaktor batch dengan melakukan variasi pada proses transesterifikasi.

1.2. Rumusan Masalah

Bagaimana melakukan sintesis biodiesel melalui proses transesterifikasi minyak sawit untuk mendapatkan produk biodiesel sebagai alternatif pengganti solar yang terbebas dari reaksi samping dan mudah dalam pemisahan/pemurnian produknya?

Universitas Indonesia

1. 3. Tujuan Penelitian

Untuk mempelajari sintesis biodiesel menggunakan katalis heterogen KOH/zeolit dengan sistem batch, dimana kriteria keberhasilan dapat dibandingkan dengan penelitian Xie dkk^[1] dan Waffa^[8] serta terhadap produk biodiesel yang setara dengan solar.

1. 4. Batasan Masalah

Penelitian yang dilakukan ini memiliki batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Reaktan yang dipakai berasal dari minyak sawit.
2. Menggunakan katalis basa heterogen KOH/zeolit dengan variasi persen berat sebesar 5% dan 10% KOH.
3. Menggunakan variasi mol reaktan sebesar 6:1 dan 10:1.
4. Karakterisasi produk dengan FT-IR dan GC-MS.
5. Reaksi katalitik dilakukan dalam reaktor batch.

1. 5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan sebagai berikut :

- Bab I : Pendahuluan
Terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penelitian.
- Bab II : Tinjauan Pustaka
Berisi tinjauan pustaka dan teori-teori tentang biodiesel, katalis, zeolit, transesterifikasi, dan analisa sifat fisika dan kimia.
- Bab III : Metodologi Penelitian
Bagian ini berisi mengenai tahap dan langkah kerja yang dilakukan selama penelitian.
- Bab IV : Hasil dan Pembahasan
- Bab V : Kesimpulan
- Daftar Referensi

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2. 1. Definisi Biodiesel^{[2],[7]}

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkyl ester yang digunakan sebagai sumber energi alternatif pengganti solar yang terbuat dari minyak tumbuhan atau lemak hewan, tidak mengandung sulfur dan tidak beraroma. Secara teknis biodiesel yang berasal dari minyak nabati dikenal sebagai *Vegetable Oil Metil Ester* (VOME) dan merupakan sumber daya yang dapat diperbarui karena umumnya dapat diekstrak dari berbagai hasil produk pertanian seperti minyak kacang kedelai, minyak kelapa, minyak bunga matahari maupun minyak sawit.

Biodiesel juga dapat didefinisikan sebagai bahan bakar yang terbuat dari lemak atau minyak tumbuhan dan hewan secara fisik hampir menyerupai bahan bakar diesel yang berasal dari minyak bumi. Biodiesel dihasilkan dengan mereaksikan minyak nabati dengan alkohol menggunakan zat basa sebagai katalis pada suhu dan komposisi tertentu. Reaksi tersebut melibatkan alkohol seperti metanol untuk menghasilkan kandungan kimia yang disebut metil ester. Metil ester yang digunakan sebagai bahan bakar dikenal dengan sebutan biodiesel. Asam lemak metil ester merupakan hasil dari transesterifikasi (disebut metanolisis) dari minyak nabati dengan metanol sebagai katalis dasar.

Sebuah proses dari transesterifikasi lipid digunakan untuk mengubah minyak dasar menjadi ester yang diinginkan dan membuang asam lemak bebas. Setelah melewati proses ini, tidak seperti minyak sayur langsung, biodiesel memiliki sifat pembakaran yang mirip dengan diesel (*solar*) dari minyak bumi, dan dapat menggantikannya dalam banyak kasus. Namun, lebih sering digunakan sebagai penambah untuk diesel petroleum, meningkatkan bahan bakar diesel petrol murni ultra rendah belerang yang rendah pelumas.

Pemanfaatan minyak nabati sebagai bahan baku biodiesel memiliki beberapa kelebihan, di antaranya :

- Sumber minyak nabati mudah diperoleh.

- Proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati mudah dan cepat.
- Tingkat konversi minyak nabati menjadi biodiesel tinggi (mencapai 95%).
- Mudah digunakan.
- Limbahnya bersifat ramah lingkungan (*biodegradable*).
- Tidak beracun.
- Bebas dari logam berat sulfur dan senyawa aromatik.
- Mempunyai nilai flash point (titik nyala) yang lebih tinggi dari petroleum diesel sehingga lebih aman jika disimpan dan digunakan.

Di samping punya keunggulan, biodiesel ternyata masih menunjukkan kelemahan-kelemahan yang menghambat taraf penerapannya. Antara lain :

- Terjadinya pembekuan biodiesel pada suhu rendah (terutama di sekitar 10°C atau di bawahnya).
- Nilai energi yang dihasilkan lebih rendah, dan dapat rusak jika disimpan dalam jangka waktu lama.
- Dapat melarutkan atau merusak karet yang biasanya tahan terhadap minyak diesel.

Tabel 2. 1. Spesifikasi Biodiesel sesuai SNI 04-7182-2006^[24]

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Massa jenis pada 40 0C	kg/m ³	850-890
2	Viskositas kinematik pada 40 0C	mm ² /s(cst)	2.3-60
3	Angka setana		Min 51
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	0c	Min 100
5	Titik kabut	0c	Maks 18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50 0C)		Maks no 3
7	Residu karbon Dalam contoh asli Dalam 10% ampas distilasi		Maks 0.05 Maks 0.30
8	Air dan sedimen	% vol	Maks 0.5*
9	Temperatur destilasi 90%	0c	Maks 360
10	Abu tersulfatkan	% massa	Maks 0.02
11	Belerang	ppm-m (mg/kg)	Maks 100
12	Fosfor	ppm-m (mg/kg)	Maks 10
13	Angka asam	mg-KOH/g	Maks 0.8
14	Gliserol bebas	% massa	Maks 0.02
15	Gliserol total	% massa	Maks 0.24
16	Kadar ester alkil	% massa	Maks 96.5
17	Angka iodium	% massa 9g-I ₂ /100 g)	Maks 115
18	Uji Helphen		Negatif

Tabel 2. 2. Spesifikasi solar sesuai SK Dirjen Migas No. 3675K/24/DJM/2006^[24]

No	Karakteristik	Unit	Super	Reguler
1	Berat jenis pada suhu 15 0C	kg/m ³	820-860	815-870
2	Viskositas kinematik pada suhu 40 0C	mm ² /s	2.0-4.5	2.0-5.0
3	Angka setana / indeks		≥51/48	≥48-45
4	Titik nyala 40 0C	0C	≥55	≥60
5	Titik tuang	0C	≤18	≤18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50 0C)		≤kelas 1	≤kelas 1
7	Residu karbon	% massa	≤0.30	≤30
8	Kandungan air	mg/kg	≤500	≤50
9	T90/95	0C	≤340/360	<370
10	Stabilitas oksidasi	g/m ³	≤25	-
11	Sulfur	%m/m	≤0.05	≤0.35
12	Bilangan asam total	mg-KOH/g	≤0.3	≤0.6
13	Kandungan abu	%m/m	≤0.01	≤0.01
14	Kandungan sedimen	>%m/m	≤0.01	≤0.01
15	Kandungan FAME	%m/m	≤10	≤10
16	Kandungan metanol dan etanol	%v/v	Tak terdeteksi	Tak terdeteksi
17	Partikulat	mg/l	≤10	-

2. 2. Reaksi Sintesis Biodiesel

Secara umum metode sintesis biodiesel terbagi menjadi 3 metode^[16], yaitu:

- Transesterifikasi (alkoholisis)
- Pirolisis (thermal cracking)
- Supercritical alcohol

Namun pada penelitian yang dilakukan di laboratorium Departemen Teknik Kimia FTUI ini pembahasan lebih menekankan pada sintesis biodiesel dengan menggunakan proses transesterifikasi dengan rute alkohol.

2. 2. 1. Rute Alkohol

Biodiesel diproduksi dengan mereaksikan minyak nabati dan alkohol beserta penggunaan katalis. Produk dari reaksi campuran ini menghasilkan asam lemak alkil ester, yang dikenal dengan nama biodiesel, dan gliserol.

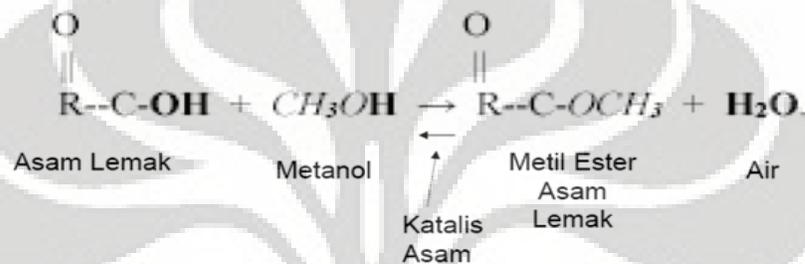
Asam lemak yang digunakan tergantung dari tipe minyak nabati. Rantainya bisa sama atau berlainan. Alkohol yang digunakan juga dapat berbeda. Jika metanol yang digunakan, maka akan dihasilkan asam lemak metil ester, dan jika etanol yang digunakan, maka akan menghasilkan asam lemak etil ester. Karena harga metanol lebih murah dari segi biaya maka alkohol ini lebih sering digunakan dalam proses produksi biodiesel.

Reaksi esterifikasi asam lemak jauh lebih terbatas kesetimbangan dan, sekalipun sudah dibantu katalis, berlangsung lebih lambat dari pada reaksi alkoholisis trigliserida. Kedua reaksi juga akan berlangsung makin lambat dengan makin besarnya molekul alkohol (metanol, etanol, propanol, dan seterusnya).

2. 2. 2. Esterifikasi

Esterifikasi adalah proses yang mereaksikan asam lemak bebas (*FFA*) dengan alkohol rantai pendek (metanol atau etanol) menghasilkan metil ester asam lemak (*FAME*) dan air. Katalis yang digunakan untuk reaksi esterifikasi adalah zat berkarakter asam kuat, dimana asam sulfat (H_2SO_4) atau asam fosfat (H_2PO_4), asam sulfonat organik atau resin penukar kation asam kuat merupakan katalis-katalis yang biasa terpilih dalam praktek industri^[5].

Untuk mendorong agar reaksi bisa berlangsung ke konversi yang sempurna pada temperatur rendah (misalnya paling tinggi 120° C), reaktan metanol harus ditambahkan dalam jumlah yang sangat berlebih (biasanya lebih besar dari 10 kali nisbah stoikiometrik) dan air produk ikutan reaksi harus disingkirkan dari fasa reaksi, yaitu fasa minyak. Melalui kombinasi-kombinasi yang tepat dari kondisi-kondisi reaksi dan metode penyingkiran air, konversi sempurna asam-asam lemak ke ester metilnya dapat dituntaskan dalam waktu 1 sampai beberapa jam.



Gambar 2. 1. Reaksi esterifikasi dari asam lemak menjadi metil ester

Esterifikasi biasa dilakukan untuk membuat biodiesel dari minyak berkadar asam lemak bebas tinggi (berangka-asam ≥ 5 mg-KOH/g). Pada tahap ini, asam lemak bebas akan dikonversikan menjadi metil ester. Tahap esterifikasi biasa diikuti dengan tahap transesterifikasi. Namun sebelum produk esterifikasi diumpankan ke tahap transesterifikasi, air dan bagian terbesar katalis asam yang dikandungnya harus disingkirkan terlebih dahulu.

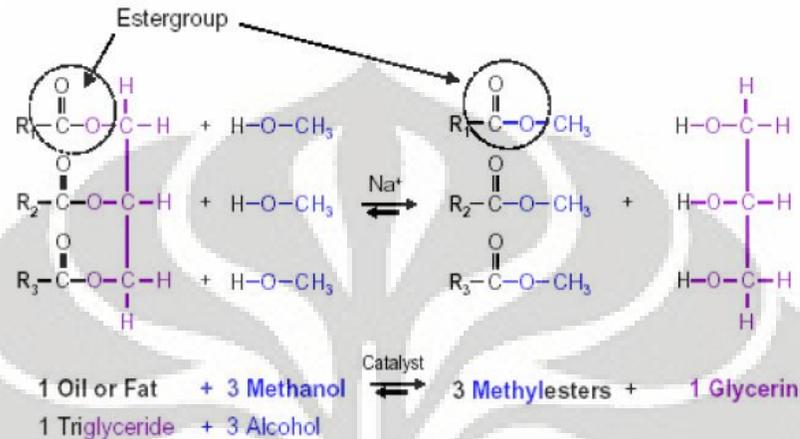
Terbentuknya sabun dalam jumlah yang cukup besar dapat menghambat pemisahan gliserol dari metil ester dan berakibat terbentuknya emulsi selama proses pencucian. Jadi esterifikasi digunakan sebagai proses pendahuluan untuk mengkonversikan *FFA* menjadi metil ester sehingga mengurangi kadar *FFA* dalam minyak nabati dan selanjutnya ditransesterifikasi dengan katalis basa untuk mengkonversikan trigliserida menjadi metil ester.

2. 2. 3. Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek seperti methanol atau etanol (pada saat ini sebagian besar produksi biodiesel menggunakan

Universitas Indonesia

methanol) menghasilkan metil ester asam lemak (*Fatty Acids Methyl Esters / FAME*) atau biodiesel dan gliserol (gliserin) sebagai produk samping. Metanol adalah yang paling umum digunakan, karena harganya murah dan reaktivitasnya paling tinggi (sehingga reaksi disebut metanolisis).



Gambar 2. 2. Reaksi keseluruhan Transesterifikasi dari Trigliserida menjadi ester metil asam-asam lemak^[5]

Katalis yang digunakan pada proses transesterifikasi adalah basa /alkali pada umumnya, yaitu natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH)^[6]. Tanpa adanya katalis, konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi berjalan dengan lambat^[7]. Transesterifikasi yang menggunakan basa sebagai katalis jauh lebih cepat dibandingkan menggunakan asam sebagai katalisnya. Selain itu sifat korosif katalis basa jauh lebih rendah dibanding katalis asam sehingga pada umumnya sebagian besar transesterifikasi komersil menggunakan katalis basa^[8].

Transesterifikasi bersifat reversibel sehingga untuk mendapatkan ester yang diharapkan maka alkohol yang digunakan berlebih untuk menggeser kesetimbangan ke arah produk atau dengan menghilangkan salah satu produk dari campuran reaksi.

Triestergliserol (trigliserida) dipanaskan dengan larutan basa kalium hidroksida (KOH) dalam air sehingga lemak terhidrolisis. Reaksi ini disebut dengan saponifikasi atau reaksi penyabunan, dimana alkali mengganti gugus hidrokarbon sehingga terbentuk sabun.

Produk yang diinginkan dari reaksi transesterifikasi adalah ester metil asam-asam lemak. Terdapat beberapa cara agar kesetimbangan lebih ke arah produk, yaitu:

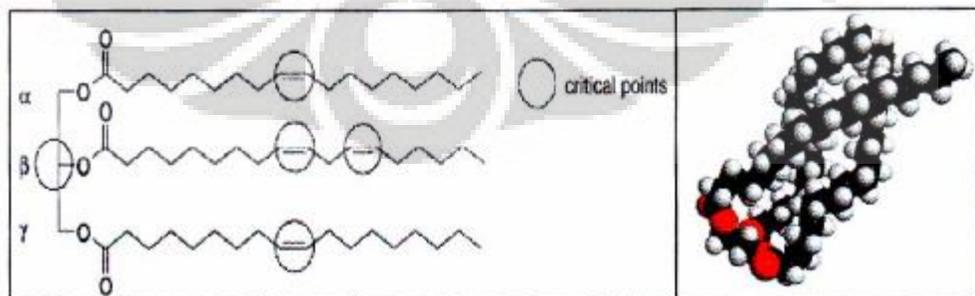
1. Menambahkan metanol berlebih ke dalam reaksi
2. Memisahkan gliserol
3. Menurunkan temperatur reaksi (transesterifikasi merupakan reaksi eksoterm)

2. 3. Minyak Nabati^[8]

Minyak nabati berasal dari tumbuh-tumbuhan maupun bijinya. Minyak nabati berbentuk cairan pada suhu ruang dan terdiri dari sejumlah molekul organik yang berbeda-beda yang tersusun atas atom *Carbon (C)*, *Oxygen*, dan *Hydrogen (H)*.

Penggunaan minyak nabati baik untuk memproduksi biodiesel dikarenakan memiliki rantai asam lemak bebas/ *Free Fatty Acid (FFA)* rendah dan potensi sifat pelumasan yang baik. Selain itu *edible* dan *biodegradable* sehingga aman bagi kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan.

Namun minyak nabati ini relatif mudah rusak karena oksidasi pada suhu tinggi jika dibandingkan dengan minyak mineral. Bagian yang lemah pada struktur kimia trigliserida adalah β -H pada rantai gliserol dan ikatan rangkap pada rantai asam lemak yang terlihat pada Gambar 2.3. Oleh karena ketahanan oksidasi minyak nabati yang rendah maka dilakukanlah rekayasa kimia untuk mendapatkan struktur kimia yang lebih tahan terhadap oksidasi. Maka transesterifikasi merupakan metode yang dapat mengatasi masalah tersebut.



