



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN KATALIS HETEROGEN NaOH/ZEOLIT
UNTUK SINTESIS BODIESEL
MELALUI REAKSI TRANSESTERIFIKASI**

SKRIPSI

LUTFHI

0405060393

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN KATALIS HETEROGEN NaOH/ZEOLIT
UNTUK SINTESIS BIODIESEL
MELALUI REAKSI TRANSESTERIFIKASI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

LUTFHI

0405060393

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM SARJANA TEKNIK KIMIA

DEPOK

JULI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Lutfhi
NPM : 0405060393
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pembuatan Katalis Heterogen NaOH/Zeolit untuk Sintesis Biodiesel Melalui Reaksi Transesterifikasi

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



Ditetapkan di : Depok, Jawa Barat, Indonesia

Tanggal : 1 Juli 2009

KATA PENGANTAR/ UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

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. Shalawat serta salam penulis haturkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, saudara, dan sahabat yang tetap istiqomah dalam menegakkan islam di dunia ini 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 Ir. Sukirno, MEng selaku pembimbing skripsi yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam menyusun skripsi ini;
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI;
3. Seluruh dosen Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia atas kesabaran serta perhatiannya dalam menanamkan ilmu pengetahuan dan nilai kehidupan untuk penulis;
4. Bapak dan Ibu yang selalu setia memberikan nasehat, doa, bimbingan baik spiritual maupun material, dan dorongan semangat yang tidak akan pernah dapat terbalaskan oleh penulis sampai akhir zaman. Semoga Allah SWT senantiasa mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada mereka.
5. Kang Ijal, Kang Jajat, Mas Eko, dan Mas Topik dalam bantuannya selama penelitian berlangsung;
6. Wafa dan Ayu untuk titipan HPLC nya.

7. Teman-teman Lab DPK lantai 3 yang sudah meramaikan suasana lab dengan canda dan obrolan-obrolan nya.
8. Teman-teman angkatan 2005 yang sudah menemani perjalanan penulis selama empat tahun.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama ini. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya pada negara kita yang tercinta ini.

Depok, Juli 2009

Lutfhi

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

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

Nama : Lutfhi
NPM : 0405060393
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

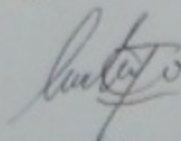
**Pembuatan Katalis Heterogen NaOH/Zeolit untuk
Sintesis Biodiesel Melalui Reaksi Transesterifikasi**

berserta 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 mempublikasikan 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 : 1 Juli 2009

Yang menyatakan



(Lutfhi)

ABSTRAK

Nama : Lutfhi
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pembuatan Katalis Heterogen NaOH/Zeolit untuk Sintesis Biodiesel Melalui Reaksi Transesterifikasi

Pada penelitian ini biodiesel dibuat menggunakan katalis heterogen NaOH/Zeolit melalui reaksi transesterifikasi. Katalis NaOH/Zeolit dibuat dengan mengimpregnasikan NaOH pada zeolit alam malang yang telah dilakukan kalsinasi, dealuminasi, dan pertukaran ion. Reaksi transesterifikasi dilakukan dalam reactor batch tertutup dengan menggunakan minyak sawit (minyak goreng) dan atau minyak jarak pagar mentah (*crude jatropha oil/CJO*). Pada penggunaan CJO didapatkan hasil berupa gumpalan-gumpalan sabun akibat dari banyaknya kandungan asam lemak bebas. Sedangkan pada penggunaan minyak sawit didapatkan produk biodiesel yang dianalisa menggunakan HPLC dengan nilai yield sebesar 89.24% pada suhu 60°C selama 2 jam.

Kata kunci: Minyak sawit, minyak jarak pagar, biodiesel, reaksi transesterifikasi, katalis heterogen, dan zeolit

ABSTRACT

Name : Lutfhi
Study Course : Chemical Engineering
Title : Making Heterogeneous Catalyst NaOH/Zeolite for Synthesis Biodiesel via Transesterification

Synthesis biodiesel in this research is using heterogeneous catalyst NaOH/Zeolite from transesterification. NaOH/Zeolite catalyst was made from impregnation of NaOH to zeolite which has been calcinated, dealuminated, and ion exchanged. Closed batch reactor was used for transesterification of palm oil and crude jatropha oil (CJO). A lot of soap were produced when using CJO rather than palm oil because of the free fatty acid contain in the CJO. Biodiesel produced from palm oil was analysed using HPLC with the yield around 89.24% for 2 hours with 60⁰C.

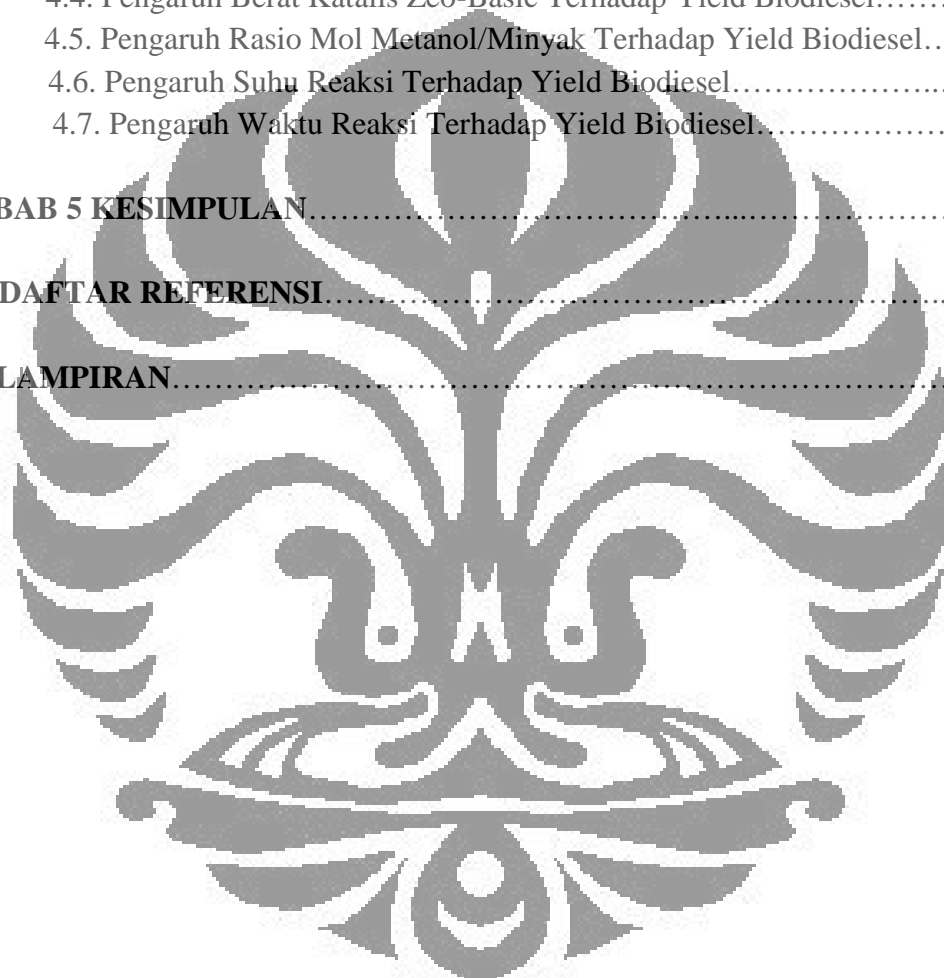
Keywords: Palm oil, jatropha curcas oil, biodiesel, transesterification, heterogeneous catalyst, and zeolite.



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
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Biodiesel.....	4
2.2. Sintesis Biodiesel.....	9
2.2.1. Reaksi Transesterifikasi.....	10
2.2.2. Variabel yang Mempengaruhi Reaksi Transesterifikasi.....	12
2.2.2.1. Katalis.....	12
2.2.2.2. Temperatur.....	13
2.2.2.3. Rasio Mol Metanol/Minyak.....	13
2.3. Minyak Nabati.....	14
2.3.1. Asam Lemak.....	14
2.3.2. Pemurnian Minyak Nabati.....	16
2.4. Zeolit.....	19
2.4.1. Zeolit Sebagai Penyangga/ <i>Support</i>	23
2.4.2. Aktivasi Zeolit.....	24
2.4.2.1. Kalsinasi.....	24
2.4.2.2. Pertukaran Ion.....	24
2.4.2.3. Dealuminasi.....	25
2.4.3. Impregnasi Logam Aktif.....	26
BAB 3 METODE PENELITIAN	28
3.1. Peralatan Penelitian.....	28
3.2. Bahan Penelitian.....	28

3.3. Tahapan Percobaan.....	29
3.3.1. Preparasi Katalis.....	30
3.3.2. Sintesis Biodiesel.....	31
3.4. Karakterisasi Biodiesel.....	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1. Hasil Impregnasi NaOH ke dalam Zeolit	33
4.2. Sintesis Biodiesel Menggunakan Minyak Jarak Pagar Mentah.....	34
4.3. Pengaruh Jenis Katalis Zeo-Basic Terhadap Yield Biodiesel.....	34
4.4. Pengaruh Berat Katalis Zeo-Basic Terhadap Yield Biodiesel.....	35
4.5. Pengaruh Rasio Mol Metanol/Minyak Terhadap Yield Biodiesel.....	36
4.6. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Yield Biodiesel.....	37
4.7. Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Yield Biodiesel.....	39
BAB 5 KESIMPULAN.....	40
DAFTAR REFERENSI.....	41
LAMPIRAN.....	44



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Emisi Gas Buang dari Biodiesel dan Minyak Solar.....	5
Gambar 2.2. Reaksi Transesterifikasi.....	11
Gambar 2.3. Mekanisme Reaksi Transesterifikasi.....	11
Gambar 2.4. Reaksi Saponifikasi.....	12
Gambar 2.5. Tetrahedral Alumina dan Silika (TO ₄) pada Struktur Zeolit.....	19
Gambar 2.6. Struktur Zeolit X dan Y.....	23
Gambar 2.7. Unit Bangun Sekunder Struktur Zeolit.....	23
Gambar 2.8. Dealuminasi Zeolit Menggunakan Larutan HF1%.....	26
Gambar 2.9. Distribusi Logam yang Merata pada Permukaan Zeolit.....	27
Gambar 2.10. Akumulasi Logam pada Mulut Pori dan Saluran Pori Zeolit.....	27
Gambar 3.1. Skema Penelitian.....	29
Gambar 3.2. Reaktor Batch	31
Gambar 3.3. HPLC.....	32
Gambar 4.1. Yield (%) vs Jenis Katalis Zeo-Basic.....	35
Gambar 4.2. Yield (%) vs Berat Katalis.....	36
Gambar 4.3. Yield (%) vs Rasio Mol Metanol/Minyak.....	37
Gambar 4.4. Yield (%) vs Suhu Reaksi.....	38
Gambar 4.5. Yield (%) vs Waktu Reaksi.....	39

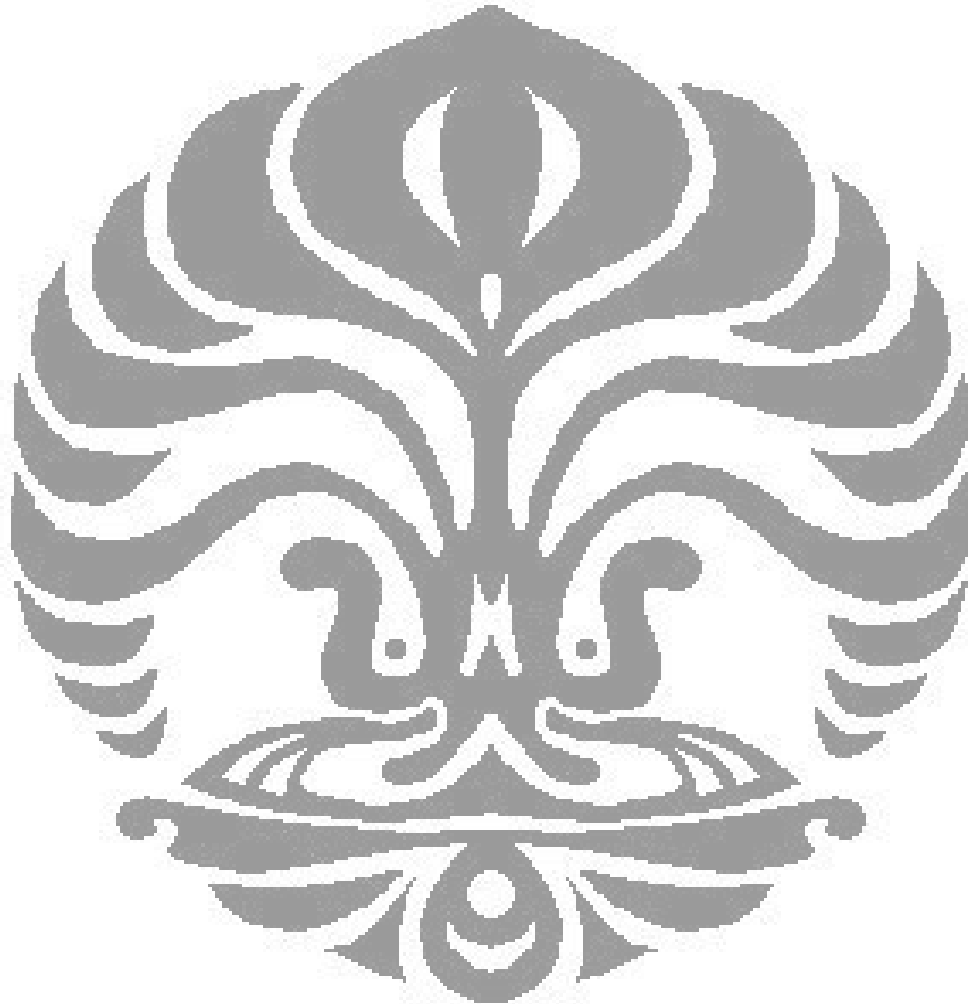
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi Minyak Solar dan Biodiesel	8
Tabel 2.2. Komposisi Asam Lemak pada Beberapa Macam Minyak Nabati	15
Tabel 2.3. Struktur Kimia Asam Lemak Minyak Nabati.....	16
Tabel 2.4. Jenis-jenis Mineral Zeolit.....	20
Tabel 2.5. Komponen Penyusun Zeolit Alam Malang.....	21
Tabel 2.6. Urutan Selektifitas Pertukaran Ion Beberapa Jenis Zeolit.....	25
Tabel 4.1. Jumlah NaOH Terimpregnasi pada Zeolit.....	33



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Jumlah Reaktan yang Diperlukan	44
Lampiran 2. Metode Titrasi untuk Menentukan Jumlah NaOH Terimpregnasi.....	45
Lampiran 3. Perhitungan Yield Biodiesel.....	46



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak bumi di dunia namun sampai saat ini minyak bumi yang diproduksi tidak mampu memenuhi kebutuhan di dalam negeri. Pada tahun 2005, Indonesia telah berubah statusnya dari negara eksportir minyak bumi menjadi *net importer* dimana pada tahun itu terjadi defisit kebutuhan Bahan Bakar Minyak (BBM) sebesar 100 juta liter. Krisis kebutuhan BBM ini dapat disiasati dengan mengembangkan bahan bakar alternatif yang terbarukan, salah satu contohnya adalah biodiesel.

Pengembangan bahan bakar alternatif di Indonesia sangat didukung pemerintah dengan dikeluarkannya beberapa kebijakan yang terkait seperti Rencana Undang-Undang (RUU) yang salah satu isinya menekankan pada peningkatan pemanfaatan energi baru dan terbarukan dan PP No.5/2006 tanggal 25 Januari 2006 mengenai harus tercapainya kebutuhan energi nasional dari bahan energi terbarukan sebesar lebih dari 5% pada tahun 2025 dan kebutuhan BBM turun sebesar 20 % (Sudradjat, 2006).

Biodiesel terbuat dari sumber daya nabati seperti minyak sawit, minyak kelapa, minyak kedelai, kacang tanah, jarak pagar, dan juga minyak jelantah. Namun, tidak semua minyak nabati ekonomis untuk di produksi menjadi biodiesel, sebagai contoh minyak yang dikonsumsi (*edible oils*) dapat mempengaruhi harga jual biodiesel 60% - 70% (Fukuda, 2001).

Sintesis biodiesel yang umum digunakan adalah melalui reaksi transesterifikasi dengan katalis homogen basa. Namun kendala yang muncul adalah terjadinya produk samping berupa sabun dan kesulitan dalam pemisahan produk biodiesel dari katalisnya. Oleh karena itu, penelitian biodiesel akhir-akhir ini lebih difokuskan pada penggunaan katalis heterogen.

W. Xie dan Huang X melakukan sintesis biodiesel menggunakan katalis KOH/Na-X menghasilkan konversi sebesar 85.6% (Xie, 2006). Xu Bo dkk membuat biodiesel menggunakan katalis KF/Al₂O₃ dengan yield biodiesel sebesar 90% (Xu Bo, 2007). Alok dan Sandun melakukan studi pengaruh jenis katalis heterogen (luas permukaan setiap katalis berbeda) pada sintesis biodiesel menggunakan katalis MgO, CaO, PbO, PbO₂, Pb₃O₄, dan ZnO dengan yield biodiesel paling tinggi sebesar 89% (katalis PbO dan PbO₂) (Alok & Sandun, 2008). Amish dkk menggunakan katalis KNO₃/Al₂O₃ untuk membuat biodiesel dengan konversi 86% (Amish,

2008). Luciana membuat biodiesel dari minyak jarak pagar menggunakan katalis KOH/Zeolit dengan konversi sebesar 76.18% (Luciana, 2002). Hanif melakukan sintesis biodiesel menggunakan minyak sawit dan metanol p.a. dengan katalis KOH/Zeolit menghasilkan konversi sebesar 86.4% selama 8 jam (Hanif, 2008).

Pada penelitian ini digunakan katalis heterogen NaOH/Zeolit dan metanol teknis melalui reaksi transesterifikasi untuk mensintesis biodiesel dari minyak sawit dan minyak jarak pagar. Diharapkan dari penelitian ini dihasilkan produk biodiesel yang bebas dari produk samping berupa sabun.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana mendapatkan produk biodiesel menggunakan katalis heterogen NaOH/Zeolit (zeo-basic) dan metanol teknis melalui reaksi transesterifikasi yang bebas dari produk samping berupa sabun ?
- Bagaimana kondisi reaksi transesterifikasi untuk mencapai hasil biodiesel setinggi-tingginya?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan produk biodiesel menggunakan katalis heterogen NaOH/Zeolit (zeo-basic) yang bebas dari sabun dengan reaksi transesterifikasi.
2. Mendapatkan kondisi optimal dari reaksi transesterifikasi dengan variasi jenis katalis zeo-basic, berat katalis zeo-basic, rasio mol metanol/minyak, suhu reaksi transesterifikasi, dan waktu reaksi transesterifikasi.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian yang dilakukan memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Reaksi transesterifikasi dilakukan dalam reaktor batch yang tertutup rapat.
2. Menggunakan minyak sawit, minyak jarak pagar dan metanol teknis sebagai reaktan.
3. Karakterisasi produk biodiesel dengan HPLC.

1.5. Sistematika Penulisan

Metode penulisan yang digunakan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang, rumusan masalah yang dikaji, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka dan teori-teori mengenai biodiesel, minyak jarak pagar, katalis, zeolit, reaksi transesterifikasi, dan analisa sifat fisika dan kimia.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bagian ini berisi mengenai tahap dan langkah kerja yang akan dilakukan selama penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB V : KESIMPULAN

DAFTAR REFERENSI

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui seperti minyak nabati maupun lemak hewani. Minyak nabati maupun lemak hewani sebagai bahan dasar biodiesel mengandung senyawa monoalkil ester sehingga dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar pada mesin diesel. Namun, penggunaan minyak nabati atau lemak hewani secara langsung memiliki beberapa kekurangan seperti viskositas yang tinggi, angka setana yang rendah, dan volatilitas yang rendah sehingga dapat menyebabkan terbentuknya deposit di injektor mesin diesel. Oleh karena itu, minyak nabati maupun lemak hewani diolah terlebih dahulu menjadi biodiesel yang aman bagi mesin diesel (Fukuda, 2001).

Biodiesel memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan minyak solar, antara lain:

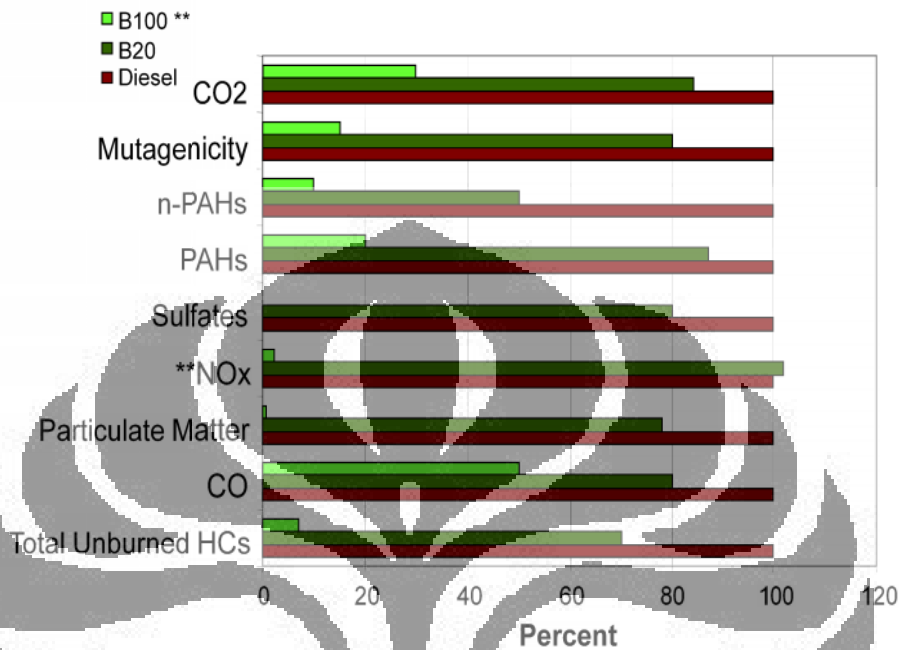
1. Sumber minyak nabati mudah diperoleh.
2. Proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati mudah dan cepat.
3. Limbah dari proses pembuatan biodiesel ramah lingkungan (*biodegradable*) dan bernilai ekonomis.
4. Bebas dari logam berat seperti sulfur dan senyawa aromatik.
5. Dapat terdegradasi secara alami.

Selain memiliki keunggulan, biodiesel juga memiliki kelemahan dibandingkan dengan minyak solar, antara lain:

1. Biodiesel akan mulai membeku pada suhu sekitar 10°C.
2. Besarnya energi hasil pembakaran biodiesel lebih rendah dibandingkan minyak solar konvensional.
3. Biodiesel dapat melarutkan pengotor yang ada pada tangki bahan bakar, injektor, dan selang yang akan merusak mesin diesel.

Gambar 2.1 menunjukkan perbandingan emisi gas buang dari biodiesel dan minyak solar. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa penggunaan biodiesel

murni (B100) menghasilkan emisi gas buang yang jauh lebih sedikit dibandingkan minyak solar maupun campurannya dengan biodiesel (B20).



Gambar 2.1. Emisi Gas Buang dari Biodiesel dan Minyak Solar (Michael, 2005)

Biodiesel memiliki beberapa karakteristik umum yang harus diketahui sebelum digunakan secara komersial, yaitu sebagai berikut:

1. Viskositas.

Pelumasan, gesekan di antara bagian-bagian yang bergerak, serta keausan mesin bergantung pada sifat ini. Sifat ini penting bagi aliran minyak ketika melewati pipa saluran dan penyuntik alat pemercik. Viskositas yang terlalu rendah akan menimbulkan kebocoran pada pipa injeksi, menyulitkan penyebaran bahan bakar, sehingga minyak tidak akan segera terbakar, menghasilkan asap yang kotor karena kelambatan aliran dan akan sulit mengalami atomisasi. Proses atomisasi yang efektif dari suatu bahan bakar di dalam silinder memerlukan tingkat viskositas yang lebih rendah untuk menghindari tekanan pompa yang berlebihan (Purwono, 2003).