Gambar 2. 3. Struktur Molekul Trigliserida

Sedangkan trigliserida sendiri merupakan triester dari gliserol dengan asam-asam lemak, yaitu asam-asam karboksilat beratom karbon 6 s/d 30. Trigliserida banyak dikandung dalam minyak dan lemak, merupakan komponen terbesar penyusun minyak nabati.

Tabel 2. 3. Struktur Asam Lemak yang Terikat Pada Trigliserida Minyak Sawit^[9]

Asam Lemak	Struktur
Asam Laurat (12:0)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COH} \end{array}$
Asam Palmitat (16:0)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COH} \end{array}$
Asam Stearat (18:0)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COH} \end{array}$
Asam Oleat (18:1)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COH} \end{array}$
Asam Linoleat (18:2)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CH}\text{CH}_2)_2(\text{CH}_2)_4\text{COH} \end{array}$
Asam Linolenat (18:3)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CH}\text{CH}_2)_2(\text{CH}_2)_4\text{COH} \end{array}$
Asam Eruseat (22:1)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COH} \end{array}$
Asam Risinoleat (19:2)	$\begin{array}{c} \text{OH} \qquad \qquad \qquad \text{O} \\ \parallel \qquad \qquad \qquad \parallel \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COH} \end{array}$

2. 3. 1. Asam Lemak

Asam lemak bersama-sama dengan gliserol, merupakan penyusun utama minyak nabati atau lemak dan merupakan bahan baku untuk semua lipida pada makhluk hidup. Asam ini mudah dijumpai dalam minyak masak (goreng), margarin, atau lemak hewan dan menentukan nilai gizinya. Secara alami, asam lemak bisa berbentuk bebas (karena lemak yang terhidrolisis) maupun terikat sebagai gliserida. Asam lemak merupakan salah satu *basic oleochemical*.

Tabel 2. 4. Sifat Asam Lemak dan Esternya^[8]

Fatty acid <i>Methyl ester</i>	Formula	Molecular weight	Melting point (°C)
Palmitic acid <i>Methyl palmitate</i>	C ₁₆ H ₃₂ O ₂ C ₁₇ H ₃₄ O ₂	256.428 270.457	63-64 30.5
Stearic acid <i>Methyl stearate</i>	C ₁₈ H ₃₆ O ₂ C ₁₉ H ₃₈ O ₂	284.481 298.511	70 39
Oleic acid <i>Methyl oleate</i>	C ₁₈ H ₃₄ O ₂ C ₁₉ H ₃₆ O ₂	282.465 296.495	16 -20
Linoleic acid <i>Methyl linoleate</i>	C ₁₈ H ₃₂ O ₂ C ₁₉ H ₃₄ O ₂	280.450 294.479	-5 -35
Linolenic acid <i>Methyl linolenate</i>	C ₁₈ H ₃₀ O ₂ C ₁₉ H ₃₂ O ₂	278.434 292.463	-11 -52 / -57

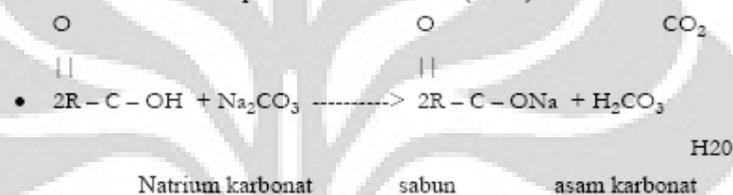
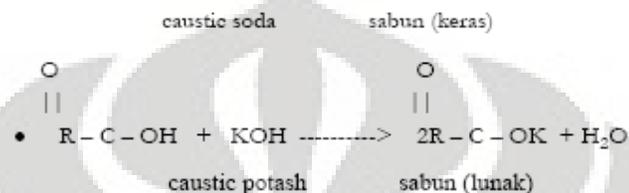
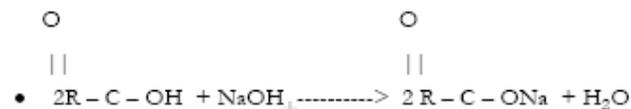
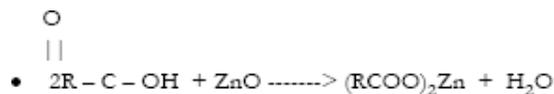
Asam lemak dibedakan menjadi asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh. Asam lemak jenuh hanya memiliki ikatan tunggal di antara atom-atom karbon penyusunnya, sementara asam lemak tak jenuh memiliki paling sedikit satu ikatan ganda di antara atom-atom karbon penyusunnya. Asam lemak merupakan asam lemah, dan dalam air terdisosiasi sebagian. Umumnya berfase cair atau padat pada suhu ruang (27°C). Semakin panjang rantai C penyusunnya, semakin mudah membeku dan juga semakin sukar larut.

Asam lemak jenuh bersifat lebih stabil (tidak mudah bereaksi) daripada asam lemak tak jenuh. Ikatan ganda pada asam lemak tak jenuh mudah bereaksi dengan oksigen (mudah teroksidasi). Karena itu, dikenal istilah bilangan oksidasi bagi asam lemak.

Keberadaan ikatan ganda pada asam lemak tak jenuh menjadikannya memiliki dua bentuk: *cis* dan *trans*. Semua asam lemak nabati alami hanya memiliki bentuk *cis* (dilambangkan dengan "Z"). Asam lemak bentuk *trans* (*trans fatty acid*, dilambangkan dengan "E") hanya diproduksi oleh sisa metabolisme hewan atau dibuat secara sintesis. Akibat polarisasi atom H, asam lemak *cis* memiliki rantai yang melengkung. Asam lemak *trans* karena atom H-nya berseberangan tidak mengalami efek polarisasi yang kuat dan rantainya tetap relatif lurus.

Reaksi asam lemak dengan NaOH/KOH biasa disebut dengan saponifikasi. Sedangkan reaksi asam lemak dengan metal/logam akan menghasilkan *metallic soap*.

Reaksi :



2. 4. Variabel yang Mempengaruhi Proses Sintesis Biodiesel

2. 4. 1. Pengaruh Katalis

Konsep dasar katalis adalah mengendalikan laju dan arah dari suatu reaksi kimia sehingga dapat menaikkan laju dari reaksi ke arah kesetimbangan tanpa ikut terpakai/bereaksi dalam proses secara kimia. Entalpi reaksi dan faktor-faktor termodinamika lainnya merupakan fungsi sifat dasar dari reaktan dan produk, sehingga tidak dapat diubah dengan katalis.

Adanya katalis dapat mempengaruhi faktor-faktor kinetik suatu reaksi seperti laju reaksi, energi aktivasi, sifat dasar keadaan transisi dan lain-lain^[11]. Katalis berperan dalam reaksi tapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Dengan demikian pada akhir reaksi katalis tidak tergabung dengan senyawa produk reaksi.

Untuk menilai baik tidaknya suatu katalis, ada beberapa parameter yang harus diperhatikan^[11]:

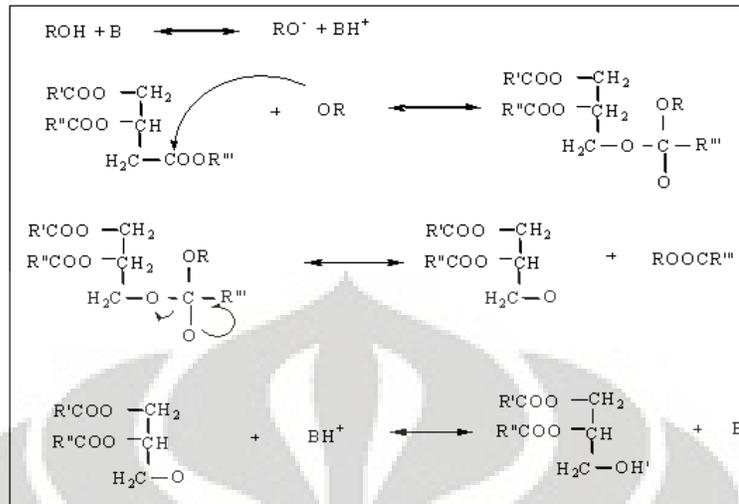
- Aktivitas, yaitu kemampuan katalis untuk mengkonversi reaktan menjadi produk yang diinginkan.

- Selektivitas, yaitu kemampuan katalis mempercepat satu reaksi di antara beberapa reaksi yang terjadi sehingga produk yang diinginkan dapat diperoleh dengan produk sampingan seminimal mungkin.
- Kestabilan, yaitu lamanya katalis memiliki aktivitas dan selektivitas seperti pada keadaan semula.
- Yield, yaitu jumlah produk tertentu yang terbentuk untuk setiap satuan reaktan yang dikonsumsi.
- Kemudahan diregenerasi, yaitu proses mengembalikan aktivitas dan selektivitas katalis seperti semula.

Dalam reaksi heterogen, katalis memiliki fasa yang berbeda dengan reaktan. Katalis heterogen berupa padatan. Beberapa keunggulannya yaitu mudah dipisahkan dengan campuran reaksinya, selektivitas menuju produk yang diinginkan dapat dicapai dengan menggunakan selektivitas bentuk dalam keberadaan poros katalis heterogen, aktivitas yang terkandung pada active sites dapat dimodifikasi dengan struktur padat (seperti kekuatan asam basa), pada proses kontinyu lebih mudah digunakan, dan juga relatif stabil pada suhu tinggi.

Satu contoh sederhana untuk katalisis heterogen yaitu bahwa katalis menyediakan suatu permukaan di mana pereaksi-pereaksi (atau substrat) untuk sementara terserap. Ikatan dalam substrat-substrat menjadi lemah sedemikian sehingga memadai terbentuknya produk baru. Ikatan antara produk dan katalis lebih lemah, sehingga akhirnya terlepas.

Basa dapat menjadi katalis pada reaksi transesterifikasi dengan mengambil proton dari alkohol sehingga reaksi terjadi lebih cepat. Mekanisme reaksi transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut :



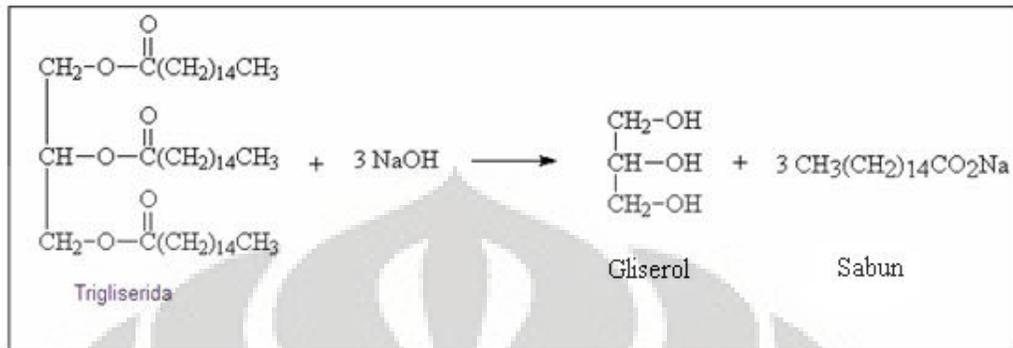
Gambar 2.4. Mekanisme reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa

Pada tahap pertama adalah reaksi alkohol dengan katalis basa yang menghasilkan alkoksida dan katalis yang terprotonkan. Nukleofilik alkoksida menyerang gugus karbonil dan trigliserida menghasilkan intermediate tetrahedral. Dengan pemutusan ikatan disertai penyusunan elektron intermediate tetrahedral maka akan terbentuk digliserida. Kemudian dilanjutkan dengan reaksi antara katalis yang terprotonkan dengan digliserida yang menghasilkan spesies aktif, yang sekarang dapat bereaksi dengan molekul alkohol yang kedua yang kemudian dimulai lagi siklus katalitiknya. Digliserida dan monogliserida dirubah menjadi alkil ester dan gliserol melalui mekanisme reaksi yang sama.

Logam alkali alkoksida (seperti CH₃ONa untuk metanolisis) adalah katalis yang paling aktif dengan memberikan hasil yang sangat tinggi (>98%) pada waktu reaksi yang singkat yaitu selama 30 menit bahkan bila reaksi juga dilakukan pada konsentrasi molar katalis yang rendah (0.5% mol)^[13]. Logam alkali hidroksida (KOH dan NaOH) lebih mudah dibandingkan logam alkoksida tetapi kurang aktif. Namun logam hidroksida ini menjadi alternatif yang bagus dengan memberikan hasil reaksi yang sama hanya dengan meningkatkan konsentrasi katalisnya menjadi 1-2% mol.

Walaupun pada reaksi dengan katalis basa ini dilakukan dengan tanpa kehadiran air, namun air akan dihasilkan pada reaksi antara hidroksida dengan alkohol. Terbentuknya air ini akan mendorong terjadinya reaksi hidrolisis pada

ester yang dihasilkan yang akibatnya akan terbentuk sabun menurut reaksi pada Gambar 2.5 berikut ini:



Gambar 2. 5. Reaksi Saponifikasi

Reaksi saponifikasi yang tidak diinginkan ini akan menurunkan hasil reaksi dan akan menyulitkan dalam mendapatkan gliserol karena terbentuknya emulsi. Natrium karbonat dapat digunakan untuk mencegah terjadinya saponifikasi.

2. 4. 2. Pengaruh Konsentrasi Katalis

Laju transesterifikasi sangat bergantung pada konsentrasi katalis yang digunakan. Untuk katalis NaOH, laju akan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah katalis.

2. 4. 3. Pengaruh Temperatur

Laju reaksi transesterifikasi sangat dipengaruhi oleh temperatur reaksi. Sebenarnya reaksi dapat berlangsung sempurna pada suhu kamar hanya jika diberikan waktu reaksi yang cukup lama. Umumnya temperatur reaksi yang terjadi mengikuti suhu titik didih metanol (60-70°C) pada tekanan atmosferik^[14]. Waktu reaksi berlangsung pada temperatur sedang ini, namun tetap mampu untuk menghilangkan asam bebas dari CPO, yaitu dengan cara melakukan pretreatment dengan penghilangan kadar asam dan proses degummed. Tahap pretreatment ini tidak perlu dilakukan apabila reaksi berlangsung pada tekanan tinggi (9.000 kPa) dan pada temperatur tinggi (240°C). Pada kedua kondisi inilah reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dapat berlangsung secara spontan^[15].

Hasil reaksi yang maksimum didapatkan pada kisaran temperatur reaksi antara 60-80°C dengan perbandingan mol alkohol dengan minyak 6:1^[14]. Apabila terjadi kenaikan temperatur maka hal ini dapat mengurangi hasil reaksi. Kondisi reaksi diatas berlaku apabila menggunakan CPO sebagai bahan baku. Apabila menggunakan bahan minyak yang berbeda maka temperatur reaksinya juga akan berbeda.

2. 4. 4. Pengaruh Rasio Mol Reaktan

Dari stokiometri transesterifikasi terlihat bahwa dibutuhkan tiga mol alkohol untuk bereaksi dengan satu mol trigliserida agar dihasilkan tiga mol ester dan satu mol gliserol. Penggunaan alkohol berlebih dimaksudkan agar kesetimbangan dapat bergerak ke arah kanan agar produk yang diinginkan dapat dipisahkan dari campuran yang terbentuk^[14]Error! Reference source not found. . Konsentrasi metil ester akan bertambah seiring dengan pertambahan rasio mol metanol/minyak sawit. Dari percobaan Freedman, yang mempelajari pengaruh perbandingan mol reaktan dari 1:1 hingga 6:1, didapatkan perilaku yang sama untuk minyak kacang kedelai, minyak bunga matahari, dan minyak tanah, bahwa konversi meningkat seiring peningkatan konversi mol. Konversi tertinggi diperoleh pada perbandingan mol 6:1.

2. 5. Zeolit

2. 5. 1. Sifat Zeolit Sebagai Penyangga/Support^[8]

Zeolit dapat digunakan sebagai katalis maupun sebagai penyangga katalis untuk reaksi-reaksi katalitik. Ciri paling khusus dari zeolit adalah banyaknya ruang kosong yang membentuk saluran didalamnya. Bila zeolit digunakan pada proses katalisis maka akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas antar kristal dan reaksi kimia juga terjadi di permukaan saluran tersebut.

Komponen inti aktif (asam, basa, atau logam) dapat ditempatkan kedalam suatu bahan penyangga berpori seperti zeolit dimana diharapkan dapat terdispersi secara merata ke seluruh permukaan dan pori penyangga. Teknik penempelan inti aktif ke dalam penyangga yang biasa digunakan adalah dengan cara impregnasi yang kemudian diaktivasi dengan pemanasan (kalsinasi). Tujuan dari penempelan

ini adalah untuk memperluas (memperbanyak) permukaan aktif (active sites) zeolit dalam kinerjanya sebagai suatu katalis.

2. 5. 2. Aktivasi Mineral Zeolit

Zeolit perlu diaktifkan terlebih dahulu sebelum dipergunakan, perlakuan ini dimaksudkan untuk mempertinggi daya kerjanya sebagai bahan penyerap ataupun penukar kation. Pengaktifan zeolit dapat dilakukan melalui beberapa cara antara lain :

- Pemanasan

Pemanasan pada zeolit bertujuan untuk mengeluarkan air yang terdapat dalam rongga-rongga atau saluran zeolit, sehingga larutan kation, gas, ataupun molekul-molekul yang mempunyai ukuran yang lebih kecil dari diameter saluran dapat masuk ke bagian dalam rongga zeolit.