2. Air dan Sedimen.

Pada negara yang mempunyai musim dingin kandungan air yang terkandung dalam biodiesel dapat membentuk kristal yang dapat menyumbat aliran bahan bakar. Selain itu, kadar air (*water content*) yang nilainya diatas ketentuan akan menyebabkan terjadinya hidrolisis pada biodiesel sehingga akan meningkatkan bilangan asam, menurunkan PH dan meningkatkan sifat korosif. Pada temperatur rendah, air dapat mendorong terjadinya pemisahan pada biodiesel murni dan dalam proses blending. Sementara itu, sedimen pada biodiesel dapat menyumbat dan merusak mesin.

3. Residu Karbon

Residu karbon berhubungan dengan jumlah deposit karbon pada ruang pembakaran. Residu karbon yang tinggi menyebabkan silinder mengalami kerusakan dengan cepat, membuat endapan kokas pada piston dan silinder yang akan menyebabkan lekatnya ring piston dan sistem valve. Residu karbon juga akan menghambat saluran bahan bakar dan semua bagian pada pipa injeksi bahan bakar akan rusak dengan cepat. Jadi, semakin rendah residu karbon efisiensi mesin akan semakin baik (Azis, 2005).

4. Titik Nyala (*Flash Point*).

Titik nyala adalah temperatur bahan bakar terendah di mana campurannya dengan udara masih dapat menyala yang digunakan untuk menaksir keseluruhan materi yang mempunyai resiko mudah terbakar. Jika penyalaan terjadi dengan kontinu, maka temperaturnya disebut 'titik api'. Sifat ini menunjukkan adanya materi-materi yang volatil dan mudah terbakar. Titik nyala secara tidak langsung terkait dengan kerja mesin. Titik nyala yang tinggi akan memudahkan dalam penyimpanan bahan bakar, karena minyak tidak akan mudah terbakar pada temperatur ruang. Sedangkan, titik nyala yang rendah akan berbahaya dalam hal penyimpanan karena resiko penyalaan, dan ini akan menimbulkan terjadinya denotasi sebelum bahan bakar memasuki ruang perapian (Hardjono, 2000).

5. Titik Tuang (*Pour Point*).

Titik tuang menunjukkan kemampuan bahan bakar untuk masih bisa mengalir pada temperatur paling rendah. Titik tuang digunakan sebagai syarat kualitas kontrol atau sebagai penunjuk penanganan temperatur rendah bagi penyimpanan bahan bakar dalam skala besar pada tangki-tangki dan pipa saluran kilang dan pangkalan minyak. Titik tuang yang terlalu tinggi akan menghambat penyalaan bahan bakar.

6. Nilai Kalor.

Nilai kalor adalah ukuran energi yang tersedia di dalam suatu bahan bakar yang menentukan tingkat konsumsi bahan bakar tiap satuan waktu. Semakin tinggi nilai kalor, maka semakin ekonomis bahan bakar tersebut (Setyawardhani, 2003).

7. Angka Setana (*Cetane Number*).

Angka setana menunjukkan kemampuan bahan bakar untuk menyala sendiri (*auto ignition*). Skala untuk angka setana biasanya menggunakan referensi berupa campuran antara normal setana ($C_{16}H_{34}$) dengan *alpha methyl naphthalene* ($C_{10}H_7CH_3$) atau dengan *heptamethylnonane* ($C_{16}H_{34}$). Normal setana memiliki angka setana 100, *alpha methyl naphthalene* memiliki angka setana 0, dan *heptamethylnonane* memiliki angka setana 15. Angka setana suatu bahan bakar biasanya didefinisikan sebagai persentase volume dari normal setana dengan campurannya tersebut. Angka setana yang tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar dapat menyala pada temperatur yang relatif rendah, dan sebaliknya angka setana rendah menunjukkan bahan bakar baru dapat menyala pada temperatur yang relatif tinggi. Penggunaan bahan bakar yang mempunyai angka setana yang tinggi dapat mencegah terjadinya *knocking* karena ketika bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder pembakaran, bahan bakar akan langsung terbakar dan tidak terakumulasi (Surono, 1980).

Tabel 2.1 menunjukkan spesifikasi minyak solar konvensional sesuai dengan standar ASTM D975, biodiesel sesuai standar ASTM D6751 dan RSNI

EB 020551. Biodiesel di Indonesia harus memenuhi semua persyaratan RSNI EB sebelum dipasarkan secara komersial. Hal ini diatur sesuai dengan Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor: 13A83 K/24/DJM/200S Tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati Jenis Biodiesel sebagai Bahan Bakar lain yang Dipasarkan di Dalam Negeri.

Tabel 2.1. Spesifikasi Minyak Solar dan Biodiesel

Spesifikasi	Minyak Solar	Biodiesel	
		ASTM D6751	RSNI EB 020551
Standar	ASTM D975	ASTM D6751	RSNI EB 020551
LHV (Btu/gal)	± 129.05	± 118.17	-
Kinematika Viskositas @40°C	1.3–4.1	4.0–6.0	2.3–6.0
Berat Jenis (kg/l) @60°F	0.85	0.88	-
Densitas (lb/gal) @15°C	7.079	7.328	6.93 – 7.39 (@40°C)
Air dan Sedimen, vol%	max. 0.05	max. 0.05	max. 0.05
Sulfur, wt %	max. 0.05	0–0.0024	max. 0.02
Karbon, wt %	87	77	-
Hidrogen, wt %	13	12	-
Oksigen, wt %	0	11	-
Titik Didih, °C	180–340	315–350	-
Titik Nyala, °C	60–80	100–170	min. 100
Titik Embun, °C	-15 sampai 5	-3 sampai 12	max. 18
Titik Tuang, °C	-35 sampai -15	-15 sampai 10	-
Angka Setana	40–55	48–65	min. 51

(Boedoyo, 2008)

2.2. Sintesis Biodiesel

Sampai saat ini ada beberapa macam reaksi kimia yang dapat digunakan untuk membuat biodiesel (metil ester), diantaranya adalah sebagai berikut (Juliati, 2002):

1. Reaksi Esterifikasi.

Pada reaksi ini, asam karboksilat direaksikan dengan metanol (alkohol) menghasilkan metil ester dan air. Pada umumnya reaksi ini digunakan sebagai awal dari reaksi transesterifikasi, karena dapat menurunkan tingkat keasaman suatu minyak.



2. Reaksi Interesterifikasi.

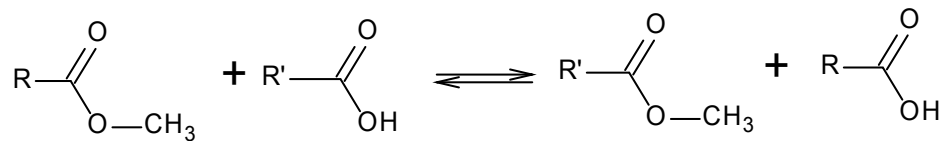
Interesterifikasi digambarkan sebagai pertukaran gugus antara dua buah ester dimana hal ini hanya dapat terjadi apabila terdapat katalis. Katalis yang sering digunakan untuk reaksi ini adalah logam natrium atau kalium dalam bentuk metoksilat atau etoksilat. Dalam reaksi ini ion logam natrium atau kalium akan menyebabkan terbentuknya ion enolat yang selanjutnya diikuti dengan pertukaran gugus alkil. Kelemahan dari reaksi ini adalah menghasilkan dua buah senyawa ester yang berbeda dengan berat jenis yang hampir sama sehingga sulit untuk memisahkannya.



3. Reaksi Asidolisis.

Asidolisis adalah reaksi pembentukan suatu ester antara asam lemak dengan ester yang lain. Disini terjadi pertukaran gugus alkil pada ester dengan atom hidrogen dari asam yang digunakan. Katalis yang digunakan akan menyebabkan terjadinya proton *abstraction* yang kemudian diikuti dengan perenggutan alkil dari ester oleh ion enolat yang terbentuk.

Kelemahan dari reaksi ini adalah sulit untuk memisahkan produk yang dihasilkan dan memerlukan suhu reaksi yang cukup tinggi.



4. Reaksi Transesterifikasi.

Reaksi ini merupakan reaksi yang umum digunakan dalam pembuatan biodiesel. Pada reaksi ini ester asam lemak direaksikan dengan metanol menghasilkan biodiesel (metil ester) dan gliserol. Kelebihan dari reaksi ini adalah mudah memisahkan antara biodiesel dengan gliserol, dapat bereaksi pada suhu rendah, dan menghasilkan konversi dan yield yang cukup besar.

2.2.1. Reaksi Transesterifikasi

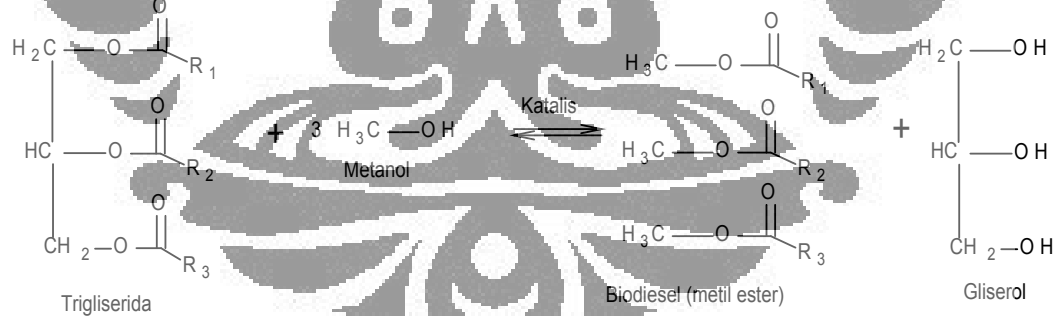
Transesterifikasi (alkoholisis) adalah reaksi yang terjadi antara trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek seperti metanol atau etanol menghasilkan metil ester asam lemak (*Fatty Acids Methyl Esters/ FAME*) atau biodiesel dan gliserol sebagai produk samping.

Katalis yang umumnya digunakan pada reaksi ini adalah basa/ alkali seperti natrium hidroksida (NaOH) dan kalium hidroksida (KOH) sedangkan katalis asam bisa juga digunakan namun memerlukan waktu yang lebih lama untuk menghasilkan biodiesel. Selain itu, sifat korosif katalis asam jauh lebih tinggi dibandingkan katalis basa serta diperlukan temperatur dan tekanan yang lebih tinggi daripada katalis basa (Jordan, 2001).

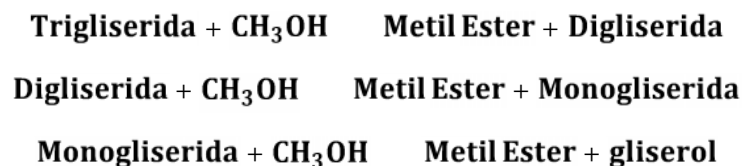
Basa dapat menjadi katalis pada reaksi transesterifikasi dengan mengambil proton dari alkohol sehingga reaksi yang terjadi lebih cepat. Mekanisme reaksi transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa dapat dilihat pada gambar 2.2.

Pada kenyataannya, reaksi transesterifikasi tidak sesederhana seperti yang terlihat pada gambar 2.2. Reaksi transesterifikasi dengan menggunakan katalis NaOH/Zeolit terdiri dari tujuh tahapan (gambar 2.3 memperlihatkan tiga tahapan secara umum), dengan perincian sebagai berikut (Luciana, 2007):

1. Tahap pre-awal adalah pembebasan OH^- dari larutan NaOH dengan cara menyerap ion Na^+ dengan Z (Zeolit). Kemudian OH^- bereaksi dengan metanol menghasilkan CH_3O^- dan H_2O .
2. Tahap pertama terjadi penyerangan atom karbon oleh CH_3O^- . Atom karbon yang diserang adalah atom karbon yang berikatan dengan R_1 .
3. Tahap kedua terjadi pemutusan ikatan antara atom karbon dengan atom oksigen yang kemudian bereaksi dengan H^+ yang berasal dari alkohol membentuk digliserida dan metil ester.
4. Tahap ketiga yaitu bereaksinya digliserida dengan CH_3O^- .
5. Tahap keempat terjadi pemutusan ikatan antara atom karbon dengan atom oksigen yang kemudian bereaksi dengan H^+ yang berasal dari alkohol membentuk monogliserida dan metil ester.
6. Tahap kelima yaitu bereaksinya monogliserida dengan CH_3O^- .
7. Tahap keenam atau tahap terakhir terjadi pemutusan ikatan antara atom karbon dengan atom oksigen yang kemudian bereaksi dengan H^+ yang berasal dari alkohol membentuk gliserol dan metil ester.