Aktivasi pemanasan dilakukan pada suhu 150-300°C dengan waktu pemanasan selama 2-4 jam, dimana struktur zeolit tidak mengalami kerusakan. Hal ini disebabkan untuk pemanasan pada suhu tinggi akan menyebabkan terjadinya dehidroksilasi gugus OH pada struktur zeolit yang menyebabkan penurunan kapasitas pertukaran kationnya.

- Pertukaran kation

Kemampuan ataupun sifat pertukaran kation zeolit terutama selektivitas dan kapasitas pertukarannya akan sangat ditentukan oleh struktur kristalnya, dimana bila terjadi kerusakan struktur zeolit maka kemampuannya sebagai penukar kation maupun penyerap akan menurun.

- Dealuminasi

Pengaktifan zeolit melalui dealuminasi ditujukan untuk mengurangi efek hambatan dari pertukaran kation dengan cara pencucian Al^{3+} dalam kerangka zeolit dan posisinya akan digantikan oleh ion H^+ .

Proses dealuminasi yang terjadi pada penambahan asam florida (HF) dapat terjadi karena adanya efek penyisipan anion F^- ke dalam sisi asam Bronsted, sehingga menjadi sisi asam Lewis. Proses ini akan mengurangi alumina non rangka yang bersifat pengotor dan menaikkan jumlah asam Lewis. Salah satu akibat dari proses dealuminasi ini adalah meningkatnya rasio Si/Al.

- Impregnasi

Suatu cara untuk menempelkan inti aktif pada support adalah dengan metode impregnasi. Metode ini merupakan metode yang paling mudah dan menghasilkan deposit inti aktif cukup banyak.

Prinsip dari metode impregnasi adalah larutan garam logam dicampur dengan support dilarutkan dengan pengeringan untuk menghasilkan garam pada permukaan pori support^[18]. Pada proses pengeringan perlu diperhatikan kecepatan dari pengeringan karena akan menentukan dispersi dari deposit inti aktif yang akan terbentuk. Jika kecepatan pengeringan terlalu lambat, deposit akan terbentuk didasar pori. Sedangkan untuk kecepatan pengeringan terlalu cepat akan menyebabkan deposit terbentuk pada permukaan pori. Sehingga kecepatan pengeringan harus tepat agar menghasilkan deposit yang serupa.

2. 6. Analisa Sifat Fisika dan Kimia

Analisa reaksi yang terjadi pada suatu zat biasanya dilakukan untuk membuktikan bahwa telah terjadi reaksi kimia pada ester dengan melakukan uji densitas, viskositas, *cetane number*, FT-IR dan GC-MS.

2. 6. 1. Densitas^[19]

Densitas adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi densitas suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Densitas rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya.

Selain itu densitas merupakan karakteristik dari sebuah senyawa bernilai tetap dengan suhu dan tekanan tetap. Densitas dari cairan dapat diukur seperti padatan dengan mengukur massa dan volume dari sampel. Untuk cairan, perubahan relatif kecil pada temperatur dapat menyebabkan perubahan yang besar pada densitas, namun memerlukan perubahan tekanan yang besar untuk mengakibatkan perubahan yang sama besar. Sebuah benda yang memiliki densitas lebih tinggi (misalnya besi) akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki densitas lebih rendah (misalnya air).

Uji ini bertujuan untuk :

- menentukan jenis minyak
- menentukan tempat penyimpanan
- menentukan jenis/kapasitas transport

2. 6. 2. Viskositas^[20]

Viskositas menyatakan banyaknya energi yang dibutuhkan untuk mengalir, misalnya pada pipa. Viskositas merupakan ukuran dari interaksi yang kompleks dari molekul-molekul dalam cairan, tidak hanya gaya tarik elektron dan tolak menolak antara molekul, tapi juga ukuran dan bentuk molekul.

Viskositas, yang lebih dikenal sebagai kekentalan, menunjukkan tahanan internal fluida untuk mengalir dan dapat dianggap sebagai ukuran dari friksi fluida. Dapat dikatakan juga bahwa viskositas merupakan tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi dan biasanya dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Semakin kental suatu fluida, maka viskositasnya semakin besar dan tahanan fluida tersebut untuk mengalir juga semakin besar. Untuk minyak diesel, viskositas diukur dengan menggunakan metode ASTM D 455 dengan satuan centiStokes (cSt).

Viskositas menunjukkan tingkat kekentalan bahan. Untung rugi didalam mesin jika viskositas kecil/tinggi :

§ Viscositas rendah :

- minyak mudah dialirkan
- Daya pompa kecil

- Pengabutan / injeksi baik
- Kendala kebocoran
- Viscositas tinggi:
 - sulit dialirkan
 - Daya pompa besar
 - Pengabutan / injeksi jelek
 - Kendala pembakaran mungkin sulit

2. 6. 3. Angka Setana (Cetane Number)^[19]

Angka setana didefinisikan sebagai prosentase volume dari normal setana atau normal heksadekana ($C_{16}H_{34}$) dari campurannya dengan α -methyl naphtalene ($C_{10}H_7CH_3$). Setana mempunyai rantai panjang dan merupakan parafin jenuh. Setana atau normal heksadekana yang memiliki angka setana 100 mampu menyala dengan cepat sementara α -methyl naphtalene dan heptametilnonane dianggap memiliki angka setana 0 dan 15 dengan kemampuan penyalaan yang lambat.

Angka setana menunjukkan kemampuan bahan bakar untuk menyala dengan sendirinya (autoignition) dalam ruang bakar dari mesin diesel. seperti dari pengukuran kualitas penyalaan bahan bakar diesel, angka setana 100 mewakili waktu tunda yang relatif singkat sedangkan nilai 0 memiliki waktu yang lama. Angka setana bernilai tinggi akan menggambarkan proses penyalaan yang cepat dari nilai bahan bakar mesin diesel sehingga begitu bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder pembakaran maka bahan bakar akan langsung terbakar dan tidak terakumulasi sehingga mencegah terjadinya knocking atau suara bising yang keluar dari mesin diesel.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Preparasi sampel merupakan tahapan terpenting dari suatu penelitian dimana kesalahan analisis dapat terjadi karena adanya kesalahan dari preparasi sampel. Sampel katalis yang digunakan pada penelitian ini jenis katalis heterogen adalah zeolit alam Malang dan larutan natrium kalium hidroksida (KOH) dengan variasi persen berat 5% dan 10%.

3. 1. Alat dan Bahan

3. 1. 1. Alat

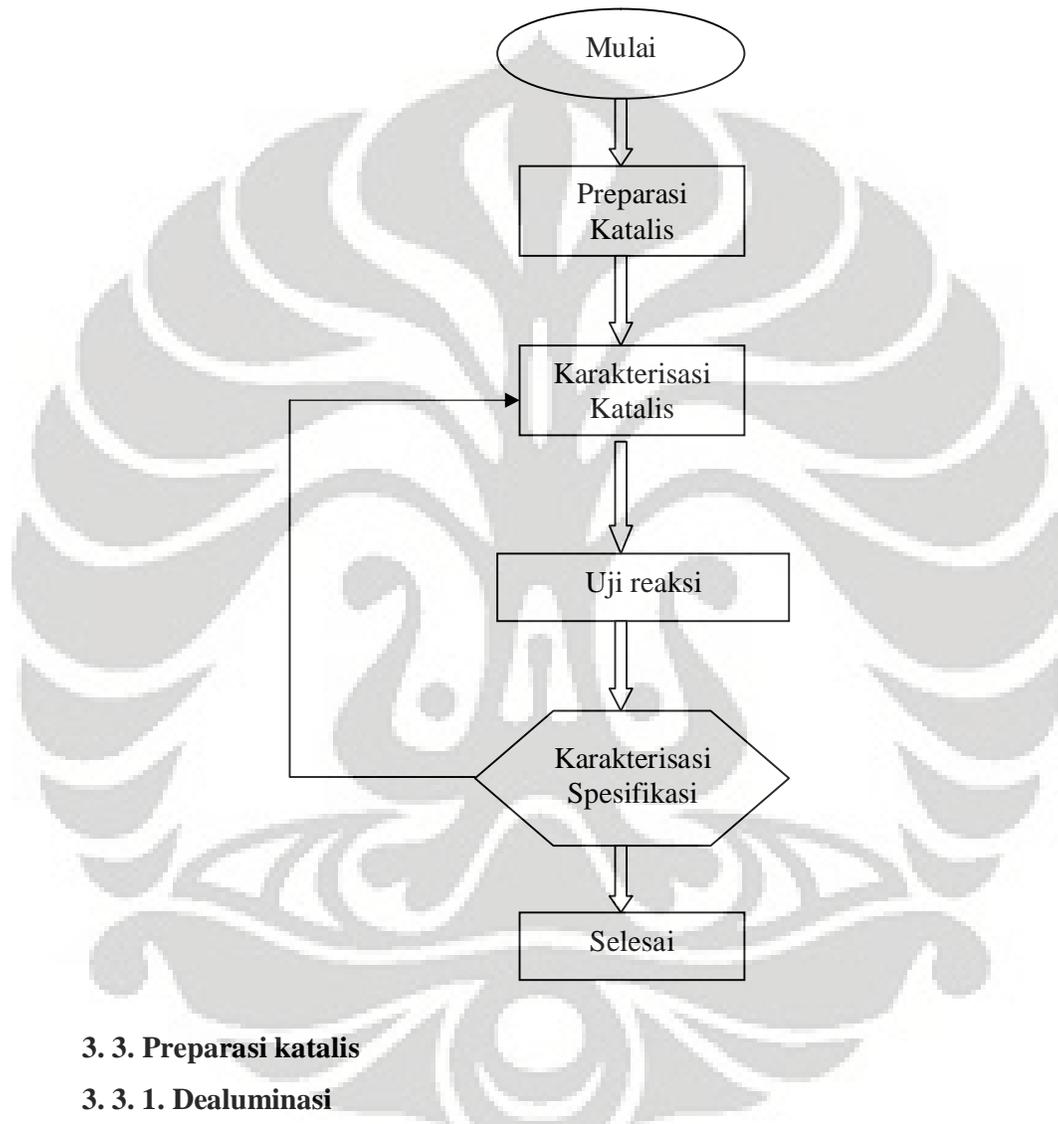
- Beaker Glass
- Labu ukur
- Whatmann 42
- Cawan porselin
- Batang pengaduk
- Pipet
- Piknometer
- Viskometer
- Oven
- Desikator
- Agitator
- FT-IR
- GC-MS
- Reaktor batch

3. 1. 2. Bahan

- Zeolit alam Malang
- Larutan HF 1%
- KOH
- Aquades

- Minyak sawit
- Metanol p.a
- Indikator p.p

3. 2. Tahapan Percobaan



3. 3. Preparasi katalis

3. 3. 1. Dealuminasi

- Menimbang zeolit alam 250 gram dan direndam dalam larutan HF 1% selama 20 menit sambil terus diaduk.
- Mencuci sampel zeolit dengan aquades hingga bersih dari asam sebanyak 2-3 kali.
- Meletakkan sampel dalam cawan porselin dan mengeringkannya dalam oven (tungku udara) digital selama ± 2 jam pada suhu 120 °C.

Universitas Indonesia

3.3.2. Impregnasi Basa KOH

- Menambahkan larutan KOH dengan variasi persen berat 5%, 10% pada zeolit alam pada tiap 100 gram dalam gelas piala.
- Mendinginkan selama 24 jam.

3.3.3. Kalsinasi

- Pencucian zeolit lalu memanaskan pada suhu 125°C selama 3 jam.
- Mendinginkan zeolit dalam desikator.

3.4. Sintesis Produk Biodiesel

3.4.1. Untuk rasio mol 6:1

- Memasukkan minyak trigliserida sebanyak 300 ml ke dalam reaktor.
- Memasukkan methanol sebanyak 75 ml ke dalam reaktor.
- Memasukkan katalis KOH/zeolit sebanyak 13.65 gram ke dalam reaktor.
- Memanaskan suhu hingga konstan 65°C secara konstan dengan controller selama sintesis berlangsung selama 8 jam.
- Mendinginkan produk hingga terbentuk 2 fasa.
- Menghitung konversi tiap 1 jam.

3.4.2. Untuk rasio mol 10:1

- Memasukkan minyak trigliserida sebanyak 300 ml ke dalam reaktor.
- Memasukkan methanol sebanyak 125 ml ke dalam reaktor.
- Memasukkan katalis KOH/zeolit sebanyak 13.65 gram ke dalam reaktor.
- Memanaskan suhu hingga konstan 65°C secara konstan dengan controller selama sintesis berlangsung selama 8 jam.
- Mendinginkan produk hingga terbentuk 2 fasa.
- Menghitung konversi tiap 1 jam.

3. 5. Uji Karakterisasi Produk

Setelah sintesis produk dilakukan untuk menghasilkan produk pelumas, maka dilakukan pengujian untuk mengetahui perubahan dari produk tersebut akibat sintesis yang dilakukan. Pengujian bertujuan untuk mengetahui keberhasilan dari sintesa yang dilakukan.

3. 5. 1. Uji Densitas

Uji ini dilakukan untuk mengetahui densitas dari produk sebagai salah satu sifat fisiknya. Prosedur kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Menimbang piknometer 10 ml kosong.
- Mengisi piknometer dengan sampel lalu menimbanginya.
- Mencuci bersih piknometer lalu memasukkan sampel setelah kering. Kemudian menutup piknometer dan menimbanginya.
- Mencatat suhu dalam piknometer.
- Menghitung densitas.

$$Densitas = \frac{(beratpiknometer + sampel) - (beratpiknometer)}{10} \quad (3.1)$$

3. 5. 2. Uji Viskositas Kinematik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan produk sebagai akibat terjadinya proses oksidasi. Prosedur kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Menyusun peralatan.
- Menyiapkan oil bath pada suhu 40°C.
- Mengisi viscometer dengan sampel yang akan diuji dan mengkondisikan suhu sampel sesuai suhu oil bath.
- Menggunakan bulb untuk menghisap sampel sampai batas atas dari viscometer.
- Mencatat waktu pengaliran dari batas atas sampai batas bawah pada viscometer.
- Mengulangi percobaan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan data yang stabil.

- Mengulangi percobaan dengan suhu oil bath 100°C.
- Mencatat konstanta dan hitung viskositas kinematik

$$V = Cxt \quad (3.2)$$

V = viskositas kinematik (cst)

C = konstanta viscometer

t = waktu aliran zat (s)

3. 5. 3. Uji Cetane Number

- Menyusun peralatan
- Mengisi alat uji dengan sampel sebanyak 10 ml
- Mengatur suhu pada 50°C hingga konstan lalu mencatatnya.
- Mengulangi percobaan pada setiap kenaikan suhu 50°C
- Mencatat suhu akhir pada saat diperoleh sampel 5 ml.

3. 5. 4. Uji FTIR

Uji FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus-gugus yang terbentuk setelah dilakukan sintesa produk. Prosedur kerja FTIR sebagai berikut:

- Menyalakan alat FTIR selama beberapa waktu untuk memanaskan alat tersebut.
- Membersihkan sel dengan menggunakan *acetone* untuk menghilangkan kotoran yang tersisa.
- Menyiapkan sel dan kemudian membuat lapisan tipis di permukaan sel dengan mengoleskan produk secara merata di permukaan sel tersebut.
- Meletakkan sampel dalam *sample slide* dan menutupnya.
- Menekan tombol scan yang tertera pada layar monitor computer untuk melakukan pengujian.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini difokuskan pada tahap proses transesterifikasi minyak sawit untuk menghasilkan produk biodiesel (metil ester) dengan menggunakan katalis heterogen KOH/zeolit. Produk sintesis biodiesel yang dihasilkan akan dilakukan pengujian densitas, viskositas, cetane number, FTIR, dan GCMS.

4. 1. Preparasi katalis

Penelitian ini menggunakan zeolit padatan yang berfungsi sebagai support atau penyangga yang berasal dari malang dengan pertimbangan mudah didapat dan mempunyai kandungan Si/Al yang cukup rendah.

4. 1. 1. Dealuminasi

Tahap dealuminasi merupakan proses pengaktifan zeolit yang ditujukan untuk mengurangi efek hambatan dari pertukaran kation dengan cara pencucian Al^{3+} oleh larutan HF 1% yang diaduk selama 2 jam hingga homogen lalu direndam. Perendaman dilakukan agar pengotor yang terkandung pada zeolit mengendap.

Selain itu, tahap dealuminasi ini adalah untuk membuka pori-pori zeolit sehingga pada saat digunakan sebagai katalis dapat menjadi support bagi katalis basa KOH. Pencucian dengan aquades dilakukan untuk membebaskan zeolit dari asam yang masih tersisa pada pengadukan dan perendaman.

Pengeringan dilakukan pada suhu $120^{\circ}C$ selama ± 2 jam bertujuan untuk menghilangkan air dari endapan basah zeolit akibat pencucian sebelumnya hingga zeolit menjadi kering atau bebas air.

4. 1. 2. Impregnasi Basa KOH

Secara umum tujuan dari impregnasi KOH ke permukaan suatu padatan adalah untuk memperluas permukaan dari suatu padatan sehingga aktifitasnya meningkat. Zeolit hasil dealuminasi tersebut lalu diimpregnasi dengan katalis basa KOH untuk menempelkan inti aktif pada support dengan variasi

persen berat katalis sebesar 5% dan 10%. Agar inti aktif tersebut dapat menempel pada support maka dilakukan pengadukan selama 24 jam lalu didiamkan agar deposit dari inti aktif yang terbentuk merata.

4. 1. 3. Kalsinasi

Inti aktif yang terbentuk setelah proses impregnasi lalu dikalsinasi pada suhu 125°C selama 3 jam dengan tujuan untuk mengikat inti aktif katalis basa KOH menjadi kuat dan tidak lepas.

4. 2. Sintesis Produk Biodiesel

Proses pembuatan biodiesel yang dilakukan adalah melalui reaksi transesterifikasi pada kondisi operasi temperatur 65°C dengan kecepatan pengadukan sebesar 35 rpm (yang tertera pada alat). Reaksi katalitik ini dilakukan pada reaktor batch seperti terlihat pada Gambar 4.1.



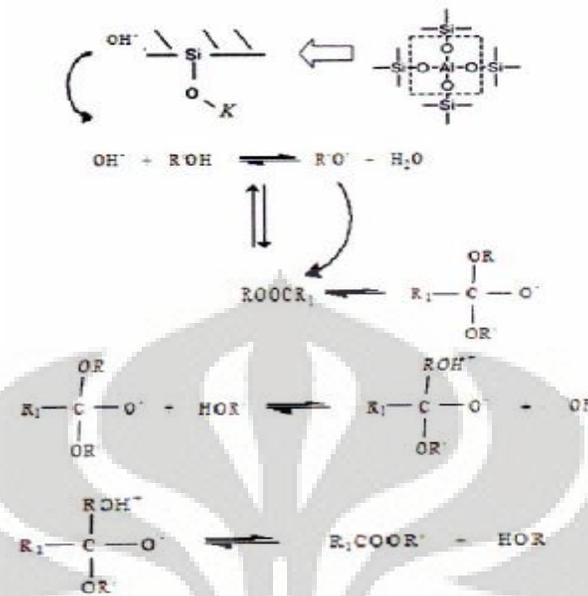
Gambar 4. 1. Reaktor Batch

Pada reaksi ini, trigliserida bereaksi dengan metanol menghasilkan ester metil dan gliserin. Reaksi ini akan cepat mencapai kesetimbangan dengan

penambahan katalis. Katalis yang digunakan pada reaksi ini adalah katalis basa KOH yang disupport oleh zeolit sehingga terbentuk katalis heterogen. Dimana katalis basa memiliki aktivitas katalis lebih besar dibanding katalis asam dan tidak korosif. Penggunaan katalis homogen memiliki tingkat kesulitan secara teknis untuk menghilangkannya dan memproduksi jumlah yang banyak dari waste water untuk memisahkan dan membersihkan katalis dari produk. Untuk itu digunakan katalis heterogen pada proses transesterifikasi ini dengan keunggulannya yaitu mudah dipisahkan dengan campuran reaksinya, selektivitas menuju produk yang diinginkan dapat dicapai dengan menggunakan selektivitas bentuk dalam keberadaan poros katalis heterogen, aktivitas yang terkandung pada active sites dapat dimodifikasi dengan struktur padat (seperti kekuatan asam basa), pada proses kontinyu lebih mudah digunakan, dan juga relatif stabil pada suhu tinggi.

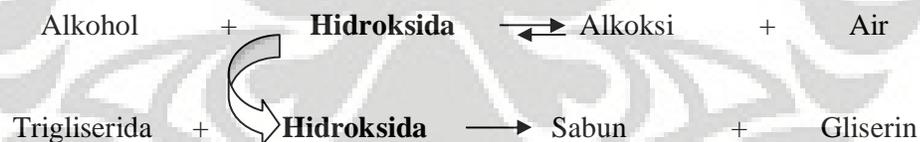
Penelitian ini menggunakan zeolit alam (Malang) granular yang digunakan sebagai support untuk membuat katalis heterogen menjadi lebih efektif pada proses transesterifikasi dalam sintesis biodiesel. Banyaknya ruang kosong yang membentuk saluran didalamnya merupakan ciri khusus dari zeolit, dimana pada saat digunakan akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas antar kristal dan reaksi kimia juga terjadi di permukaan saluran tersebut.

Pada Gambar 4.2 terlihat mekanisme reaksi transesterifikasi trigliserida dengan alkohol menggunakan katalis basa heterogen dengan beberapa tahap. Tahap pre-awal adalah pembebasan OH^- dari KOH dimana K^+ terikat oleh O^- pada Si. Pada tahap ini terjadi penyerangan pada atom karbon karbonil dari trigliserida oleh anion dari alkohol (ion metoksida) untuk membentuk intermediet tetrahedral bereaksi dengan alkohol (metanol) untuk menghasilkan anion dari alkohol (ion metoksida). Tahap yang terakhir adalah penyusunan kembali hasil intermediet tetrahedral dalam bentuk ester asam lemak dan digliserida.



Gambar 4. 2. Mekanisme Reaksi Transesterifikasi Trigliserida dengan Alkohol Menggunakan Katalis Basa^[8]

Ketika KOH berinteraksi dengan alkohol dan membentuk gugus alkoksi, sejumlah air yang dihasilkan dalam reaksi dapat menyebabkan pembentukan sabun. Selama proses transesterifikasi diharapkan air tersebut dapat teradsorb oleh zeolit yang berfungsi support sehingga minimisasi dari terbentuknya sabun dapat terjadi.



Untuk memperoleh produk biodiesel dalam proses transesterifikasi, maka digunakan larutan metanol *pro analys* dengan tingkat kemurnian 99% agar terbentuk dua lapisan, yaitu metil ester sebagai biodiesel pada lapisan atas dan produk samping berupa gliserol pada lapisan bawah.

Dua lapisan ini tidak terbentuk pada saat menggunakan metanol teknis. Hal ini disebabkan tingkat kemurnian dari metanol teknis yang digunakan rendah. Selain itu, tidak terbentuknya 2 lapisan tersebut dikarenakan pada saat reaksi

katalitik berlangsung reaksi yang terjadi kurang sempurna karena sifat metanol yang mudah menguap.

4. 2. 1. Konversi

Konversi (x_a) digunakan untuk menunjuk atau mengukur sejumlah massa reaktan yang bereaksi. Konversi dapat didefinisikan sebagai sejumlah massa yang bereaksi ($W_{A_0} - W_A$) terhadap massa mula-mula (W_{A_0}).

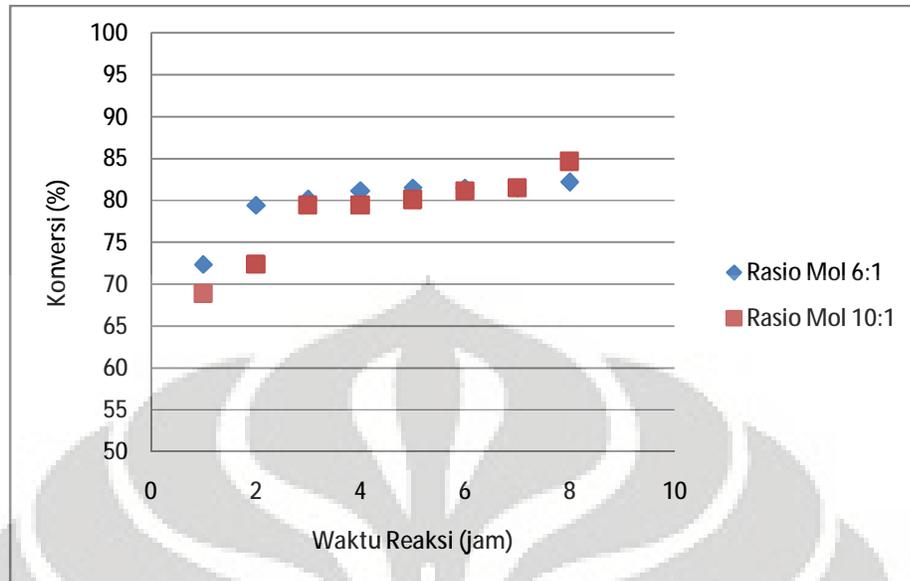
Sebelum melakukan perhitungan nilai konversi, dimulai dengan standarisasi larutan KOH 0,1 N yang dititrasi terhadap asam KHP dan diperoleh konsentrasi KOH sebesar 0,08 N. Setelah itu, melakukan perhitungan %konversi yang dilakukan terhadap sampel produk tiap satu jam selama delapan jam. Persamaan %konversi yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\% \text{konversi asam lemak} = \frac{(V_t - V_b) \cdot M \cdot BM_{KOH}}{W_s} \times 100\% \quad (4.1)$$

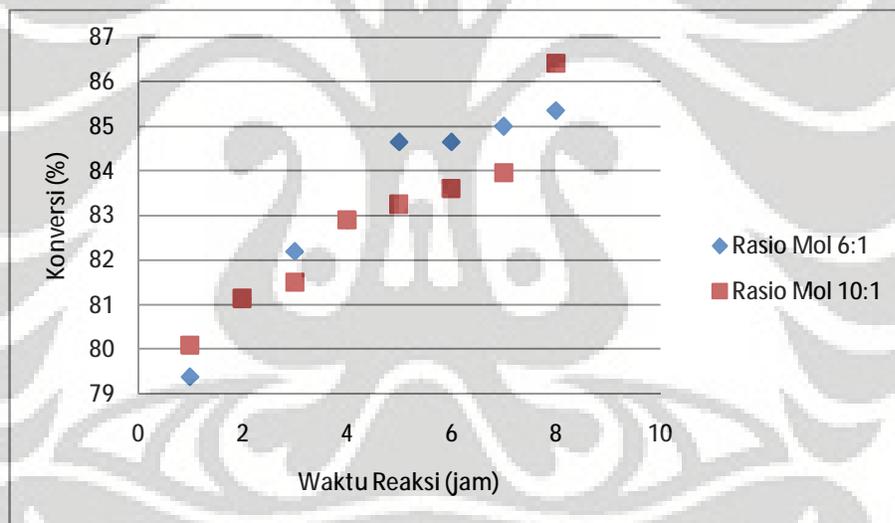
Dimana %konversi tersebut merupakan banyaknya asam yang terkonversi menjadi produk. Dari data diperoleh asam yang terkonversi semakin kecil karena terjadi pemutusan gugus trigliserida oleh metanol dan kandungan asam pada trigliserida yang memang kecil.

Sedangkan %konversi produk biodiesel/metil ester dilakukan dengan menggunakan persamaan :

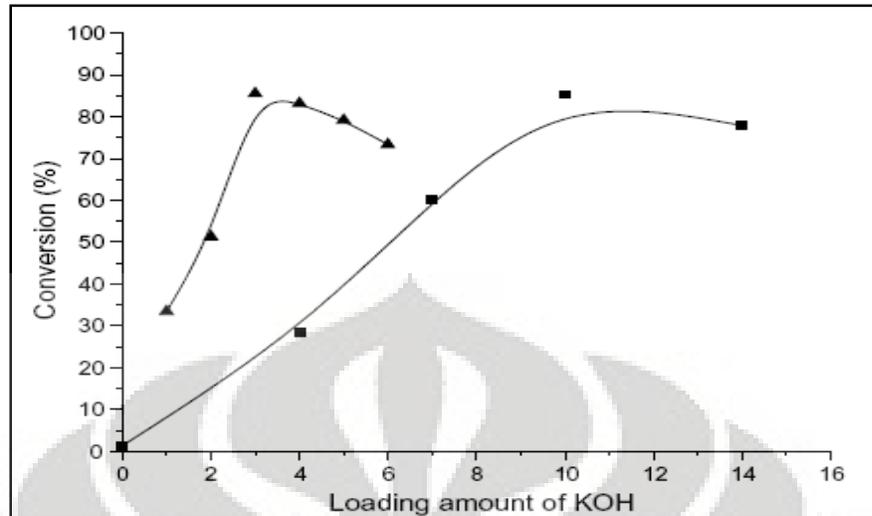
$$x_a = \frac{C_{A_0} - C_A}{C_{A_0}} = \frac{W_{A_0} - W_A}{W_{A_0}} \quad (4.2)$$



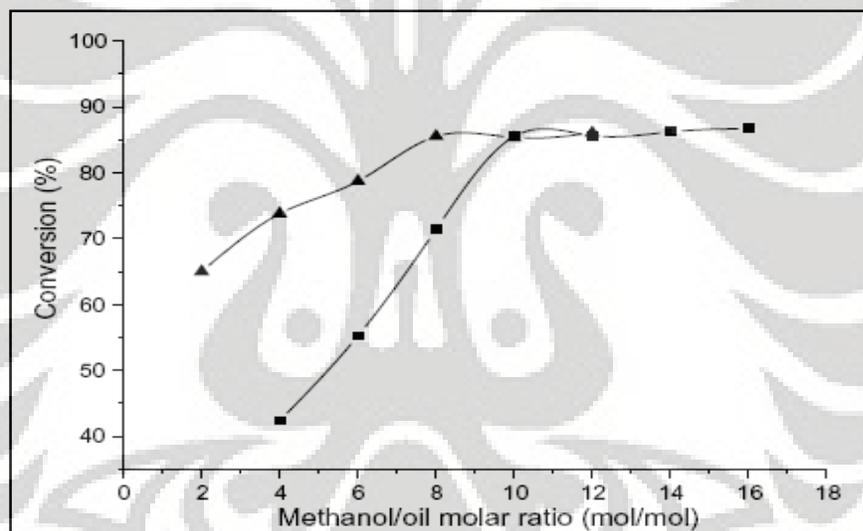
Gambar 4.3. Grafik Waktu Reaksi vs Konversi KOH/z 5%



Gambar 4.4. Grafik Waktu Reaksi vs Konversi KOH/z 10%



Gambar 4.5. Grafik KOH vs Konversi^[1]



Gambar 4.6. Grafik Rasio Mol vs Konversi^[1]

Dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 menunjukkan perbedaan hasil %konversi yang diperoleh dengan variasi KOH/z dan rasio mol selama 8 jam. Dari grafik tersebut terlihat hasil optimum %konversi sintesis biodiesel yang diperoleh sebesar 86,4% dengan menggunakan katalis KOH/z 10% dan rasio mol 10:1.

Sedangkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6, dari penelitian yang dilakukan oleh Xie dkk^[1], dengan menggunakan zeolit sintetis yang di-loading dengan KOH sebagai katalis heterogen, diperoleh hasil %konversi optimum

Universitas Indonesia

sebesar 85,6% setelah waktu reaksi 8 jam dengan menggunakan KOH/NaX 10% dan rasio mol 10:1.

Terjadinya %konversi yang tinggi pada waktu awal reaksi disebabkan pengambilan sampel dilakukan pada saat ketika kondisi reaksi sedang berlangsung, tanpa diketahui sampel yang dianalisa merupakan produk atau metanol atau katalisnya. Sampel tersebut di *sentrifuge* untuk memisahkan produk dengan katalisnya lalu dititrasi dengan larutan KOH 0,08 N hingga tercapai titik kesetimbangan dengan menggunakan indikator pp (phenolftalein) yang terlihat dari perubahan warna yang terjadi dari keruh menjadi merah muda.

Dari hasil perbandingan penelitian tersebut, dapat dinyatakan bahwa semakin besar konsentrasi KOH/z dan rasio mol yang digunakan berbanding lurus dengan semakin besarnya konversi yang dihasilkan.

4. 3. Uji Karakterisasi Produk

Setelah sintesis produk dilakukan untuk menghasilkan produk biodiesel, maka dilakukan pengujian untuk mengetahui perubahan dari produk tersebut akibat sintesis yang dilakukan. Pengujian bertujuan untuk mengetahui keberhasilan dari sintesis yang dilakukan.

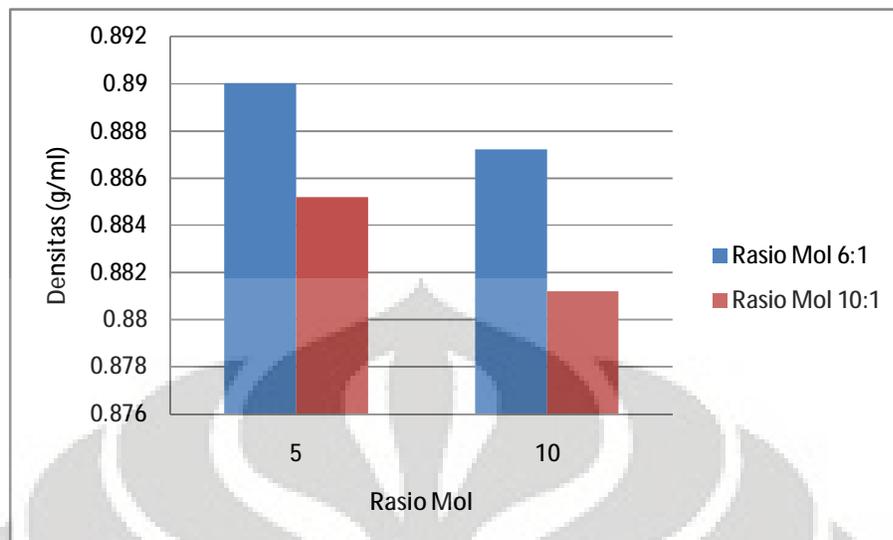
4. 3. 1. Densitas

Densitas merupakan ukuran atau kemampatan suatu zat yang diukur dari perbandingan massa dan volume zat tersebut. Semakin besar molekul yang dimiliki suatu zat maka densitas akan semakin besar.