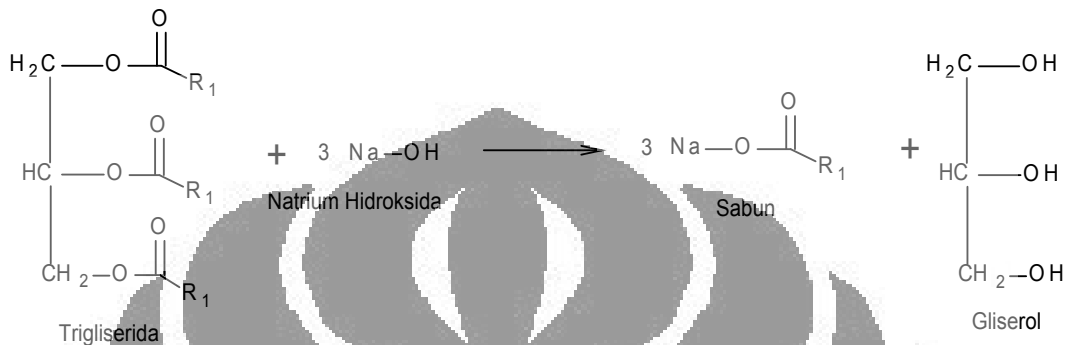


Gambar 2.2. Reaksi Transesterifikasi



Gambar 2.3. Mekanisme Reaksi Transesterifikasi

Apabila pada minyak nabati yang digunakan terdapat kandungan air yang berlebih maka akan terjadi reaksi saponifikasi (penyabunan). Reaksi ini dapat terbentuk akibat dari bereaksinya ion Na^+ dengan trigliserida (gambar 2.4). Jika pembentukan sabun terlalu banyak, menunjukkan bahwa NaOH terlebih dahulu kontak dengan air (Sarin, 2008).



Gambar 2.4 Reaksi Saponifikasi

2.2.2. Variabel yang Mempengaruhi Reaksi Transesterifikasi

Pada reaksi transesterifikasi terdapat beberapa variabel yang dapat mempengaruhi jalannya reaksi, yaitu katalis, temperatur, dan mol reaktan.

2.2.2.1. 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 dalam proses kimia. Katalis memiliki beberapa kondisi yang harus diperhatikan, yaitu sebagai berikut (Satterfield, 1991):

1. Aktivitas, yaitu kemampuan katalis untuk mengkonversi reaktan menjadi produk yang diinginkan.
2. Selektifitas, yaitu kemampuan katalis untuk mempercepat suatu reaksi dari beberapa reaksi yang terjadi sehingga produk yang diinginkan dapat diperoleh dengan produk samping seminimal mungkin.
3. Stabilitas, yaitu lamanya katalis memiliki aktivitas dan selektivitas seperti pada keadaan semula.

4. Yield, yaitu jumlah produk yang terbentuk untuk setiap satuan reaktan yang dikonsumsi.
5. Kemudahan diregenerasi, yaitu pengaruh beberapa faktor, seperti aktifitas, dan selektifitas katalis yang akan berubah sehingga kestabilan dari katalis menurun.

2.2.2.2. Temperatur

Laju reaksi transesterifikasi sangat dipengaruhi oleh temperatur reaksi. Reaksi transesterifikasi berlangsung pada temperatur 60-70°C dan tekanan atmosferik. Kecepatan reaksi akan meningkat sejalan dengan kenaikan temperatur. Semakin tinggi temperatur, berarti semakin banyak energi yang dapat digunakan oleh reaktan untuk mencapai energi aktivasi. Ini akan menyebabkan tumbukan terjadi lebih sering diantara molekul-molekul reaktan untuk kemudian melakukan reaksi, sehingga kecepatan reaksi meningkat. Arrhenius mengatakan bahwa hubungan antara konstanta kecepatan reaksi dengan temperatur mengikuti persamaan 2.1.

$$K = A e^{-\frac{E}{RT}} \dots \dots \dots (2.1)$$

keterangan:

K = kecepatan reaksi E = energi aktivasi A = faktor frekuensi

R = konstanta gas T = temperatur absolut

Penggunaan temperatur yang terlalu tinggi tidak dimungkinkan pada reaksi transesterifikasi. Hal ini karena metanol cair yang digunakan sebagai reaktan akan berubah menjadi uap karena titik didihnya hanya sebesar 65°C. Oleh karena itu, reaksi transesterifikasi pada umumnya menggunakan suhu di sekitar titik didih metanol.

2.2.2.3. Rasio Mol Metanol/Minyak

Pada raksi transesterifikasi dibutuhkan tiga mol alkohol untuk bereaksi dengan satu mol trigliserida menghasilkan tiga mol metil ester dan satu mol gliserol. Dari percobaan Freedman yang mempelajari pengaruh perbandingan mol

reaktan dari 1:1 hingga 6:1 didapatkan kesimpulan bahwa konversi meningkat seiring dengan peningkatan rasio mol, hal ini karena semakin banyak alkohol yang digunakan reaksi transesterifikasi akan berjalan ke arah produk. Namun, terlalu banyak alkohol yang dipakai justru akan menurunkan yield biodiesel seperti yang dijelaskan pada subbab 4.4 serta menyebabkan biodiesel memiliki viskositas dan titik nyala yang lebih rendah dibandingkan dengan minyak solar.

2.3. Minyak Nabati

Minyak nabati berasal dari tumbuh-tumbuhan yang berbentuk cair pada suhu ruang dan terdiri dari sejumlah molekul organik yang biasa disebut trigliserida. Trigliserida merupakan campuran antara gliserol dan asam lemak rantai panjang yang tersusun dari atom karbon (C), oksigen (O), dan hidrogen (H). Reaktivitas kimia dari trigliserida berada pada ikatan esternya dan derajat ketidakterjenuhan dari rantai karbon.

2.3.1. Asam Lemak

Asam lemak bersama-sama dengan gliserol merupakan penyusun utama minyak nabati serta sebagai bahan baku utama 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 [asam lemah](#), dan dalam air terdisosiasi sebagian. Umumnya berfase cair atau padat pada suhu ruang (27°C). Asam lemak tidak jenuh adalah [asam alifatik](#) atau asam karboksilat berderajat tinggi (rantai C lebih dari 6).

Asam lemak dibedakan menjadi asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh. Asam lemak jenuh yang terdapat pada minyak nabati akan menentukan sifat biodiesel. Perbedaan antara asam lemak jenuh dan tak jenuh terdapat pada ikatan rangkap. Asam lemak tak jenuh mempunyai ikatan rangkap cis pada rantai karbon, sedangkan asam lemak jenuh tidak punya. Ikatan rangkap cis pada rantai karbon menyebabkan senyawa tidak mampu membentuk kerapatan atom-atom, namun ia akan membentuk rantai melingkar. Ini akan membuat ikatan Van der

Waals melemah, sehingga titik cair dari asam lemak tak jenuh juga rendah. Biodiesel dari minyak kelapa mempunyai viskositas yang lebih rendah karena mempunyai rantai pendek (laurat, $C_{12}H_{24}O_2$), dibandingkan dengan biodiesel dari minyak kedelai (mengandung linolenat, $C_{18}H_{32}O_2$), dan biodiesel dari minyak sawit (mengandung palmitat, $C_{16}H_{32}O_2$ dan stearat, $C_{18}H_{34}O_2$) (Ardiyanti, 2003).

Komposisi asam lemak yang terdapat pada berbagai macam minyak nabati dapat dilihat pada tabel 2.2, sedangkan struktur kimia dari asam lemak penyusun minyak nabati dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.2. Komposisi Asam Lemak pada Beberapa Macam Minyak Nabati (dalam persen)


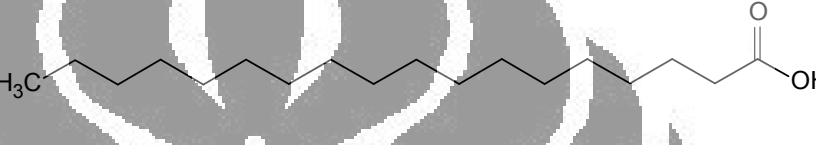
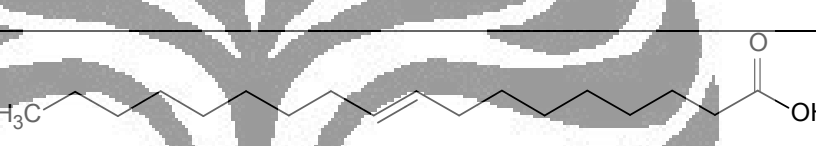
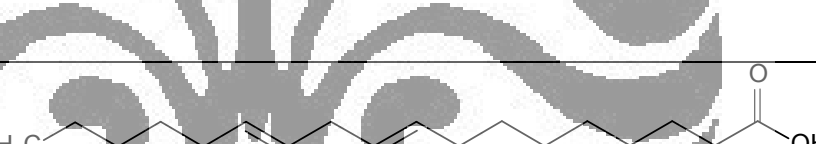
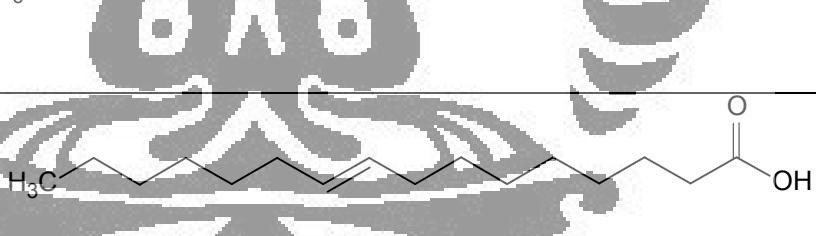
Asam Lemak	Minyak Jarak Pagar	Minyak Bunga Matahari	Minyak Kelapa Sawit	Minyak Kedelai
Laurat ($C_{12}/0$)	-	0.5	-	-
Misristat ($C_{14}/0$)	-	0.2	-	0.1
Palmitat ($C_{16}/0$)	14.2	4.8	40.3	11.0
Palmitoleat ($C_{16}/1$)	1.4	0.8	-	0.1
Oleat ($C_{18}/1$)	43.1	20.6	43.4	23.4
Stearat ($C_{18}/0$)	6.9	5.7	3.1	4.0
Linoleat ($C_{18}/2$)	34.4	66.2	13.2	53.2
Linolenat ($C_{18}/3$)	-	0.8	-	7.8
Arachidat ($C_{20}/0$)	-	0.4	-	0.3
Behenat ($C_{22}/0$)	-	-	-	0.1

(Sarin, 2008)

Hampir 90-95% minyak nabati terdiri dari gliserida, yaitu ester, gliserol, dan asam lemak. Asam lemak berperan dalam menentukan sifat fisis dan kimia dari minyak nabati. Kehadiran pengotor di dalam minyak juga mempengaruhi tingkat konversi karena dapat mengganggu kerja katalis. Namun bagaimanapun juga pada kondisi temperatur dan tekanan yang tinggi masalah ini dapat diatasi. Semakin panjang rantai C penyusun asam lemak, 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 yang ditentukan dengan [bilangan oksidasi](#)

Tabel 2.3. Struktur Kimia Asam Lemak Minyak Nabati

Nama Komponen	Struktur Kimia
Asam Palmitat	
Asam Stearat	
Asam Oleat	
Asam Linoleat	
Asam Palmitoleat	

2.3.2. Pemurnian Minyak Nabati

Minyak sawit (CPO) ataupun minyak nabati lainnya yang masih mentah (*crude*) tidak dapat langsung digunakan dalam reaksi transesterifikasi, karena dapat membentuk gumpalan-gumpalan gel. Hal ini karena masih banyaknya pengotor seperti asam lemak bebas, fosfolipid, wax, dll. Oleh karena itu, minyak sawit harus dimurnikan terlebih dahulu melalui beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

1. Degumming.

Degumming merupakan suatu proses yang bertujuan untuk menghilangkan fosfatida, wax, dan pengotor lainnya dengan cara penambahan air, larutan garam, atau larutan asam. Degumming mengkonversi fosfatida menjadi gum terhidrasi yang tidak larut dalam minyak dan selanjutnya akan dipisahkan dengan cara filtrasi atau sentrifugasi. Pada pabrik sederhana, degumming dilakukan dengan cara memanaskan CPO hingga temperatur 90-130°C dimana temperatur ini adalah temperatur yang dibutuhkan untuk berlangsungnya reaksi CPO dengan asam fosfat. Setelah itu, CPO dipompa ke dalam mixer statis dengan pengadukan yang terus-menerus di dalam mixer. Proses ini akan mempermudah penghilangan gum pada proses penyaringan berikutnya sehingga ukuran deodorizer tidak terlalu besar.