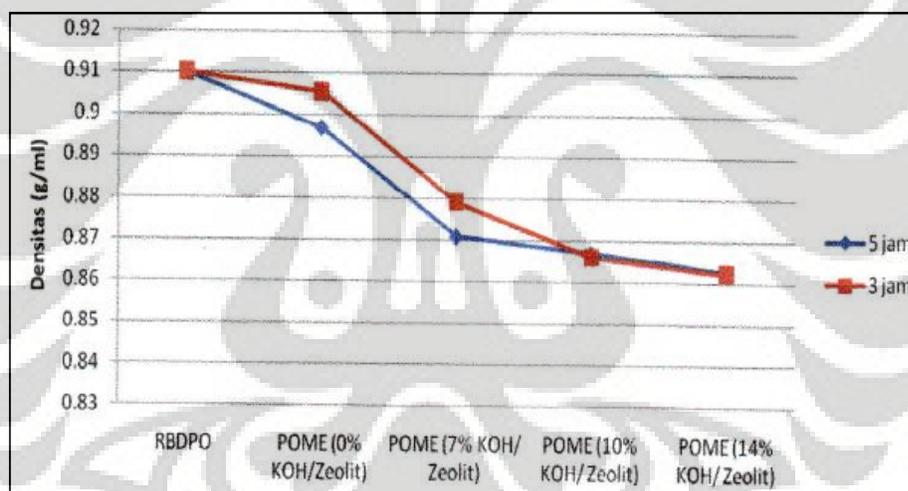
Pengukuran densitas pada penelitian ini dilakukan pada suhu ruang 27°C. Semakin tinggi konsentrasi basa yang diimpregnasi menyebabkan densitas dari produk semakin rendah.

Tabel 4. 1. Data Hubungan Densitas dengan Konsentrasi Katalis

Konsentrasi Katalis	Densitas	
	rasio 6:1	rasio 10:1
KOH 5%	0,890	0,885
KOH 10%	0,887	0,881



Gambar 4. 7. Grafik Densitas vs Konsentrasi Katalis



Gambar 4. 8. Grafik Densitas Terhadap Produk^[8]

Dari Tabel 4.1 dan Gambar 4.7 terlihat terjadi penurunan nilai densitas pada produk yang dihasilkan lebih kecil dibanding dengan densitas awal dari minyak RBDPO sebelum reaksi 0,91 g/ml dengan densitas terendah sebesar 0,881 g/ml menggunakan KOH/z 10% dan rasio mol 10:1.

Sedangkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Waffa^[8], dengan menggunakan katalis heterogen KOH/z selama 3 jam dan 5 jam dengan reaktor sirkulasi yang terlihat pada Gambar 4.8, juga terjadi penurunan nilai densitas dengan densitas terendah menggunakan KOH/z 14% dan waktu reaksi 5 jam.

Universitas Indonesia

Penurunan nilai densitas ini dikarenakan terjadi pemutusan struktur molekul produk biodiesel dari RBDPO sehingga lebih kecil dibandingkan minyak sawit yang mempunyai bobot molekul yang lebih rendah.

Dari hasil perbandingan penelitian tersebut, dapat dinyatakan bahwa semakin besar konsentrasi katalis dan rasio mol yang digunakan maka densitas produk biodiesel yang dihasilkan akan semakin kecil hingga diperoleh nilai densitas yang sesuai dengan spesifikasi solar.

Tabel 4. 2. Perbandingan Densitas Hasil Penelitian dengan Literatur

Konsentrasi Katalis	Sampel	Densitas (g/ml)	Densitas Literatur (g/ml)	
			Min	Max
KOH/z 5%	Rasio 6:1	0,890	0,81	0,87
	Rasio 10:1	0,885		
KOH/z 10%	Rasio 6:1	0,887		
	Rasio 10:1	0,881		

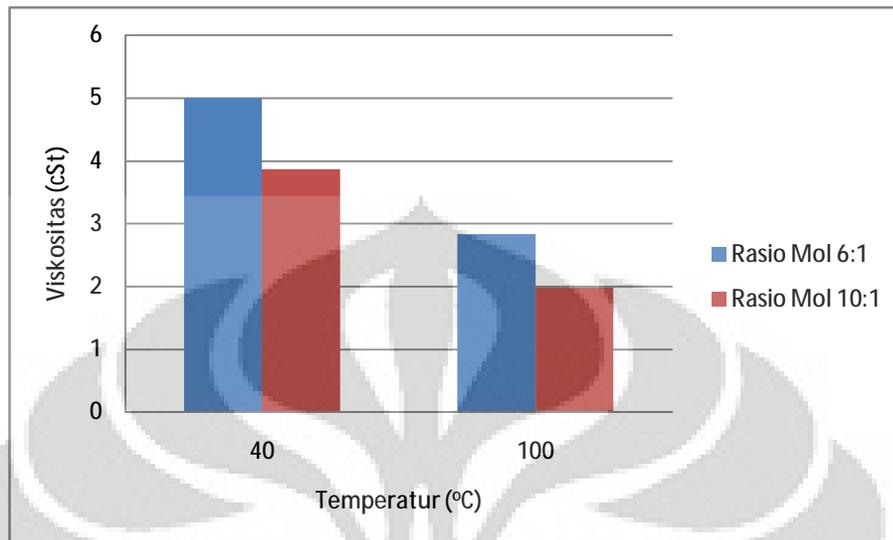
Dari perbandingan densitas hasil penelitian yang diperoleh dengan spesifikasi solar^[24] berdasarkan Tabel 4.2, terlihat bahwa nilai densitas untuk produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan spesifikasi solar, yaitu antara 0,81-0,87 g/ml, sedangkan densitas terendah dari produk sebesar 0,881 g/ml.

4. 3. 2. Viskositas Kinematik

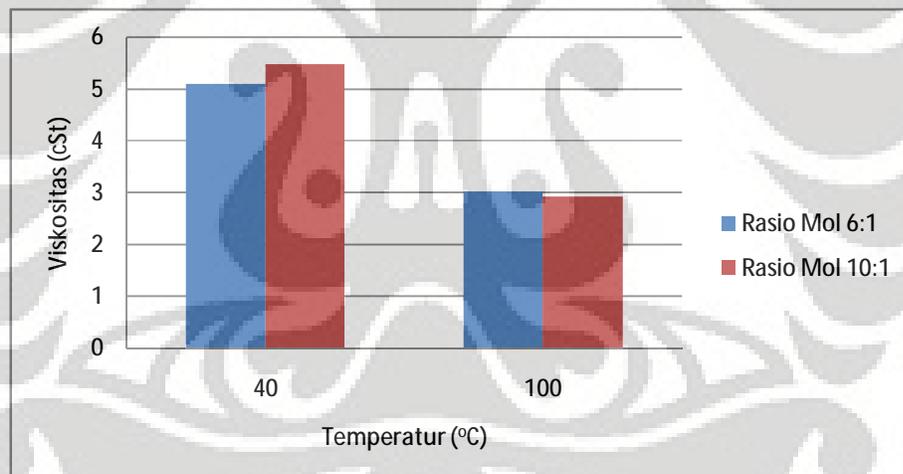
Viskositas merupakan sifat zat cair yang berhubungan dengan hambatan untuk mengalir akibat dari adanya gaya-gaya antar molekul yang mengalir. Semakin besar struktur molekulnya maka semakin besar juga hambatan untuk mengalir. Tabel 4.3 menunjukkan data viskositas yang diperoleh pada temperatur 40°C dan 100°C dengan menggunakan Viskometer Oswald.

Tabel 4. 3. Data Hubungan Viskositas dengan Temperatur

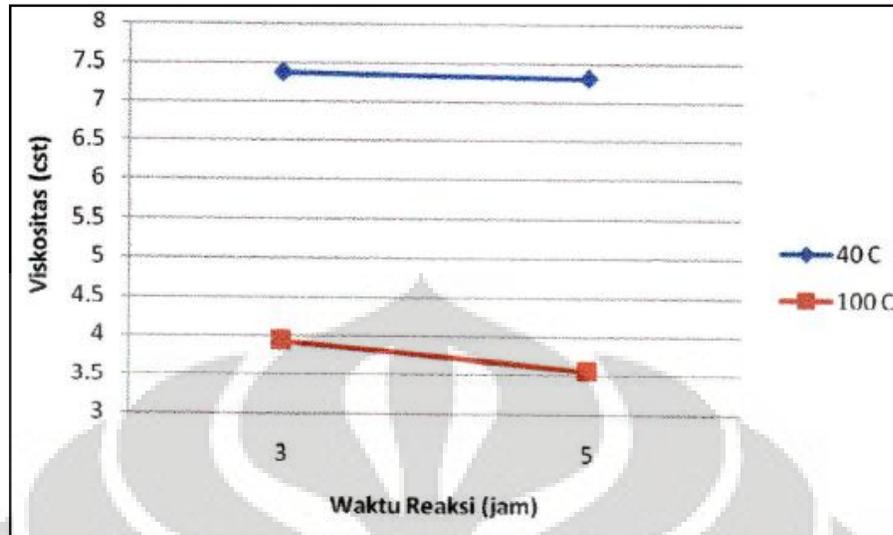
Konsentrasi Katalis	Sampel	Viskositas (cSt)	
		40°C	100°C
KOH 5%	Rasio mol 6:1	4,998	2,829
	Rasio mol 10:1	3,866	1,980
KOH 10%	Rasio mol 6:1	5,092	3,018
	Rasio mol 10:1	5,469	2,923



Gambar 4. 9. Grafik Hubungan Temperatur vs Viskositas KOH/z 5%



Gambar 4. 10. Grafik Hubungan Temperatur vs Viskositas KOH/z 10%



Gambar 4. 11. Grafik Hubungan Waktu vs Viskositas KOH/z 14%^[8]

Pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 terlihat terjadi penurunan viskositas baik KOH/z 5% maupun KOH/z 10% pada temperatur 40°C dan 100°C. Hal ini dikarenakan gaya tarik menarik antar molekul yang semakin kecil sehingga akan menurunkan nilai viskositasnya.

Sedangkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Waffa^[8], dengan menggunakan katalis heterogen KOH/z selama 3 jam dan 5 jam dengan reaktor sirkulasi yang terlihat pada Gambar 4.11, juga terjadi penurunan viskositas dengan menggunakan KOH/z 14% untuk waktu reaksi selama 3 jam dan 5 jam.

Secara umum, molekul yang besar akan lebih sulit untuk mengalir dikarenakan lebih mudah untuk berkaitan satu sama lain dibandingkan molekul yang kecil. Kemudian viskositas berubah dengan cepat terhadap temperatur. Energi kinetik molekul meningkat sehingga molekul akan lebih mudah bergerak. Ketika molekul mengalami thermal expansion (ekspansi), jarak antar molekul akan meningkat, sehingga dapat bergerak dengan lebih mudah secara alami. Oleh karena itu, viskositas menurun seiring dengan kenaikan suhu. Saat senyawa mengalami pendinginan, energi kinetik akan menurun, intermolekular collisions berkurang dan molekul akan berdekatan. Semakin besar densitas suatu senyawa maka viskositasnya juga semakin besar.

Viskositas suatu bahan bakar diesel juga menunjukkan sifat pelumasan dari bahan bakar tersebut, dimana bahan bakar dengan

viskositas yang relatif tinggi akan memiliki sifat lubrikasi yang baik. Pengaruh lain dari karakteristik ini adalah kemampuan bahan bakar diesel untuk teratomisasi saat diinjeksikan ke dalam silinder pembakaran. Bahan bakar dengan viskositas yang relatif lebih rendah akan mudah teratomisasi. Jadi bahan bakar diesel sebaiknya memiliki viskositas yang relatif rendah agar lebih mudah mengalir dan lebih mudah teratomisasi. Walaupun demikian, suatu bahan bakar juga memerlukan sifat lubrikasi yang cukup baik untuk mencegah terjadinya keausan pada mesin sehingga ada batasan minimal untuk nilai viskositas pada bahan bakar diesel.

Tabel 4. 4. Perbandingan Viskositas Hasil Penelitian dengan Literatur

Konsentrasi Katalis	Sampel	Viskositas (cSt)		Viskositas Literatur (cSt)	
		40°C	100°C	Min	Max
KOH 5%	Rasio mol 6:1	4,998	2,829	2	5
	Rasio mol 10:1	3,866	1,980		
KOH 10%	Rasio mol 6:1	5,092	3,018		
	Rasio mol 10:1	5,469	2,923		

Dari tabel 4.4 dapat terlihat bahwa viskositas optimum produk biodiesel yang dihasilkan dapat dikatakan berada pada range spesifikasi viskositas solar^[24] dengan menggunakan KOH/z 5% dan kedua variasi rasio mol.

4. 3. 3. Cetane Number

Cetane number menunjukkan kualitas penyalaan bahan bakar. Cetane number bernilai tinggi akan menggambarkan proses penyalaan yang cepat dari nilai bahan bakar mesin diesel sehingga begitu bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder pembakaran maka bahan bakar akan langsung terbakar dan tidak terakumulasi sehingga mencegah terjadinya knocking atau suara bising yang keluar dari mesin diesel dan meningkatkan efisiensi mesin, mengurangi jumlah kalor yang hilang serta mengurangi emisi NO_x dan partikulat.

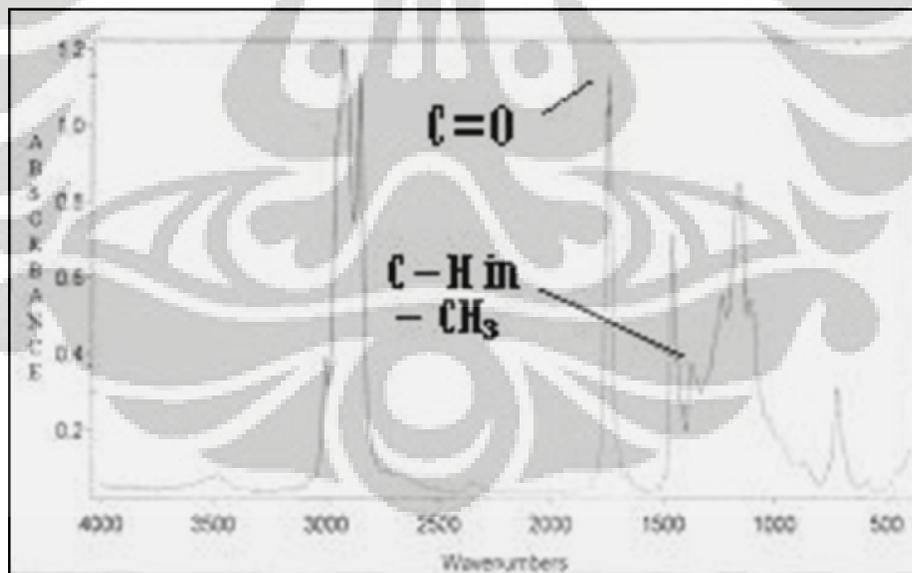
Tabel 4. 5. Cetane Number Produk Biodiesel Hasil Penelitian

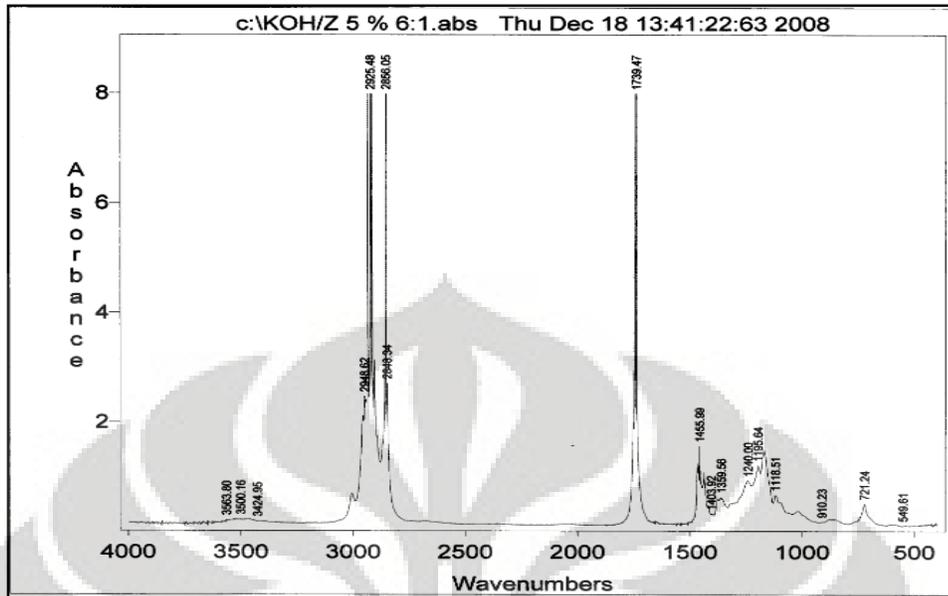
Konsentrasi Katalis	Sampel	Cetane Index	Cetane Index Literatur
KOH/z 5%	Rasio 6:1	46,054	> 48
	Rasio 10:1	51,079	
KOH/z 10%	Rasio 6:1	48,039	
	Rasio 10:1	53,474	

Dari tabel 4.5 terlihat bahwa semakin besar konsentrasi katalis dan rasio mol yang digunakan berbanding lurus dengan cetane index yang dihasilkan. Cetane index optimum yang terkandung pada produk biodiesel dengan menggunakan KOH/z 10% dan rasio mol 10:1, berada pada range spesifikasi cetane index solar^[24].

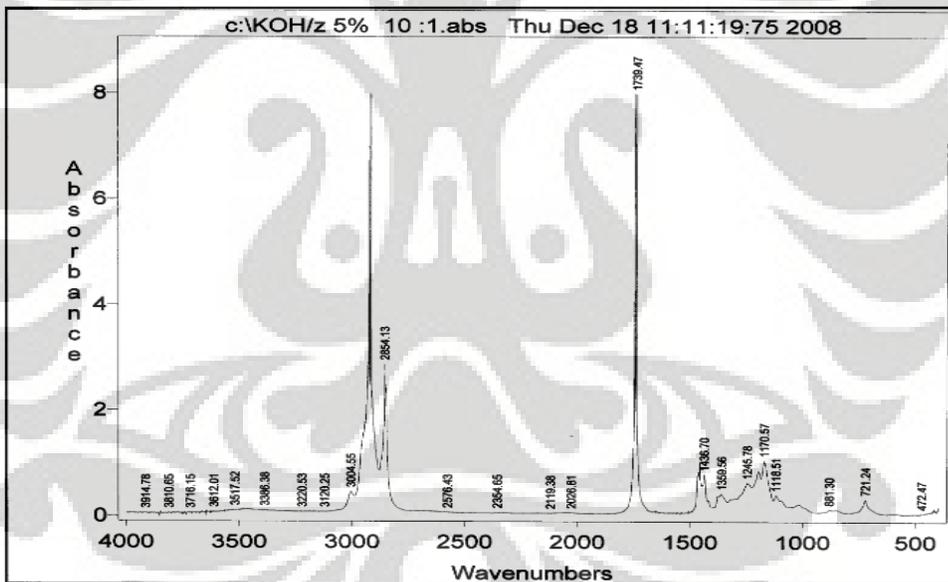
4. 3. 4. FT-IR

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan gugus akibat terjadinya reaksi pada variasi KOH/zeolit yang digunakan. Peak yang terbentuk menunjukkan gugus pada struktur molekul tersebut.

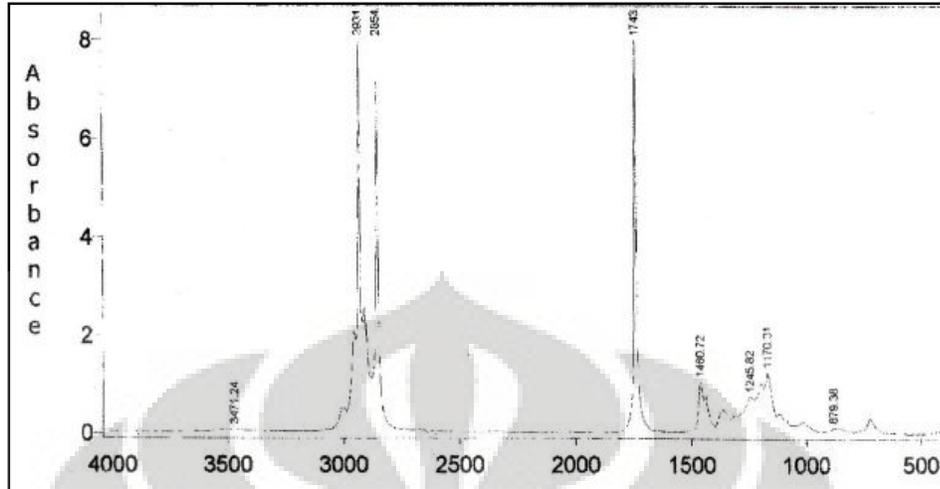
**Gambar 4. 12.** Spektrum FT-IR Minyak Sawit



Gambar 4. 13. Spektrum FT-IR dengan KOH/zeolit 5% rasio mol 6:1



Gambar 4. 14. Spektrum FT-IR dengan KOH/zeolit 5% rasio mol 10:1



Gambar 4.15. Spektrum FT-IR dengan KOH/z 14%^[8]

Peak absorbansi utama yang dilihat pada hasil FT-IR ini adalah pada range 1300-1400 cm^{-1} dimana peak tersebut menunjukkan ikatan C-H yang membentuk gugus CH_3 (metil). Gugus metil ini akan meningkat selama proses transesterifikasi berlangsung. Sedangkan ikatan C=O pada range 1600-1800 cm^{-1} tidak terjadi perubahan absorbansi sebelum dan sesudah reaksi, dimana selama proses transesterifikasi berlangsung tidak terjadi perubahan gugus fungsi.

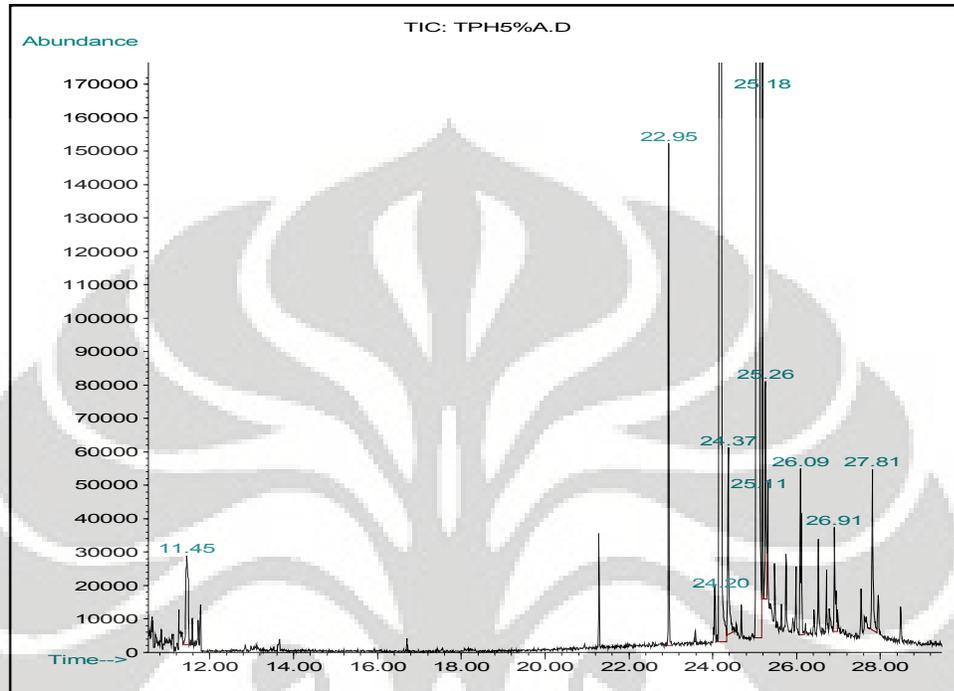
Pada hasil spektrum FT-IR yang terbentuk sebelum reaksi (Gambar 4.12), dan sesudah reaksi produk biodiesel (Gambar 4.13 dan Gambar 4.14), telah terjadi peningkatan absorbansi pada ikatan C-H yang ditandai dengan terbentuknya gugus CH_3 (metil) yang cukup tinggi pada peak dengan range 1300-1400 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan bahwa telah terbentuk produk biodiesel pada proses transesterifikasi menggunakan katalis heterogen KOH/zeolit.

Sedangkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Waffa^[8], dengan menggunakan katalis heterogen KOH/z selama 3 jam dan 5 jam dengan reaktor sirkulasi yang terlihat pada Gambar 4.15, juga terjadi peningkatan absorbansi pada gugus CH_3 (metil) dengan range 1300-1400 cm^{-1} .

4.3.5. GC-MS

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terkandung dan total petroleum hydrocarbon dari produk biodiesel yang dihasilkan dari hasil

reaksi. Dalam hal ini jenis asam lemak tidak diketahui karena molekul trigliseridanya memiliki 3 jenis asam lemak pada tiap ikatan gliseridanya.



Gambar 4. 16. KOH/zeolit 5% dengan rasio mol 6:1

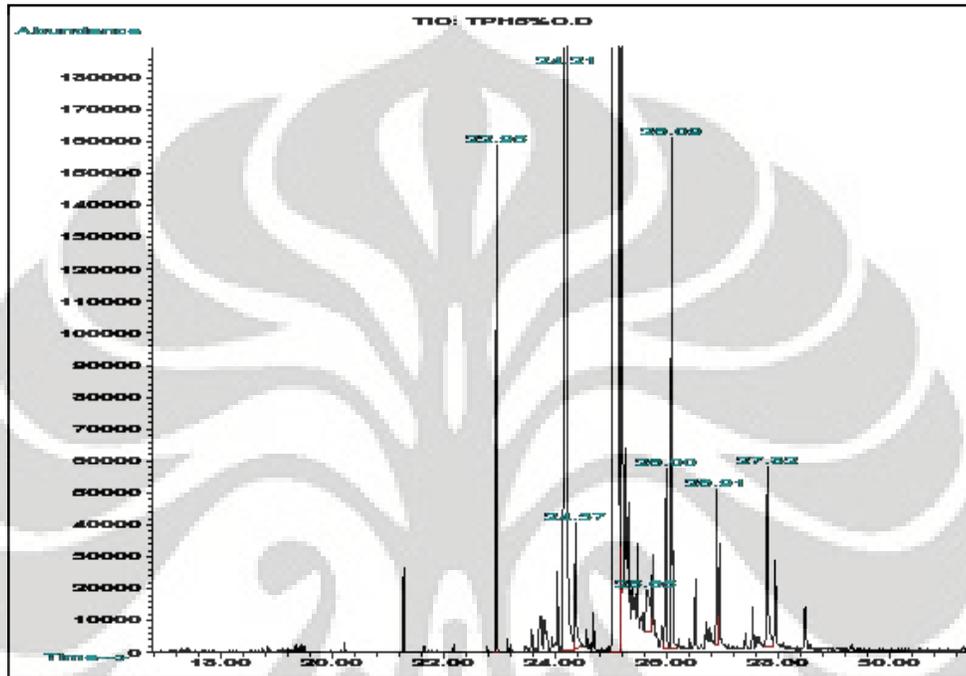
Tabel 4. 6. Senyawa yang Terkandung Pada Produk KOH/z 5%
Dengan Rasio Mol 6:1

No.	Senyawa	Konsentrasi (%area)
1.	C ₁₆	39,23
2.	C ₁₈	53,62
3.	C ₂₀	0,42
4.	Lain-lain	6,73

Dari hasil analisa dengan menggunakan GC-MS yang terlihat pada Gambar 4.16, diperoleh senyawa dominan yang terkandung dalam produk biodiesel adalah ikatan C₁₆-C₂₀ dengan masing-masing % konsentrasi terlihat pada Tabel 4.6. Untuk solar sendiri memiliki ikatan C₁₄-C₂₂.

Sedangkan untuk nilai Total Petroleum Hydrocarbon diperoleh 1529,125 ppm dengan kandungan dominan pada fraksi solarnya berupa Nonadecane/C₁₉H₄₀

sebesar 514,625 ppm, dimana Total Petroleum Hydrocarbon merupakan jumlah ikatan hidrokarbon yang terbentuk dalam fraksi minyak bumi, khususnya solar, dimana solar sendiri tersusun dari rantai C₁₄-C₂₂. Dari hasil GC-MS terlihat bahwa terdapat kandungan senyawa berupa Nonadecane/C₁₉H₄₀.



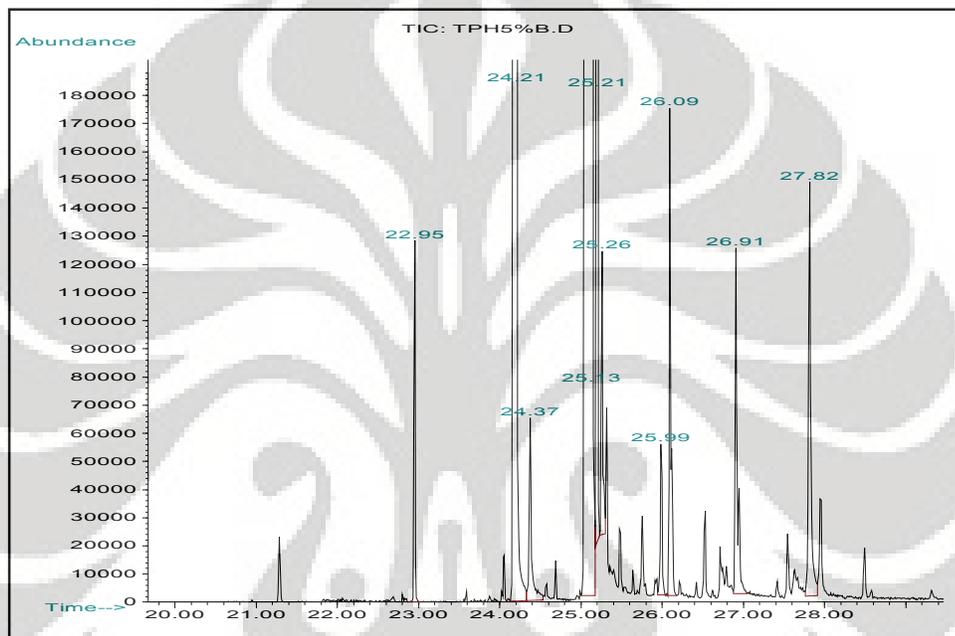
Gambar 4. 17. KOH/zeolit 5% dengan rasio mol 10:1

Tabel 4. 7. Senyawa yang Terkandung Pada Produk KOH/z 5% Dengan Rasio Mol 10:1

No.	Senyawa	Konsentrasi (% area)
1.	C ₁₆	32,45
2.	C ₁₈	63,77
3.	C ₂₀	0,78
4.	Lain-lain	3

Dari hasil analisa dengan menggunakan GC-MS yang terlihat pada Gambar 4.17, diperoleh senyawa dominan yang terkandung dalam produk biodiesel adalah ikatan C₁₆-C₂₀ dengan masing-masing % konsentrasi terlihat pada Tabel 4.7. Untuk solar sendiri memiliki ikatan C₁₄-C₂₂.

Sedangkan untuk nilai Total Petroleum Hydrocarbon diperoleh 1814,063 ppm dengan kandungan dominan pada fraksi solarnya berupa Nonadecane/ $C_{19}H_{40}$ sebesar 555,500 ppm, dimana Total Petroleum Hydrocarbon merupakan jumlah ikatan hidrokarbon yang terbentuk dalam fraksi minyak bumi, khususnya solar, dimana solar sendiri tersusun dari rantai C_{14} - C_{22} . Dari hasil GC-MS terlihat bahwa terdapat kandungan senyawa berupa Nonadecane/ $C_{19}H_{40}$.



Gambar 4. 18. KOH/zeolit 10% dengan rasio mol 6:1

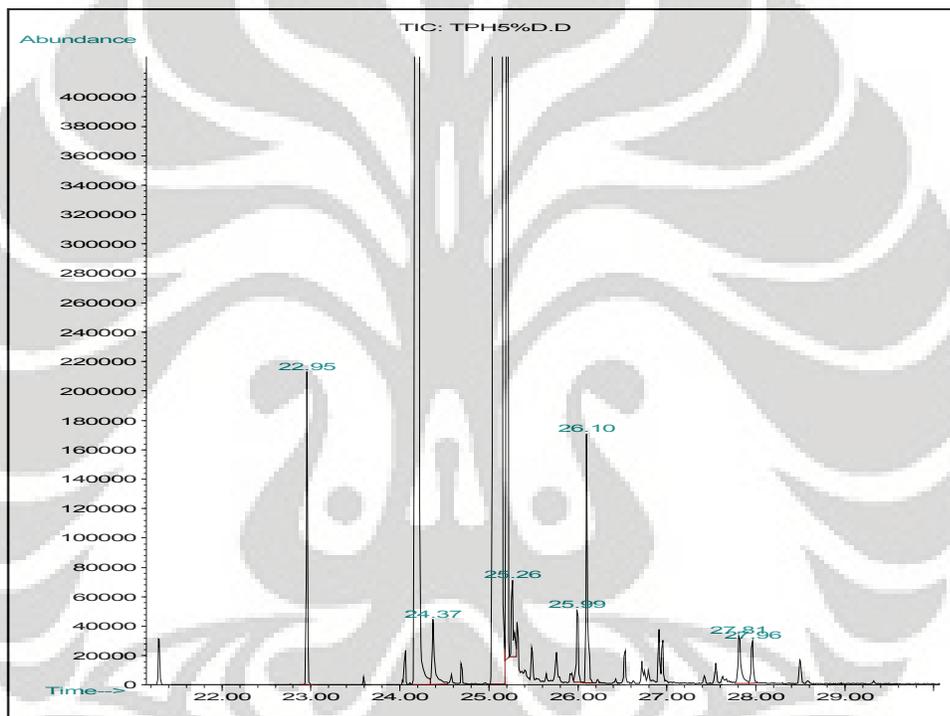
Tabel 4. 8. Senyawa yang Terkandung Pada Produk KOH/z 10%
Dengan Rasio Mol 6:1

No.	Senyawa	Konsentrasi (%area)
1.	C_{16}	33,81
2.	C_{18}	61,28
3.	C_{20}	0,65
4.	Lain-lain	4,26

Dari hasil analisa dengan menggunakan GC-MS yang terlihat pada Gambar 4.18, diperoleh senyawa dominan yang terkandung dalam produk

biodiesel adalah ikatan C_{16} - C_{20} dengan masing-masing % konsentrasi terlihat pada Tabel 4.8. Untuk solar sendiri memiliki ikatan C_{14} - C_{22} .