2. Netralisasi.

Proses netralisasi konvensional yang paling luas digunakan dan juga proses purifikasi terbaik yang dikenal sejauh ini dengan penambahan NaOH pada CPO. Penambahan larutan alkali ke dalam CPO menyebabkan terjadi beberapa reaksi kimia dan fisika, yaitu sebagai berikut:

- Alkali bereaksi dengan asam lemak (*free fatty acid/* FFA) membentuk sabun.
- Fosfatida mengabsorb alkali dan selanjutnya akan terkoagulasi melalui proses hidrasi.
- Pigmen mengalami degradasi yang akan terabsorpsi oleh gum.
- Bahan-bahan yang tidak larut akan terperangkap oleh material terkoagulasi.

Efisiensi pemisahan sabun dari minyak yang sudah dinetralisasi biasanya dilakukan dengan bantuan separator sentrifugal. Netralisasi kaustik konvensional sangat fleksibel dalam memurnikan minyak mentah untuk menghasilkan produk makanan. Netralisasi dengan menggunakan NaOH dapat dilakukan untuk minyak kelapa sawit yang mengandung 8 sampai 10% asam lemak bebas. Proses netralisasi ini antara lain: prapemanasan minyak sawit mentah hingga 54-71°C, netralisasi dengan NaOH

secukupnya, pemanasan hingga 82-88°C untuk mengendapkan fasa sabun dan langsung disentrifugasi. Minyak yang telah ternetralisasi kemudian dicuci dengan air dan selanjutnya dipisahkan sekali lagi melalui proses settling atau sentrifugasi untuk menghilangkan sisa pengotor dan sisa sabun. Selanjutnya minyak dikeringkan dengan bantuan *vacuum dryer* atau langsung dilakukan proses bleaching

3. *Bleaching*.

Minyak kelapa sawit yang sudah dinetralisasi mengandung residu sabun, logam, produk-produk oksidasi, dan pigmen warna. Untuk itu dilakukan proses pemucatan (*bleaching*) untuk menghilangkan bahan-bahan tersebut. Pemucatan minyak sawit dapat dilakukan dengan *bleaching earth* atau dengan perusakan dengan panas. Karena tingginya kandungan pigmen di dalam minyak sawit, dibutuhkan *bleaching earth* yang lebih banyak dan waktu pemucatan yang lebih lama dibandingkan proses pemucatan minyak nabati lainnya. Kondisi optimal pemucatan didapat dengan penambahan 3% *bleaching earth* yang mengandung karbon aktif dengan perbandingan 9:1 pada temperatur 150°C dalam keadaan vakum 700 mmHg.

4. Deodorisasi.

Minyak sawit yang keluar dari proses *bleaching* mengandung aldehida, keton, alkohol, asam lemak dengan berat molekul ringan, hidrokarbon, dan bahan lain hasil dekomposisi peroksida dan pigmen. Walaupun konsentrasi bahan-bahan tersebut kecil, bahan-bahan tersebut dapat terdeteksi oleh rasa dan aroma minyaknya. Bahan-bahan tersebut lebih volatil pada tekanan rendah dan temperatur tinggi. Proses deodorisasi pada intinya adalah distilasi uap pada keadaan vakum. Distilasi uap pada tekanan vakum untuk menguapkan aldehid dan senyawa aromatik lainnya menggunakan prinsip hukum Raoult. Sebelum masuk ke dalam alat deodorisasi, minyak yang sudah dipucatkan dipanaskan sampai 210-250°C. Alat deodorisasi beroperasi dengan 4 cara, yaitu deaerasi minyak, pemanasan minyak, pemberian uap ke dalam minyak, dan pendinginan minyak. Di dalam kolom, minyak dipanaskan sampai 240-280°C dalam

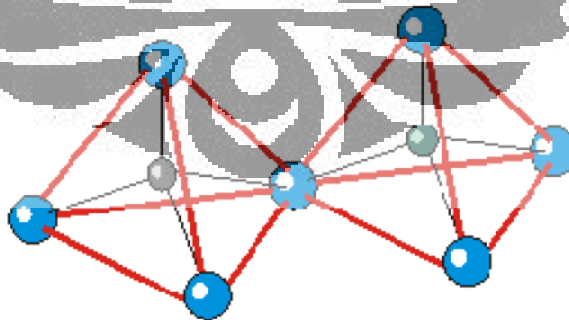
kondisi vakum. Manfaat pemberian uap langsung menjamin pembuangan sisa-sisa asam lemak bebas, aldehida, dan keton.

5. Fraksinasi.

Fraksinasi dibutuhkan untuk memisahkan trigliserida yang memiliki titik leleh lebih tinggi sehingga minyak sawit tidak teremulsi pada temperatur rendah. Fraksinasi dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu fraksinasi kering, fraksinasi basah, dan fraksinasi dengan *solven*. Pada fraksinasi kering, minyak sawit didinginkan perlahan dan disaring untuk memisahkan fraksi-fraksinya. Pada fraksinasi basah, kristal pada fraksi stearin dibasahi dengan menggunakan surfaktan atau larutan deterjen. Pada fraksinasi dengan solvent, minyak sawit diencerkan dengan menggunakan solven seperti heksana, aseton, atau isopropanol. Proses fraksinasi kering lebih disukai karena lebih ramah lingkungan.

2.4. Zeolit

Zeolit merupakan kristal alumina silikat dengan struktur berbentuk kerangka dana mempunyai pori berukuran molekul. Struktur tiga dimensi zeolit (gambar 2.5) terdiri dari rongga (*cavity*) dan saluran (*channel*), yang ditempati oleh ion logam alkali seperti Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , dan Ca^{2+} serta molekul air (Breek, 1974). Di dunia ini, ada beberapa macam mineral zeolit yang sudah ditemukan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.4.



Gambar 2.5. Tetrahedral Alumina dan Silika (TO_4) pada Struktur Zeolit

(Thamzil, 2005)

Tabel 2.4. Jenis-jenis Mineral Zeolit

Nama Mineral	Rumus Kimia Unit Sel
--------------	----------------------

Analsim	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Kabasit	$(\text{Na}_2, \text{Ca})_6 (\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$
Klipnoptolotit	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_4\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Erionit	$(\text{Na}, \text{Ca}_5\text{K}) (\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
Ferrierit	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
Heulandit	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Laumonit	$\text{Ca}(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Mordenit	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Filipsit	$(\text{Na}, \text{K})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{64}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
Natrolit	$\text{Na}_4(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Wairakit	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Pori pada zeolit terdiri dari kanal-kanal (channel) dan rongga-rongga yang saling berhubungan, yang memungkinkan zeolit melakukan selektivitas dalam reaksi katalitik. Terdapat tiga bentuk selektivitas dalam reaksi katalitik yang dapat dibedakan, yaitu (Asri, 2006):

1. Selektivitas reaktan. Terjadi bila hanya sebagian dari molekul reaktan yang mampu masuk ke dalam pori zeolit. Hal ini dipengaruhi faktor geometrik dan perbedaan difusivitas.
2. Selektivitas produk. Terjadi dimana hanya sebagian saja dari produk yang dihasilkan dapat keluar dari pori zeolit. Hal ini dimungkinkan bila produk terlalu besar untuk meninggalkan zeolit, sehingga mendeaktifkan katalis atau akan bereaksi lebih lanjut untuk membentuk produk yang lebih kecil sehingga dapat berdifusi meninggalkan zeolit.
3. Selektivitas keadaan transisi. Terjadi ketika keadaan transisi membutuhkan suatu ruang reaksi yang tidak dapat dicapai dalam zeolit disebabkan sterik dan keterbatasan ruang.

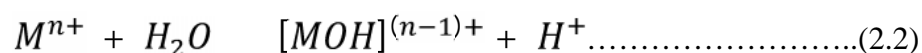
Tabel 2.5 memperlihatkan hasil analisa AAS terhadap zeolit alam malang. Tabel 2.5 menunjukkan bahwa unsur yang menjadi komponen utama pada zeolit malang adalah Ca, Si, dan Al dengan rasio Si/Al sebesar 4.928. Besi oksida (Fe₂O₃) pada zeolit akan teroksidasi pada proses kalsinasi zeolit yang menyebabkan perubahan warna menjadi coklat kemerahan.

Tabel 2.5. Komponen Penyusun Zeolit Alam Malang

Unsur	wt (%)	Senyawa	wt (%)
Mg	1,3434	MgO	1.5965
Al	7.9040	Al ₂ O ₃	10.2816
Si	38.9490	SiO ₂	53.2322
S	0,2282	S	0.1267
K	2.3985	K ₂ O	1.5275
Ca	39,9281	CaO	27.6908
Ti	0.5278	TiO ₂	0.3802
Mn	0.3461	MnO	0.1886
Fe	8.0806	Fe ₂ O ₃	4.8386
Sr	0.2944	SrO	0.1374

(Asri, 2006)

Kation-kation logam yang terdapat dalam zeolit malang berperan sebagai pengontrol terhadap aktivitas sampel katalis. Kation dari logam alkali seperti Na dan K dapat menyebabkan deaktivasi terhadap sampel katalis, sedangkan kation divalen dan trivalen umumnya akan memberikan pengaruh terhadap keaktifan sampel katalis. Hal tersebut disebabkan karena kation-kation divalen dan trivalen akan mengalami reaksi hidrolisis dengan adanya uap air dan membentuk situs asam Bronsted seperti terlihat pada persamaan 2.2.



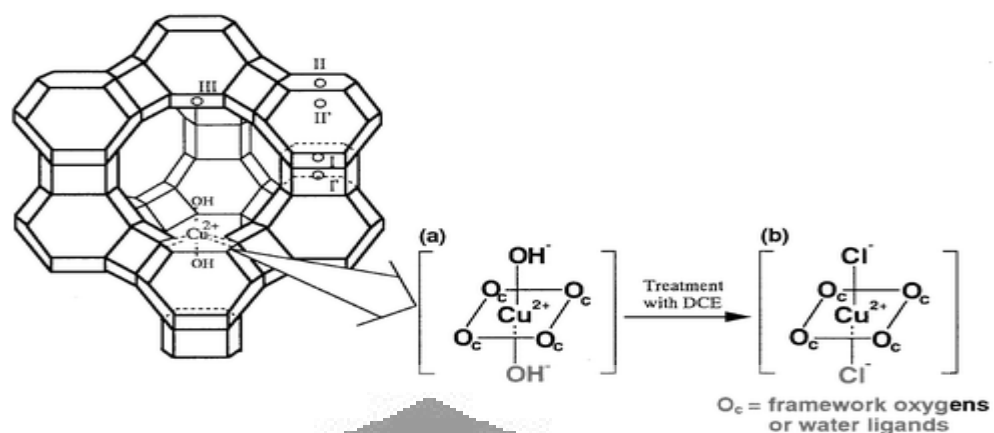
Adanya logam Na dalam sampel katalis akan mengurangi pembentukan kokas dan gas serta dapat bersifat racun terhadap sampel katalis. Secara umum kation-kation monovalen dalam zeolit, bersifat sebagai pengotor dan dapat

mendeaktivasi sampel katalis sedangkan kation trivalen dan polivalen dapat menambah keaktifan sampel katalis (Boudart, 1987).