Sedangkan untuk nilai Total Petroleum Hydrocarbon diperoleh 1876,250 ppm dengan kandungan dominan pada fraksi solarnya berupa Heneicosane/ $C_{21}H_{44}$ sebesar 535,250 ppm, dimana Total Petroleum Hydrocarbon merupakan jumlah ikatan hidrokarbon yang terbentuk dalam fraksi minyak bumi, khususnya solar, dimana solar sendiri tersusun dari rantai C_{14} - C_{22} . Dari hasil GC-MS terlihat bahwa terdapat kandungan senyawa berupa Heneicosane/ $C_{21}H_{44}$.



Gambar 4. 19. KOH/zeolit 10% dengan rasio mol 10:1

Tabel 4. 9. Senyawa yang Terkandung Pada Produk KOH/z 10% Dengan Rasio Mol 10:1

No.	Senyawa	Konsentrasi (%area)
1.	C_{16}	33,88
2.	C_{18}	63,28
3.	C_{22}	0,11
4.	Lain-lain	2,73

Dari hasil analisa dengan menggunakan GC-MS yang terlihat pada Gambar 4.19, diperoleh senyawa dominan yang terkandung dalam produk biodiesel adalah ikatan C₁₆-C₂₀ dengan masing-masing % konsentrasi terlihat pada Tabel 4.9. Untuk solar sendiri memiliki ikatan C₁₄-C₂₂.

Sedangkan untuk nilai Total Petroleum Hydrocarbon diperoleh 1529,125 ppm dengan kandungan dominan pada fraksi solarnya berupa Nonadecane/C₁₉H₄₀ sebesar 547,813 ppm, dimana Total Petroleum Hydrocarbon merupakan jumlah ikatan hidrokarbon yang terbentuk dalam fraksi minyak bumi, khususnya solar, dimana solar sendiri tersusun dari rantai C₁₄-C₂₂. Dari hasil GC-MS terlihat bahwa terdapat kandungan senyawa berupa Heneicosane/C₂₁H₄₄.

Hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Waffa^[8], terlihat pada Tabel 4.10 diperoleh senyawa dominan yang terkandung dalam produk biodiesel adalah ikatan C₁₆-C₂₀.

Tabel 4. 10. Senyawa yang Terkandung Pada Produk KOH/z 10%

No.	Senyawa	Konsentrasi (%area)
1.	C ₁₆	29,14
2.	C ₁₈	51,6
3.	C ₂₀	5,08
4.	Lain-lain	14,18

Dapat dinyatakan bahwa senyawa dominan yang terkandung untuk semua variasi pada produk biodiesel pada penelitian ini adalah ikatan C₁₈, yaitu *Octadecanoic acid methyl ester*, yang optimum pada KOH/z 5% dengan rasio mol 10:1.

Hal ini menunjukkan bahwa proses transesterifikasi minyak sawit yang dilakukan dengan menggunakan katalis heterogen KOH/zeolit menghasilkan metil ester (biodiesel), baik menggunakan reaktor batch maupun reaktor sirkulasi.

BAB 5

KESIMPULAN

5. 1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- Zeolit alam malang yang digunakan pada penelitian ini dapat digunakan sebagai support untuk sintesis biodiesel melalui proses transesterifikasi minyak sawit dengan mengimpregnasi larutan basa KOH dengan variasi persen berat dari larutan.
- Untuk %konversi diperoleh nilai konversi optimum pada KOH/z 10% dengan rasio mol 10:1 selama 8 jam = 86,4%. Sedangkan konversi optimum Xie dkk^[1] pada KOH/NaX 10% dengan rasio mol 10:1 setelah 8 jam = 85,6%
- Untuk densitas diperoleh nilai densitas optimum pada KOH/z 10% dengan rasio mol 10:1 = 0,881 g/ml. Sedangkan densitas optimum Waffa^[9] pada KOH/z 14% = 0,863 g/ml. Dengan spesifikasi densitas untuk solar antara 0,81-0,87 g/ml.
- Untuk viskositas diperoleh nilai viskositas optimum pada KOH/z 5% dengan rasio mol 10:1 (40°C) = 3,866 cSt. Sedangkan viskositas optimum Waffa^[9] pada KOH/z 14% (40°C) = 7,310 cSt. Dengan spesifikasi viskositas untuk solar antara 2-5 cSt.
- Untuk cetane index diperoleh nilai optimum pada KOH/z 10% dengan rasio mol 10:1 = 53,474. Dengan spesifikasi cetane index untuk solar >48.
- Analisa GC-MS menunjukkan bahwa kandungan senyawa yang terdapat pada produk biodiesel adalah ikatan C₁₈, yaitu *Octadecanoic acid methyl ester*, yang optimum pada KOH/z 5% dengan rasio mol 10:1 yang termasuk ke dalam fraksi solar dari minyak bumi.
- Analisa FT-IR menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai peak absorbansi yang mengandung ikatan C-H pada gugus metil(CH₃) perubahan gugus pada variasi KOH/zeolit yang digunakan.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Xie, W, Huang X. 2006. *Soybean Oil Methyl Esters Preparation Using NaX zeolites Loaded with KOH*, Journal School of Chemistry and Chemical Engineering. HUT PR Cina. (pp. 936-939).
- [2] Mescha Destianna et al. 2007. *Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel*, Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- [3] Departemen Sumber Daya Energi dan Mineral. 2007. <http://www.bipnewsroom.info>.
- [4] Soerawidjaja, Tatang H. 2006. *Fondasi-Fondasi Ilmiah dan Keteknikan dari Teknologi Pembuatan Biodiesel*, Handout Seminar Nasional “Biodiesel Sebagai Energi Alternatif Masa Depan”. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- [5] Hamilton, C. 2004. *Biofuel Made Easy*, Australian Engineers Institute, Melbourne.
- [6] Pinto, A. C., Guarieiro, L. L. N et al. 2005. *J. Braz. Chem. Soc.*, 16, 6B, 1313-1330.
- [7] Mittelbach, M. and Renschmidt, C., 2004. *Biodiesel*, The Comprehensive Handbook.
- [8] Waffa, Muhammad. 2007. *Penggunaan Katalis Heterogen KOH/zeolit dalam Tahapan Reaksi Sintesis Minyak Dasar Pelumas-Bio*, Skripsi, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- [9] Fenjery, Yunita. 2006. *Pembuatan dan Karakterisasi Epome Gliserol dan Epome Monoalkohol sebagai Pelumas Foodgrade*, Skripsi, Departemen Gas Petrokimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- [10] Augustine, R.L., 1996. *Heterogenous Catalysis for the Synthetic Chemist*, 1st ed. New York : Marcel Dekker Inc.
- [11] Satterfield, Charles, N. 1991. *Heterogenous Catalyst In Industrial Practice*, 2nd ed. USA : Mc Graw Hill, Inc.

- [12] Kalangit, H., 1995, *Pembuatan dan Karakterisasi Nikel-Zeolit Sebagai Katalis dalam Proses Oksidasi n-Pentana*, Tesis Pascasarjana Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- [13] Schuchardt, Ulf and Sercheli Ricardo. 1998. *Transesterification of Vegetable Oil: a Review*, J. Braz. Chem Sec. Vol. 9.
- [14] Srivastava, Anjana and Prasad Ram. 1999. *Triglycerides-Based Diesel Fuels*, Pergamon.
- [15] Breek, D, W. 1974. *Zeolit Molecular Sieve*, New York : Wiley-Interscience.
- [16] Ma, Fangrui and Milford A. Hanna. 1999. *Biodiesel Production: a Review*, Elsevier.
- [17] Tsitsishvili, G, V. 1978. *Natural Zeolit Occurrence, Properties, and Uses*, Oxford : Pergamen Press.
- [18] Carlo Perego, Pierluigi Villa. 1997. *Catalyst Preparation Methods. Departement Of Industrial Chemistry and Chemical Engineering*, Piazza Leonardo da Vinci, Milano, Italy.
- [19] Surono dan Batti. 1980. *Spesifikasi Solar dan Pengaruhnya Terhadap Performans Motor*, Dalam lembaran publikasi PPTMGB-Lemigas, (XIV/2/Hlm.:31-42). Jakarta.
- [20] P., Yoedhi, B., Supriyanto, H., Syakur, R.,. 2001. *Minyak Kelapa Sawit sebagai Pengganti Bahan Bakar Solar yang dapat Diperbaharui (renewable) dan Ramah Lingkungan*.
- [21] Kusuma Rani, Endah. 2001. *Studi Literatur Tentang Metode Penentuan Indeks Setana Bahan Bakar Diesel*, Seminar, Departemen Gas Petrokimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- [22] Yusuf, Rachman. 2001. *Preparasi Biodiesel dari Minyak Curah*, Seminar, Departemen Gas Petrokimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- [23] Ketaren, S., 1996. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*, Jakarta : Penerbit UI Press.
- [24] Departemen Sumber Daya Energi dan Mineral. 2007. <http://www.clearinghouseenergiterbarukan.com>.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Perhitungan Jumlah Reaktan yang Diperlukan

Untuk rasio mol 6:1

$$\text{berat molekul minyak (g/mol)} = 888,23$$

$$\text{massa jenis minyak (g/ml)} = 0,91$$

$$\text{massa jenis metanol (g/ml)} = 0,79$$

$$\text{berat molekul metanol (g/mol)} = 32$$

$$\text{Volume minyak} = 300 \text{ ml}$$

$$\text{Massa minyak} = 300 \text{ ml} \times 0,91 \text{ g/ml} = 273 \text{ g}$$

$$\text{Massa katalis KOH/zeolit} = 5\% \times 273 \text{ g} = 13,65 \text{ g}$$

$$\text{Mol Minyak} = \frac{273 \text{ g}}{888,23 \text{ g/mol}} = 0,307352825 \text{ mol}$$

$$\text{Mol Metanol} = \frac{6}{1} \times 0,307352825 \text{ mol} = 1,844116952 \text{ mol}$$

$$\text{Massa Metanol} = 32 \text{ g/mol} \times 1,844116952 \text{ mol} = 59,0117424 \text{ g}$$

$$\text{Volume Metanol} = \frac{59,0117424 \text{ g}}{0,79 \text{ g/ml}} = 74,69840817 \text{ ml}$$

LAMPIRAN 2.**Perhitungan nilai %konversi :**

Standarisasi KOH

$$\begin{aligned}
 W_{KHP} &= 0,2 \text{ g} \\
 \text{Volume titrasi} &= 11,5 \text{ ml} = 0,0115 \text{ L} \\
 BM_{KHP} &= 204,21 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{konsentrasi KOH} &= \frac{W_{KHP}}{(V_{iKOH} \cdot BM_{KHP})} \\
 \text{konsentrasi KOH} &= \frac{0,2 \text{ g}}{(0,0115 \text{ L} \times 204,21 \text{ g/mol})} \\
 \text{konsentrasi KOH} &= 0,085 \text{ M}
 \end{aligned}$$

%konversi sampel :

$$\begin{aligned}
 V_t \text{ (volume KOH untuk menitrasi sampel)} &= 0,001 \text{ L} \\
 V_b \text{ (volume KOH untuk menitrasi metanol)} &= 0,0115 \text{ L} \\
 BM_{KOH} &= 56,11 \text{ g.mol} \\
 W_s \text{ (berat sampel yang dilarutkan kedalam metanol)} &= 1 \text{ g} \\
 W_{AO} &= 49,56\%
 \end{aligned}$$

$$\% \text{ konversi trigliserida} = \frac{(V_t - V_b) \cdot M \cdot BM_{KOH}}{W_s} \times 100\%$$

$$\% \text{ konversi trigliserida} = \frac{(0,001 - 0,0115) \times 56,11}{1} \times 100\%$$

$$\% \text{ konversi trigliserida} = -18,26\%$$

$$\% \text{Konversiproduk} = \frac{W_{Ao} - W_A}{W_{Ao}} = \frac{49,56 - (-18,26)}{49,56} \times 100\% = 86,4\%$$

LAMPIRAN 3**Perhitungan Densitas :**

Untuk KOH/z 5% rasio mol 6:1

Berat piknometer kosong = 15,2834 g

Berat piknometer+sampel = 24,1836 g

$$Densitas = \frac{(beratpiknometer + sampel) - (beratpiknometer)}{10}$$

$$Densitas = \frac{(24,1836) - (15,2834)}{10} = 0,89 \text{ g / ml}$$

Perhitungan Viskositas :

Untuk KOH/z 5% rasio mol 6:1

Waktu alir zat(t) = 53 detik

Konstanta Viskometer = 0,0943

$$V = Cxt$$

$$V = 0,0943 \times 53 = 4,9979 \text{ cSt}$$

Perhitungan Cetane Index :

Untuk KOH/z 5% rasio mol 6:1

T sampel (°C) = 310 °C

BJ sampel(g/ml) = 0,8782 g/ml

$$Cetane\ Index = 454,74 - 1641,416 \cdot BJ + 774,74 \cdot BJ^2 - 0,554 \cdot T_{sampel} + 97,803(\log T_{sampel})^2$$

$$Cetane\ Index = 46,054$$

Lampiran 4. Hasil GC-MS pada KOH/z 5% 6:1

Ret#	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
31	24.23	C:\MSDCHEM\MSCHEM\MS075K.L			
		Hexadecanoic acid, methyl ester	72004	000112-33-0	99
		Hexadecanoic acid, methyl ester	72011	000112-33-0	99
		Hexadecanoic acid, methyl ester	72008	000112-33-0	98
32	24.37	C:\MSDCHEM\MSCHEM\MS075K.L			
		Hexadecanoic acid	71609	000097-10-4	93
		Hexadecanoic acid	71607	000057-10-3	93
		Hexadecanoic acid	71606	000097-10-4	95
33	24.68	C:\MSDCHEM\MSCHEM\MS075K.L			
		Heptadecanoic acid, methyl ester	72377	001711-92-6	59
		Tetradecanoic acid, 13-methyl-, me	35798	00673-63-8	59
		Heptadecanoic acid, methyl ester	72387	001711-92-6	59
34	24.77	C:\MSDCHEM\MSCHEM\MS075K.L			
		7-Octadecenoic acid, methyl ester	42133	007336-98-2	99
		8-Octadecenoic acid, methyl ester	42131	007335-29-1	99
		9-Octadecenoic acid, methyl ester	42136	007336-84-3	99
35	25.19	C:\MSDCHEM\MSCHEM\MS075K.L			
		Octadecanoic acid, methyl ester	72715	000112-01-8	98
		Octadecanoic acid, methyl ester	72714	000112-01-8	98
		Heptadecanoic acid, 13-methyl-, me	32281	003129-81-4	98
36	25.25	C:\MSDCHEM\MSCHEM\MS075K.L			
		Octic Acid	74577	000112-80-1	54
		6-Hexadecenoic acid, 9-methyl-, me	35015	000009-20-9	60
		9-Oxabicyclo[5.1.0]nonane	4577	000385-02-4	53
37	25.68	C:\MSDCHEM\MSCHEM\MS075K.L			
		9,12-Octadecadienoic acid (2,2)-,	72626	000112-01-8	96
		9,15-Octadecadienoic acid, methyl	41847	006617-73-0	64
		9,12-Octadecadienoic acid, methyl	41833	000668-97-4	62
38	25.61	C:\MSDCHEM\MSCHEM\MS075K.L			
		Cycloolefene, 2-undecyl-, 13-methyl	70770	057092-31-7	13
		9-Undecenal	37040	000090-41-4	55
		17-Pentatriacontane	55751	000971-10-0	30
39	25.75	C:\MSDCHEM\MSCHEM\MS075K.L			
		Arachidic acid, decyl ester	59118	000112-01-8	43
		Cyclopentadecanone 2-one, 13-methyl	20157	057152-32-7	33
		2-Undecenal, (E)-	59119	000313-81-3	33
40	26.98	C:\MSDCHEM\MSCHEM\MS075K.L			
		9-Hexadecenoic acid, methyl ester,	71337	001120-33-8	54
		Cyclopropanepentanoic acid, 8-urde	44385	042130-20-1	50
		15-Heptadecenoic acid, methyl ester	43348	000800-89-4	47
41	35.00	C:\MSDCHEM\MSCHEM\MS075K.L			
		Heicosanoic acid, methyl ester	73547	001130-20-1	50
		Heicosanoic acid, methyl ester	46374	001120-33-8	57
		Heicosanoic acid, methyl ester	73548	001130-20-1	57
		C:\MSDCHEM\DATA\MS075K.L	Run Date: 13-45:52	2006	Page 4

Lampiran 5. Hasil GC-MS pada KOH/z 5% 10:1

RT	Area%	Library/ID	Ref#	Mass	Qual
31	20.81	07A0F00E9A9E8E8A5D8A0K.L			
		Hexadecanoic acid, methyl ester	48871	200112-38-3	99
		Hexadecanoic acid, methyl ester	72008	200112-38-3	98
		Hexadecanoic acid, methyl ester	73008	200112-38-3	98
32	20.87	07A0F00E9A9E8E8A5D8A0K.L			
		Hexadecanoic acid	71808	000057-13-3	88
		Hexadecanoic acid	75108	000057-13-3	87
		Hexadecanoic acid	75607	000057-13-3	88
33	21.88	07A0F00E9A9E8E8A5D8A0K.L			
		9-Hexadecanoic acid, methyl ester	71836	000120-26-1	98
		Octadecanoic acid, 3-propyl	49534	000120-26-1	84
		13-Dodecanoic acid, methyl ester	45549	000000-00-1	10
34	21.89	07A0F00E9A9E8E8A5D8A0K.L			
		Hexadecanoic acid, methyl ester	72370	000112-38-3	99
		Hexadecanoic acid, methyl ester	72387	001701-82-0	87
		Hexadecanoic acid, 14-methyl-, tet	40788	007480-49-8	78
35	22.13	07A0F00E9A9E8E8A5D8A0K.L			
		9-Octadecanoic acid (18), methyl e	72071	000112-38-3	99
		10-Cetadecanoic acid, methyl ester	49146	007551-07-1	99
		9-Cetadecanoic acid (18), methyl e	73677	000112-38-3	99
36	22.20	07A0F00E9A9E8E8A5D8A0K.L			
		Octadecanoic acid, methyl ester	72713	200112-38-3	98
		Octadecanoic acid, methyl ester	73714	200112-38-3	98
		Octadecanoic acid, methyl ester	73718	200112-38-3	97
37	22.19	07A0F00E9A9E8E8A5D8A0K.L			
		6-Hydroxyheptadecanoic acid, 1,8,15-trihydroxy	50813	375050-00-0	7
		6-Oxa-15,20,24,29-tetraoxadecanoic	58770	114822-14-3	2
38	22.28	07A0F00E9A9E8E8A5D8A0K.L			
		1,3-Bis(4-bromophenyl)benzotriazole	58297	360908-13-6	79
		1,1'-Bi(4-phenyl)-2,2'-biphenyl, 8,8'-bromo-7,7'-diisocyanatobis(4-yl) diisocyanhy	58593	300000-00-0	8
		1,1'-Bi(4-phenyl)-2,2'-biphenyl, 8,8'-bromo-7,7'-diisocyanatobis(4-yl) diisocyanhy	58854	300000-00-0	3
39	22.34	07A0F00E9A9E8E8A5D8A0K.L			
		8,11-Dodecadiynoic acid, methyl	61252	016202-23-8	59
		9,12,15-Trimethyltridecanoic acid, isot	41503	000301-00-0	59
		5-Pentadecan-7-ynoic acid, (Z)	34483	074741-50-6	59
40	22.03	07A0F00E9A9E8E8A5D8A0K.L			
		11-Hexadecanoic acid, methyl ester	60110	002816-08-5	94
		Octadecanoic acid, 8-methyl	44536	000520-11-9	89
		13,16-Cetadecadienoic acid, methyl	41847	000040-80-1	75
41	22.89	07A0F00E9A9E8E8A5D8A0K.L			
		Dodecanoic acid, methyl ester	70163	001120-26-1	98
		Dodecanoic acid, methyl ester	73744	001120-26-1	96
		Dodecanoic acid, methyl ester	73745	001120-26-1	99

C:\MSDCHEM\DATA\MSDCHEM.D

Mon Dec 15 12:51:50 2009

Page 4

Lampiran 6. Hasil GC-MS pada KOH/z 10% 6:1

Peak#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CFI%	Q. val.
19	22.89	0.00	C:\MSDCHEM\MSDCHEM\LIBRARY\1,2-DIBROMOETHANE	58397	385058-13-0	10
			1,2-DIBROMOETHANE	58648	101091-00-0	9
			1,2-DIBROMOETHANE	10041	911681-86-8	7
21	22.95	0.25	C:\MSDCHEM\MSDCHEM\LIBRARY\1,2-DIBROMOETHANE	58397	385058-13-0	10
			1,2-DIBROMOETHANE	58648	101091-00-0	9
			1,2-DIBROMOETHANE	10041	911681-86-8	7
22	23.54	0.01	C:\MSDCHEM\MSDCHEM\LIBRARY\1,2-DIBROMOETHANE	58397	385058-13-0	10
			1,2-DIBROMOETHANE	58648	101091-00-0	9
			1,2-DIBROMOETHANE	10041	911681-86-8	7
23	22.87	0.00	C:\MSDCHEM\MSDCHEM\LIBRARY\1,2-DIBROMOETHANE	58397	385058-13-0	10
			1,2-DIBROMOETHANE	58648	101091-00-0	9
			1,2-DIBROMOETHANE	10041	911681-86-8	7
24	24.06	0.67	C:\MSDCHEM\MSDCHEM\LIBRARY\1,2-DIBROMOETHANE	58397	385058-13-0	10
			1,2-DIBROMOETHANE	58648	101091-00-0	9
			1,2-DIBROMOETHANE	10041	911681-86-8	7
25	24.21	22.81	C:\MSDCHEM\MSDCHEM\LIBRARY\1,2-DIBROMOETHANE	58397	385058-13-0	10
			1,2-DIBROMOETHANE	58648	101091-00-0	9
			1,2-DIBROMOETHANE	10041	911681-86-8	7
26	24.27	0.24	C:\MSDCHEM\MSDCHEM\LIBRARY\1,2-DIBROMOETHANE	58397	385058-13-0	10
			1,2-DIBROMOETHANE	58648	101091-00-0	9
			1,2-DIBROMOETHANE	10041	911681-86-8	7
27	24.58	0.00	C:\MSDCHEM\MSDCHEM\LIBRARY\1,2-DIBROMOETHANE	58397	385058-13-0	10
			1,2-DIBROMOETHANE	58648	101091-00-0	9
			1,2-DIBROMOETHANE	10041	911681-86-8	7
28	24.58	0.00	C:\MSDCHEM\MSDCHEM\LIBRARY\1,2-DIBROMOETHANE	58397	385058-13-0	10
			1,2-DIBROMOETHANE	58648	101091-00-0	9
			1,2-DIBROMOETHANE	10041	911681-86-8	7
29	24.95	0.01	C:\MSDCHEM\MSDCHEM\LIBRARY\1,2-DIBROMOETHANE	58397	385058-13-0	10
			1,2-DIBROMOETHANE	58648	101091-00-0	9
			1,2-DIBROMOETHANE	10041	911681-86-8	7
30	25.12	28.96	C:\MSDCHEM\MSDCHEM\LIBRARY\1,2-DIBROMOETHANE	58397	385058-13-0	10
			1,2-DIBROMOETHANE	58648	101091-00-0	9
			1,2-DIBROMOETHANE	10041	911681-86-8	7
			C:\MSDCHEM\MSDCHEM\LIBRARY\1,2-DIBROMOETHANE	58397	385058-13-0	10
			1,2-DIBROMOETHANE	58648	101091-00-0	9
			1,2-DIBROMOETHANE	10041	911681-86-8	7

Lampiran 8. Hasil Total Petroleum Hydrocarbon KOH/z 5% 6:1

SAMPLE NO. : 01 (KODE A)
 SAMPLE ID : KOH/Z 5% (6:1)

No	Parameter	Amount (mg)	Flow vol. (µl)	Volume (µl)	metode		hasil	
					(µl)	(µl)	(µg/ml) (ppm)	(µg/ml) (ppb)
1	Octane / C8 H18	0.00	25000	1.0	4000	2.0	0.000	0
2	Nonane / C9 H20	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
3	Decane / C10 H22	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
4	Undecane / C11 H24	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
5	Dodecane / C12 H26	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
6	Tridecane / C13 H28	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
7	Tetradecane / C14 H30	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
8	Pentadecane / C15 H32	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
9	Hexadecane / C16 H34	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
10	Heptadecane / C17 H36	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
11	Octadecane / C18 H38	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
12	Nonadecane / C19 H40	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
13	Eicosane / C20 H42	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
14	Hentriacontane / C21 H44	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
15	Dotriacontane / C22 H46	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
16	Triacontane / C23 H48	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
17	Tetracontane / C24 H50	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
18	Pentacosane / C25 H52	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
19	Hexacosane / C26 H54	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
20	Heptacosane / C27 H56	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
21	Octacosane / C28 H58	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
22	Triacosane / C29 H60	0.00	25000	1.0	4000	4.0	0.000	0
Total Petroleum Hydrocarbon		944.85					1800.120	1800.120
Petroleum Hydrocarbon average		10.64					60.464	60.464

Lampiran 9. Hasil Total Petroleum Hydrocarbon KOH/z 10% 6:1

SAMPLE NO. : 02 (KODE B)
 SAMPLE ID : KOH/Z 10% (6:1)

No	Parameter	Amount (µg)	Final vol. injected		Inlet vol.		Amount	
			(µl)	(µl)	(µl)	(ml)	(ng/ml) (ppm)	(ng/ml) (ppb)
1	Octane / C8 H18	4.45	20000	1.0	4000	1.0	0.000	0
2	Nonane / C9 H20	5.05	20000	1.0	4000	1.0	0.000	0
3	Decane / C10 H22	5.05	20000	1.0	4000	1.0	0.000	0
4	Undecane / C11 H24	5.05	20000	1.0	4000	1.0	0.000	0
5	Dodecane / C12 H26	5.05	20000	1.0	4000	1.0	0.000	0
6	Tridecane / C13 H28	5.05	20000	1.0	4000	1.0	0.000	0
7	Tetradecane / C14 H30	5.05	20000	1.0	4000	1.0	0.000	0
8	Pentadecane / C15 H32	5.05	20000	1.0	4000	1.0	0.000	0
9	Hexadecane / C16 H34	5.05	20000	1.0	4000	1.0	0.000	0
10	Heptadecane / C17 H36	5.05	20000	1.0	4000	1.0	16.212	16.212
11	Octadecane / C18 H38	5.05	20000	1.0	4000	1.0	0.000	0
12	Nineteenane / C19 H40	50.00	25000	1.0	5000	1.0	694.029	694.029
13	Eticosane / C20 H42	28.40	25000	1.0	5000	1.0	202.566	202.566
14	Henkicosane / C21 H44	35.64	25000	1.0	5000	1.0	235.280	235.280
15	Dodecosane / C22 H46	32.28	25000	1.0	5000	1.0	208.664	208.664
16	Tricosane / C23 H48	2.99	25000	1.0	5000	1.0	18.000	18.000
17	Tetradecane / C24 H50	5.70	25000	1.0	5000	1.0	17.420	17.420
18	Heptacosane / C25 H52	8.71	25000	1.0	5000	1.0	24.420	24.420
19	Octacosane / C26 H54	4.23	25000	1.0	5000	1.0	26.458	26.458
20	Nonacosane / C27 H56	11.01	25000	1.0	5000	1.0	46.023	46.023
21	triacontane / C28 H58	1.03	25000	1.0	5000	1.0	8.125	8.125
22	triacontane / C29 H60	4.28	25000	1.0	5000	1.0	26.646	26.646
23	triacontane / C30 H62	8.71	25000	1.0	5000	1.0	54.825	54.825
	Total Petroleum Hydrocarbon	200.20					1976.195	1976.200
	Petroleum hydrocarbon average	12.05					91.575	91.575

Lampiran 10. Hasil Total Petroleum Hydrocarbon KOH/z 5% 10:1

SAMPLE NO. : 03 (KODE C)
 SAMPLE ID : KOH/Z 5% (10:1)

No	Parameter	Amount (µg)	Final vol (L)	Wt (µg/L)	Ind. list		Result	
					(µg)	(µg)	(µg/L)	(µg/L)
1	Octane / C8 H18	0.00	20000	0.0	4935	0.0	0.000	0
2	Nonane / C9 H20	0.00	20000	0.0	5150	0.0	0.000	0
3	Decane / C10 H22	0.00	20000	0.0	5370	0.0	0.000	0
4	Undecane / C11 H24	0.00	20000	0.0	5590	0.0	0.000	0
5	Dodecane / C12 H26	0.00	20000	0.0	5810	0.0	0.000	0
6	Tridecane / C13 H28	0.00	20000	0.0	6030	0.0	0.000	0
7	Tetradecane / C14 H30	0.00	20000	0.0	6250	0.0	0.000	0
8	Pentadecane / C15 H32	0.00	20000	0.0	6470	0.0	0.000	0.000
9	Hexadecane / C16 H34	0.00	20000	0.0	6690	0.0	0.000	0
10	Heptadecane / C17 H36	0.00	20000	0.0	6910	0.0	0.000	0.000
11	Octadecane / C18 H38	0.00	20000	0.0	7130	0.0	0.000	0
12	Nonadecane / C19 H40	53.58	20000	2.679	7350	0.0	533.580	2667.900
13	Eicosane / C20 H42	55.35	20000	2.768	7570	0.0	553.500	2767.500
14	Hentriacontane / C21 H44	90.85	20000	4.543	7790	0.0	908.500	4542.500
15	Docosane / C22 H46	91.30	20000	4.565	8010	0.0	913.000	4565.000
16	Triacontane / C23 H48	3.04	20000	0.152	8230	0.0	30.400	152.000
17	Tetracontane / C24 H50	7.24	20000	0.362	8450	0.0	72.400	362.000
18	Pentacosane / C25 H52	3.52	20000	0.176	8670	0.0	35.200	176.000
19	Hexacosane / C26 H54	1.70	20000	0.085	8890	0.0	17.000	85.000
20	Heptacosane / C27 H56	8.50	20000	0.425	9110	0.0	85.000	425.000
21	Octacosane / C28 H58	1.00	20000	0.050	9330	0.0	10.000	50.000
22	Triacosane / C29 H60	4.40	20000	0.220	9550	0.0	44.000	220.000
23	Tetraacosane / C30 H62	0.00	20000	0.0	9770	0.0	0.000	0.000
Total Petroleum Hydrocarbon		200.00					1014.000	5070.000
Petroleum Hydrocarbon average		12.64					101.400	507.000

Lampiran 11. Hasil Total Petroleum Hydrocarbon KOH/z 5% 6:1

SAMPLE NO. : 04 (KODE U)
 SAMPLE ID : KOH/Z 10% (10:1)

No	Parameter	Amount (mg)	Final vol (ml)	Volume (ml)	ml/ml		Result	
					(%)	(%)	(ppm)	(ppb)
1	Gasolins / C8 H18	0.05	20000	1.0	4000	4.0	0.000	0
2	Minerals / C9 H20	0.05	20000	1.0	4000	4.0	0.000	0
3	Dicandane / C10 H22	0.05	20000	1.0	4000	4.0	0.000	0
4	Tridecane / C11 H24	0.05	20000	1.0	4000	4.0	0.000	0
5	Dodecane / C12 H26	0.05	20000	1.0	4000	4.0	0.000	0
6	Tridecane / C13 H28	0.05	20000	1.0	4000	4.0	0.000	0
7	Tetradecane / C14 H30	0.05	20000	1.0	4000	4.0	0.000	0
8	Pentadecane / C15 H32	0.05	20000	1.0	4000	4.0	5.000	2000
9	Hexadecane / C16 H34	0.05	20000	1.0	4000	4.0	0.000	0
10	Heptadecane / C17 H36	0.05	20000	1.0	4000	4.0	10.000	20000
11	Octadecane / C18 H38	0.05	20000	1.0	4000	4.0	0.000	0
12	Nonadecane / C19 H40	0.05	20000	1.0	4000	4.0	547.813	947813
13	Eicosane / C20 H42	0.05	20000	1.0	4000	4.0	310.498	10498
14	Heptacosane / C27 H54	0.05	20000	1.0	4000	4.0	524.502	924502
15	Dodecane / C22 H46	0.05	20000	1.0	4000	4.0	126.000	106000
16	Tridecane / C23 H48	0.05	20000	1.0	4000	4.0	18.270	18270
17	Tetradecane / C24 H50	0.05	20000	1.0	4000	4.0	17.700	17700
18	Pentadecane / C25 H52	0.05	20000	1.0	4000	4.0	16.000	16000
19	Hexadecane / C26 H54	0.05	20000	1.0	4000	4.0	0.000	0
20	Heptadecane / C27 H56	0.05	20000	1.0	4000	4.0	49.000	49000
21	Octadecane / C28 H58	0.05	20000	1.0	4000	4.0	0.000	0
22	Nonadecane / C29 H60	0.05	20000	1.0	4000	4.0	20.000	20000
23	Triacontane / C30 H62	0.05	20000	1.0	4000	4.0	50.000	50000
Total Petroleum Hydrocarbon		200.00					1000.000	1000000
Petroleum Hydrocarbon Storage		10.00					50.000	50000