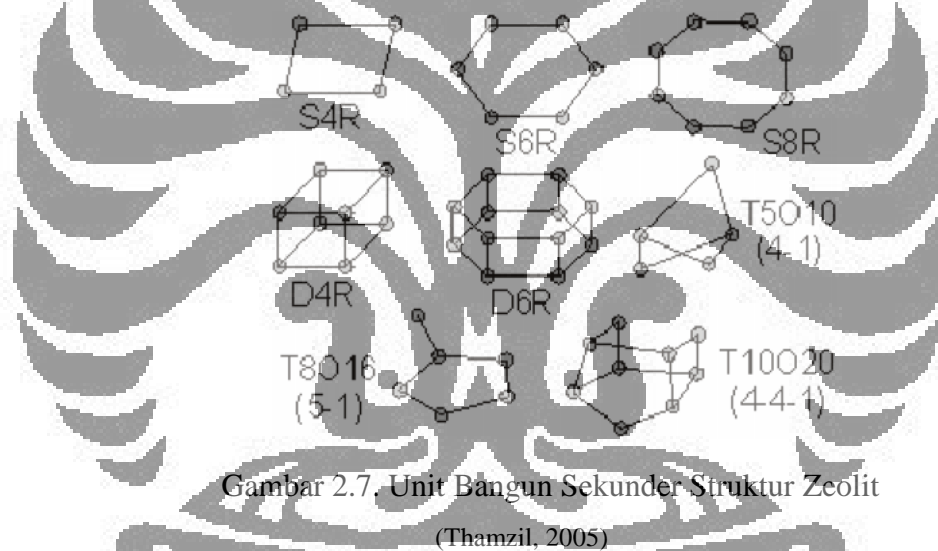
Kandungan logam K, Ca dan Fe dalam sampel katalis memiliki kecenderungan untuk berkurang dengan adanya perlakuan terhadap zeolit, yang meliputi pengasaman dan hidrotermal. Pengasaman dan hidrotermal menurunkan kandungan aluminium tempat terkaitnya logam-logam penetral muatan listrik pada zeolit. Dengan berkurangnya aluminium tersebut menyebabkan berkurangnya kandungan logam-logam tersebut (Setyawan, 2002).

Fungsi zeolit sebagai katalis didasarkan pada sejumlah karakteristik materi, seperti rasio Si/Al nya, strukturnya, kemampuan pertukaran ion, keasaman zeolit, dan kelayakan pengembalian terhadap partikel logam. Naiknya perbandingan Si/Al mempunyai beberapa pengaruh, diantaranya (Luciana, 2007):

1. Stabilitas termal zeolit menuju ke arah temperatur tinggi. Sebagai contoh, zeolit bersilika rendah stabil pada temperatur 800-900 K, sementara zeolit H-ZSM-5 stabil hingga 1300 K.
2. Terjadi perubahan medan elektrostatis dalam zeolit yang mempengaruhi interaksi adsorbtif dengan molekul lain. Zeolit bersilika rendah sangat hidrofilik, sementara zeolit yang bersilika tinggi lebih hidrofobik.
3. Konsentrasi kation turun karena ini adalah fungsi Al dalam zeolit. Hal ini berpengaruh terhadap interaksi spesifik kation dalam adsorpsi, pertukaran ion dan katalisis. Afinitas menyerap air juga dipengaruhi oleh penurunan konsentrasi katalis.
4. Dengan naiknya perbandingan Si/Al, maka akan terjadi perubahan struktur dari unit bangun sekunder seperti zeolit A, X, dan Y dengan masing-masing 4, 6, dan 8 cincin unit bangun sekunder menjadi 5 cincin sebagaimana pada mordenit dan ZSM-5. Gambar 2.6 menunjukkan struktur zeolit X dan Y, sedangkan gambar 2.7 menunjukkan unit bangun sekunder pada struktur zeolit.



Gambar 2.6. Struktur Zeolit X dan Y
(Thamzil, 2005)



Gambar 2.7. Unit Bangun Sekunder Struktur Zeolit
(Thamzil, 2005)

2.4.1. Zeolit Sebagai Penyangga/Support

Zeolit dapat digunakan sebagai katalis maupun sebagai penyangga katalis. Zeolit disebut sebagai penyangga karena komponen inti aktif (asam, basa, dan logam) dapat ditempatkan di dalam pori-pori zeolit yang kemudian akan terdispersi secara merata ke seluruh permukaan zeolit. Tujuan dari penempatan ini adalah untuk memperluas permukaan aktif zeolit dalam kinerjanya sebagai suatu katalis. Teknik penempatan komponen inti aktif ini pada pori zeolit dilakukan dengan metode impregnasi.

2.4.2. Aktivasi Zeolit

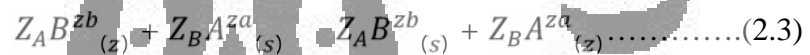
Zeolit perlu diaktifkan terlebih dahulu sebelum digunakan dengan maksud untuk mempertinggi daya kerjanya sebagai bahan penyerap ataupun penukar kation. Pengaktifan zeolit dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu kalsinasi, pertukaran ion, dan dealuminasi.

2.4.2.1. Kalsinasi

Kalsinasi pada zeolit bertujuan untuk menguapkan air yang masih terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga dapat meningkatkan luas permukaannya. Selain itu, kalsinasi bertujuan untuk menyusun kristal alumina silikat dari bentuk yang tidak stabil menjadi stabil. Kalsinasi pada penelitian ini dilakukan pada suhu 400°C dengan waktu pemanasan 2 jam.

2.4.2.2. Pertukaran Ion (*Ion Exchange*)

Pertukaran ion adalah suatu proses dimana kation yang berada dalam sistem pori suatu zeolit akan dipertukarkan dengan kation lain yang bersumber dari suatu larutan seperti pada persamaan 2.3. Perukaran kation akan berlangsung sempurna apabila konsentrasi larutan yang digunakan cukup besar pada temperatur tinggi (Asri, 2006).



keterangan:

A, B = kation yang dipertukarkan Z = zeolit
 za, zb = muatan masing-masing kation S = larutan

Setiap jenis mineral zeolit memiliki selektifitas pertukaran ion yang berbeda-beda (tabel 2.6). Semakin besar nilai koefisien selektifitas suatu ion maka akan semakin besar kecenderungannya untuk diserap oleh zeolit. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu (Asri, 2006):

1. Struktur terbentuknya zeolit.
2. Mobilitas ion yang dipertukarkan.
3. Pengaruh difusi ion ke dalam larutan.

Tabel 2.6. Urutan Selektifitas Pertukaran Ion Beberapa Jenis Zeolit

Jenis zeolit	Urutan selektifitas	Peneliti
Analcime	$K < Li < Na < Ag$	Barrer (1950)
Chabazite	$Li < Na < K < Cs$	Sherry (1969)
Clinoptilolite	$Mg < Ca < Na < NH_4 < K$	Ames (1961)
Heulandites	$Ca < Ba < Sr < Li < Na < Rb < K$	Filizopa (1974)
Mordenit	$Li < Na < Rb < K < Cs$	Ames (1961)

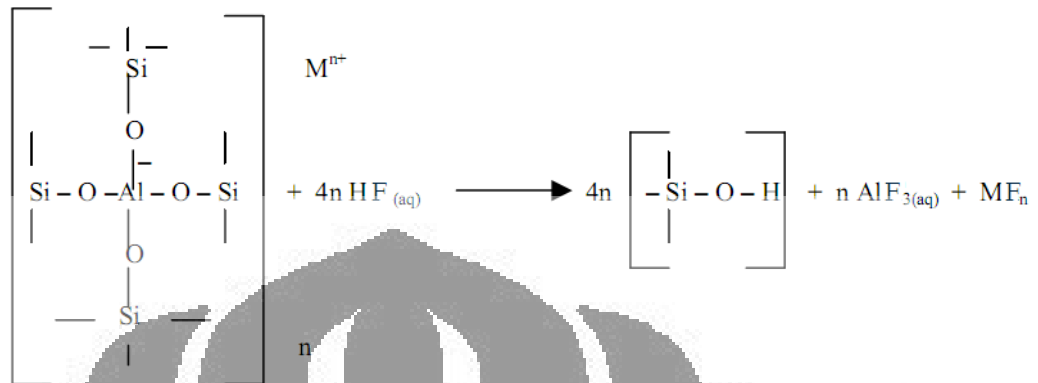
2.4.2.3. Dealuminasi

Peningkatan mutu zeolit alam memang perlu dilakukan aktivasi dengan cara merendam zeolit dalam larutan asam. Perendaman zeolit alam dengan larutan HF 1% dapat menghilangkan oksida-oksida pengotor tetapi tidak merusak struktur kristal mordenit sehingga kristalinitas zeolit secara keseluruhan meningkat. Aktivasi zeolit alam dengan cara merefluks dengan larutan HCl dapat meningkatkan rasio Si/Al, keasaman, dan persentase kandungan mordenit, penelitian lain memperlihatkan bahwa hal itu terjadi karena terlarutnya sebagian Al pada kerangka klinoptilolit.

Aluminium dalam zeolit dapat terekstrak pada perendaman zeolit dalam larutan HCl 6 M atau HF 1%. Karena perendaman zeolit dalam larutan HF yang relatif pekat dan cukup lama maka jumlah Al dalam kerangka (*Al framework*) menjadi aluminium di luar kerangka, sehingga rasio Si/Al menjadi meningkat. Proses pelepasan Al dalam kerangka menjadi Al di luar kerangka adalah seperti pada gambar 2.8.

Keadaan lain yang menyebabkan rasio Si/Al meningkat adalah adanya uap air pada temperatur kalsinasi dalam zeolit yang akan menghidrolisis atom aluminium dalam kerangka (*Al framework*) yang mempunyai situs asam Bronsted. Adanya uap air pada temperatur kalsinasi, selain menghidrolisis Al dalam kerangka, juga mengakibatkan labilitas kerangka oksigen. Akibatnya atom Si berpindah ke tempat kosong yang ditinggalkan Al. Sebagai konsekuensinya

ukuran unit selnya akan menyusut. Penyusutan tersebut mengakibatkan meningkatnya rasio Si/Al dan mengecilnya ukuran pori (Setyawan, 2002).



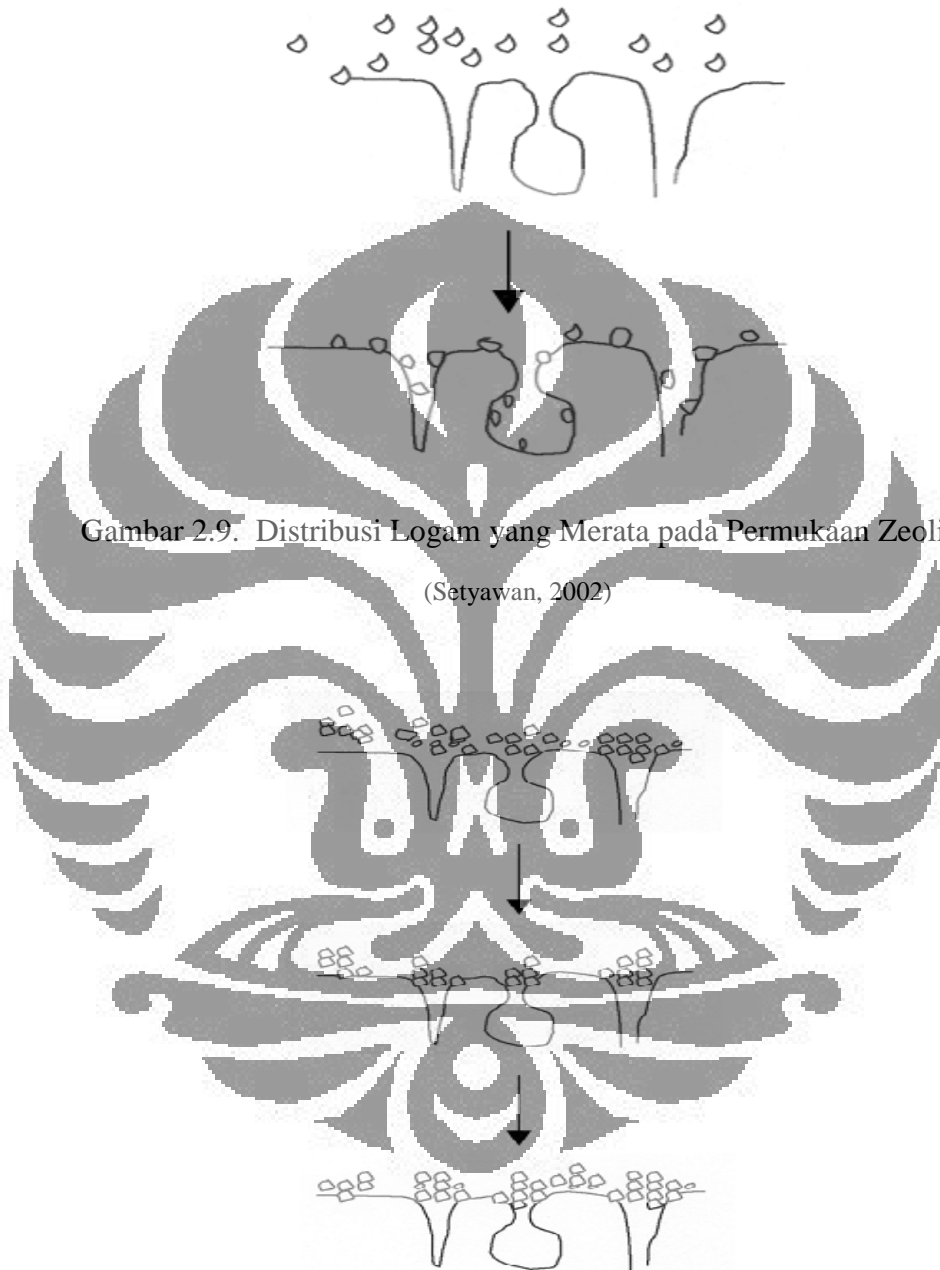
Gambar 2.8. Dealuminasi Zeolit Menggunakan Larutan HF1%
(Luciana, 2007)

2.4.3. Impregnasi Logam Aktif

Logam aktif yang terimpregnasi pada permukaan zeolit sangat mempengaruhi perubahan luas permukaan spesifik, volume total pori dan diameter pori. Pori mempunyai peranan yang penting sekali dalam peningkatan luas permukaan padatan, sehingga untuk memperoleh luas permukaan padatan yang besar, maka harus diperhatikan luas dan volume pori padatan tersebut (Lowell & Shield, 1984). Pada umumnya tujuan dari impregnasi logam aktif ke permukaan suatu padatan adalah untuk memperluas permukaan dari suatu padatan (sampel katalis) yang pada akhirnya akan meningkatkan luas permukaan spesifik suatu padatan dan diharapkan aktivitas sampel katalis akan meningkat.

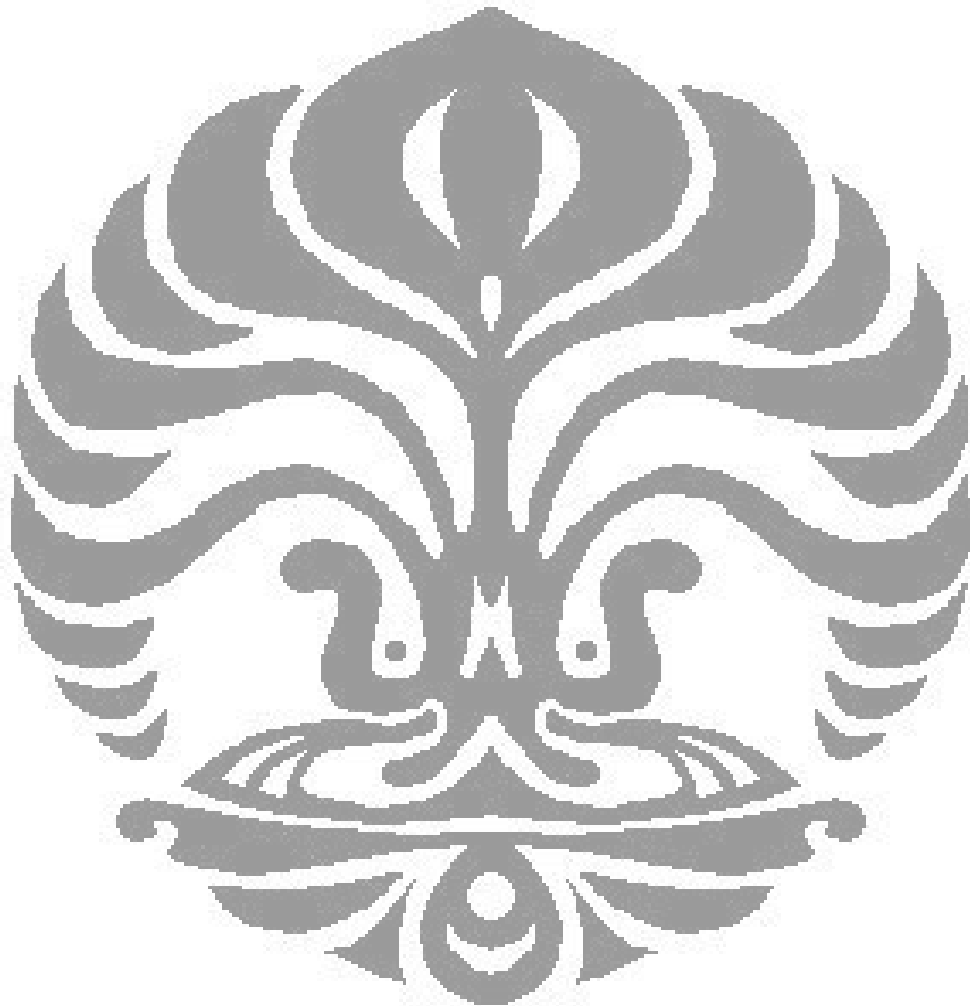
Semakin banyak logam terimpregnasi secara merata pada permukaan padatan diharapkan luas permukaan spesifik dari padatan akan semakin luas. Fenomena ini dapat terjadi karena distribusi logam yang berdifusi cukup merata sehingga tidak terjadi akumulasi pada mulut dan saluran pori dan relatif tidak terjadi kompetisi antara logam yang satu dengan yang lain seperti ditunjukkan pada gambar 2.9, tetapi kenyataannya tidak selalu demikian. Bila terjadi akumulasi logam aktif pada permukaan padatan, misalnya pada bagian mulut pori atau saluran pori, maka logam-logam aktif tersebut akan menutupi mulut pori dan

saluran pori sehingga luas permukaan spesifik dari suatu padatan akan menurun, dengan demikian pusat aktif pada permukaan padatan akan menjadi semakin sedikit (gambar 2.10).



Gambar 2.9. Distribusi Logam yang Merata pada Permukaan Zeolit
(Setyawan, 2002)

Gambar 2.10. Akumulasi Logam pada Mulut Pori dan Saluran Pori Zeolit
(Setyawan, 2002)



BAB 3 METODE PENELITIAN

Penelitian ini dibagi menjadi dua proses utama, yaitu preparasi katalis dan sintesis biodiesel. Pada preparasi katalis dilakukan kalsinasi, dealuminasi, pertukaran ion, dan impregnasi NaOH. Sedangkan sintesis biodiesel menggunakan reaksi transesterifikasi dilakukan variasi konsentrasi NaOH dalam zeolit, berat zeo-basic, rasio mol metanol/minyak, suhu reaksi, dan waktu reaksi.

3.1. Peralatan Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Preparasi Katalis. Pada preparasi katalis dibutuhkan *beaker glass*, labu ukur, cawan gelas, cawan porselin, pipet tetes, oven digital, dan timbangan digital.
2. Titrasi larutan hasil rendaman NaOH/Zeolit. Peralatan yang dibutuhkan adalah buret, corong, labu erlenmeyer, dan statif.
3. Reaksi Transesterifikasi. Pada reaksi transesterifikasi dibutuhkan timbangan digital, labu ukur, dan reaktor batch tertutup.
4. HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*).

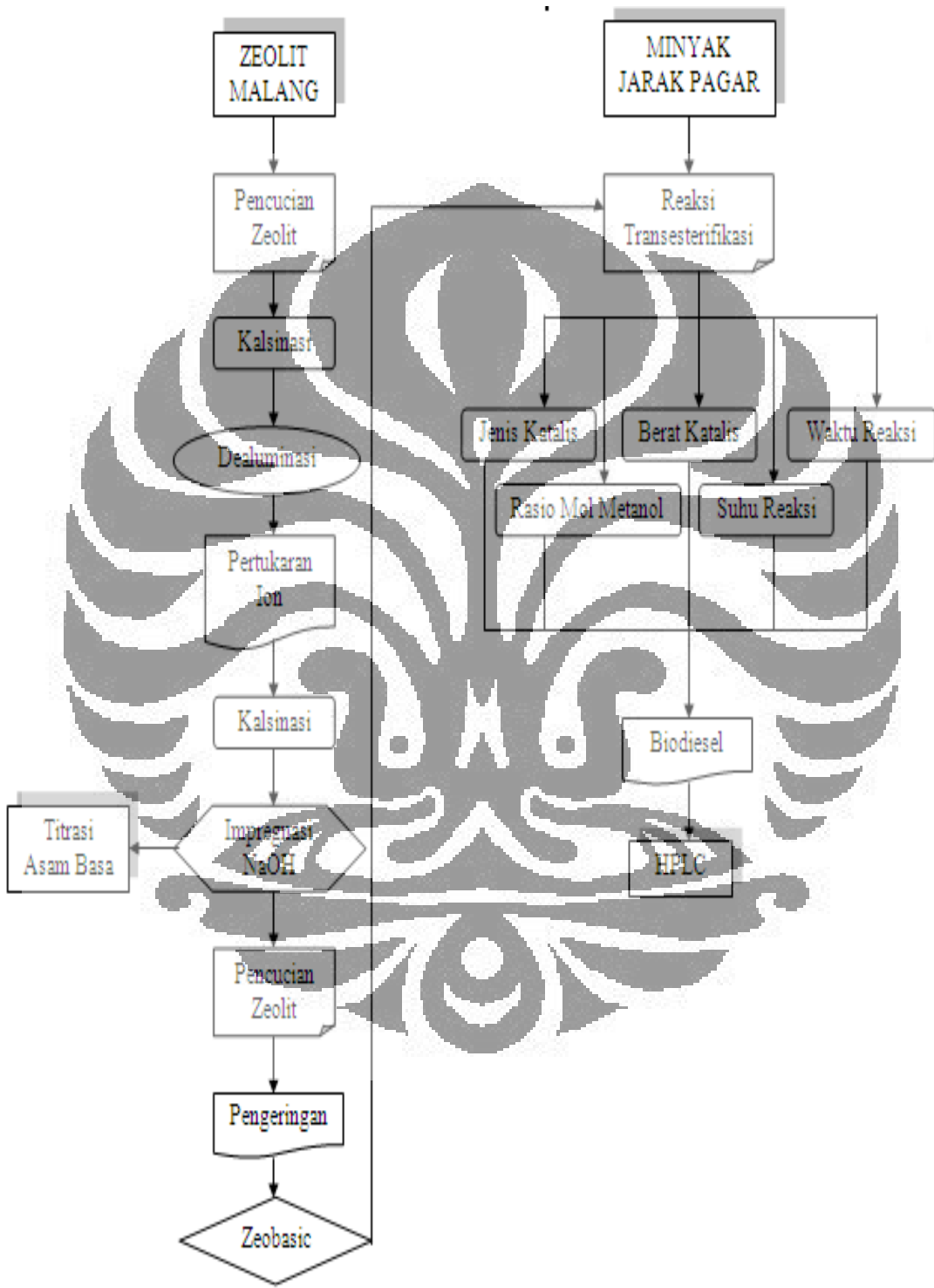
3.2. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Preparasi Katalis. Pada preparasi katalis dibutuhkan zeolit alam malang, NaOH p.a, asam HF 1%, NH_4Cl 1M dan aquades.
2. Titrasi larutan hasil rendaman NaOH/Zeolit. Pada proses ini diperlukan asam HCl 1.5M, larutan NaOH/Zeolit, indikator p-p, dan aquades.
3. Reaksi Transesterifikasi. Pada reaksi transesterifikasi dibutuhkan minyak sawit, minyak jarak pagar, metanol teknis, dan NaOH/Zeolit dengan berbagai macam konsentrasi.

3.3. Tahapan Percobaan

Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skema Penelitian

3.3.1. Preparasi Katalis

Preparasi katalis bertujuan untuk membuat katalis heterogen NaOH/Zeolit. Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk mempreparasikan katalis, yaitu:

1. Pencucian Zeolit Malang.

Zeolit Malang didispersikan dengan air selama 24 jam untuk dicuci dari pengotor yang terbawa pada sampel zeolit tersebut.

2. Kalsinasi.

Setelah dicuci, zeolit kemudian dikalsinasi pada suhu 400°C selama 2 jam untuk menghilangkan air, dan pengotor-pengotor lainnya. Kalsinasi dilakukan pula setelah proses pertukaran ion pada suhu 400°C selama 2 jam.

3. Dealuminisasi Zeolit.

Zeolit yang sudah dikalsinasi direndam dalam larutan HF 1% sambil terus diaduk selama 30 menit. Zeolit kemudian disaring, dicuci, dan dikeringkan dalam oven digital pada suhu 150°C .

4. Pertukaran Ion (*Ion Exchange*).

Zeolit yang sudah dikalsinasi, direndam dalam larutan NH_4Cl selama 24 jam. Kemudian, zeolit disaring, dicuci, dan dikalsinasi pada suhu 400°C selama 2 jam.

5. Impregnasi NaOH pada Zeolit

Zeolit alam diletakkan dalam tiga buah *beaker glass* masing-masing sebanyak 100 gr, kemudian ditambahkan 250 ml larutan NaOH dengan berat 11.5 gr, 23 gr, dan 34.5 gr. Selanjutnya, zeolit didiamkan selama 24 jam. Zeolit lalu dicuci dan dikeringkan pada suhu 100°C menggunakan oven digital. Larutan hasil perendaman NaOH/Zeolit dititrasi menggunakan HCl untuk mengetahui banyaknya NaOH yang terimpregnasi. Zeolit yang ditambahkan NaOH sebanyak 11.5 gr disebut selanjutnya sebagai zeo-basic A, zeolit yang ditambahkan NaOH sebanyak 23 gr disebut sebagai zeo-basic B, dan zeolit yang ditambahkan NaOH sebanyak 34.5 gr disebut sebagai zeo-basic C.

3.3.2. Sintesis Biodiesel

Sintesis biodiesel merupakan tahapan utama untuk menghasilkan produk biodiesel. Tahapan untuk mensintesis biodiesel adalah sebagai berikut:

1. Minyak sawit sebanyak 250 ml dimasukkan ke dalam reaktor, kemudian ditambahkan metanol sebanyak 64.16 ml (rasio mol metanol/minyak 6:1) dan katalis zeo-basic B sebanyak 6.9 gr (3% dari berat minyak). Perhitungan berat minyak, volume metanol, dan berat katalis yang diperlukan dapat dilihat pada lampiran 1.
2. Reaktor batch kemudian ditutup rapat untuk menghindari hilangnya metanol. Reaktor kemudian dioperasikan pada suhu 60°C dengan kecepatan pengadukan 500 rpm selama 2 jam.
3. Pada reaktor akan terdapat dua larutan yang tidak saling bercampur. Larutan paling bawah adalah gliserol, sedangkan larutan paling atas adalah campuran antara biodiesel, monogliserida, digliserida, dan sisa trigliserida.
4. Pemisahan antara biodiesel dengan gliserol adalah berdasarkan berat jenis menggunakan corong pisah. Biodiesel dicuci menggunakan air hangat untuk menghilangkan gliserol yang terikat serta sabun.
5. Prosedur 1-4 kembali diulangi pada variasi jenis katalis zeo-basic, berat katalis zeo-basic, rasio mol metanol/minyak, suhu reaksi, dan waktu reaksi.



Gambar 3.2. Reaktor Batch

3.4. Karakterisasi Biodiesel

Kromatografi cair berperforma tinggi (*high performance liquid chromatography*, HPLC) merupakan salah satu teknik kromatografi untuk zat cair yang biasanya disertai dengan tekanan tinggi. HPLC memisahkan molekul berdasarkan perbedaan afinitasnya terhadap zat padat tertentu. Cairan yang akan dipisahkan merupakan fasa cair dan zat padatnya merupakan fasa diam (stasioner). Teknik ini sangat berguna untuk memisahkan beberapa senyawa sekaligus karena setiap senyawa mempunyai afinitas selektif antara fasa diam tertentu dan fasa gerak tertentu. Dengan bantuan detektor serta integrator bias didapatkan kromatogram. Kromatogram memuat waktu tinggal serta tinggi puncak suatu senyawa.



Gambar 3.3. HPLC

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan disampaikan dua hal, pertama hasil preparasi katalis zeo-basic yang selanjutnya akan disebut dengan zeobasic, yang kedua adalah hasil analisa produk biodiesel. Hasil preparasi katalis zeo-basic dianalisa menggunakan metode titrasi untuk menghitung banyaknya NaOH terimpregnasi pada zeolit, sedangkan analisa produk biodiesel menggunakan HPLC untuk mengetahui kemampuan katalis zeo-basic melakukan reaksi transesterifikasi pada minyak sawit.

4.1. Hasil Impregnasi NaOH ke dalam Zeolit

Proses impregnasi NaOH pada zeolit merupakan tahapan terakhir dari preparasi katalis. Sebelumnya, dilakukan pencucian, kalsinasi, dealuminasi, dan pertukaran ion. Pencucian zeolit dilakukan dengan merendam zeolit di dalam aquades selama 24 jam. Kalsinasi zeolit dilakukan pada temperatur 400°C selama 2 jam. Dealuminasi zeolit menggunakan larutan HF 1%, dan pertukaran ion menggunakan larutan NH_4Cl 1M. Setelah itu, 100 gr zeolit direndam dalam setiap larutan NaOH dengan konsentrasi berbeda selama 24 jam, kemudian zeolit dicuci, disaring, dan dikeringkan.

Proses titrasi asam basa digunakan untuk menghitung banyaknya NaOH yang terimpregnasi pada setiap 100 gr zeolit. Pada penelitian ini, larutan sisa rendaman NaOH/Zeolit dititrasi menggunakan HCl 1.5M. Hasil dari titrasi ditunjukkan pada tabel 4.1, sedangkan proses perhitungannya pada lampiran 2.

Tabel 4.1. Jumlah NaOH Terimpregnasi pada Zeolit

Jenis Zeo-basic	NaOH awal		NaOH terimpregnasi (%)	Kandungan NaOH/Zeolit (gr/gr)
	gram	mol		
zeobasic A	11.5	0.2875	95.5	0.11
zeobasic B	23	0.575	96.25	0.22
zeobasic C	34.5	0.8625	96.92	0.33

Hasil titrasi menunjukkan bahwa hampir seluruh NaOH terimpregnasi pada zeolit. Semakin banyak NaOH yang dilarutkan pada zeolit maka akan semakin tinggi kandungan NaOH pada zeolit.

4.2. Sintesis Biodiesel Menggunakan Minyak Jarak Pagar Mentah

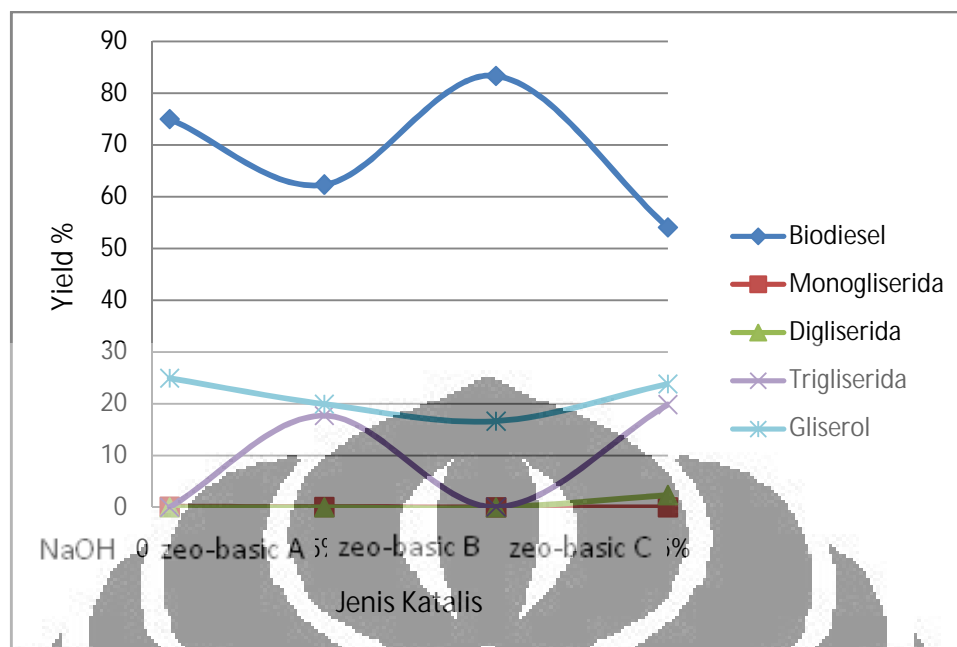
Sintesis biodiesel menggunakan *crude jatropha oil* (CJO/minyak jarak pagar mentah) tidak bisa dilakukan. Peneliti mendapatkan hasil dari reaksi transesterifikasi berupa gumpalan-gumpalan gel. Gumpalan-gumpalan gel ini merupakan sabun yang terbentuk karena banyaknya asam lemak bebas yang terdapat dalam minyak. Selain itu, masih banyaknya pengotor di dalam minyak seperti fosfolipid, wax, dll. Oleh karena itu, diperlukan proses pemurnian minyak jarak pagar seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab 2.3.2 terutama proses degumming dan netralisasi. Pada penggunaan minyak sawit murni (minyak goreng), peneliti mendapatkan hasil sesuai yang diharapkan dengan terbentuknya dua fasa yaitu, gliserol dan campuran antara biodiesel, monogliserida, digliserida, dan trigliserida.

4.3. Pengaruh Jenis Katalis Zeo-Basic Terhadap Yield Biodiesel

Pengaruh dari jenis katalis zeo-basic terhadap yield biodiesel ditunjukkan pada gambar 4.1. Pada variasi ini, setiap jenis katalis zeo-basic menggunakan berat 6.9 gr (3% dari berat minyak) pada suhu reaksi 60°C selama 2 jam menggunakan rasio mol metanol/minyak 6:1. Perhitungan yield untuk setiap komponen dapat dilihat pada lampiran 3.3.1.

Yield biodiesel paling tinggi didapatkan pada katalis zeo-basic B sebesar 83.33%, sedangkan untuk zeo-basic A sebesar 62.31%, dan zeo-basic C sebesar 54.04%. Penurunan yield biodiesel dari 83.33% ke 54.04% disebabkan karena permukaan dari katalis zeo-basic C sudah mencapai ambang batas pada lapisan tunggalnya. Penambahan NaOH yang berlebih akan membentuk beberapa lapisan yang terdesentralisasi pada zeolit. Hal ini akan menyebabkan inti-inti aktif NaOH akan saling menempel karena terbatasnya ruang pada permukaan zeolit sehingga keaktifannya akan berkurang (Richardson, 2009).

Ketika digunakan katalis basa NaOH sebanyak 1.15 gr (0.5% dari berat minyak) didapatkan yield biodiesel sebesar 74.97% lebih kecil daripada katalis zeo-basic B. Hal ini disebabkan karena katalis NaOH bereaksi dengan trigliserida membentuk sabun sebagaimana sudah dijelaskan pada subbab 2.2.1.

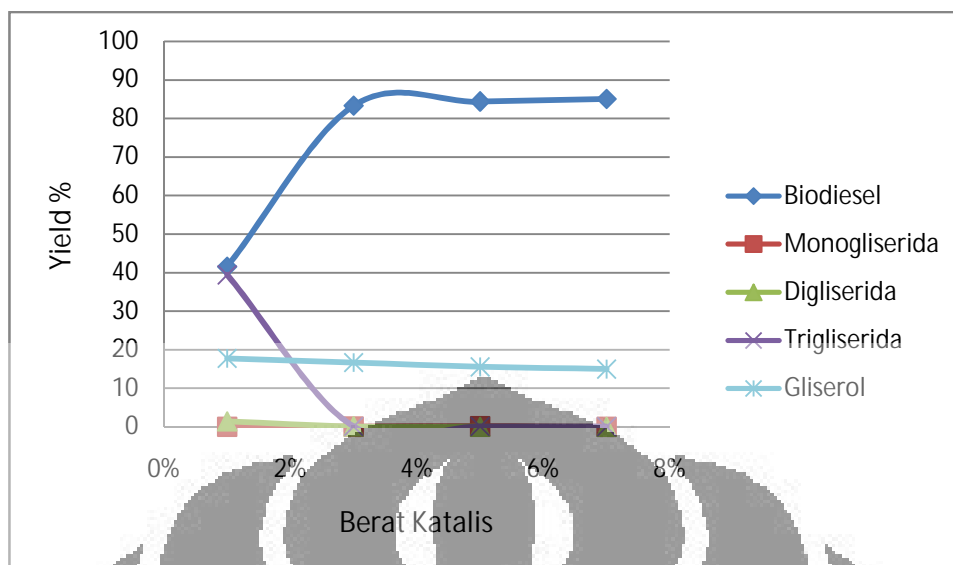


Gambar 4.1. Yield (%) vs Jenis Katalis Zeo-Basic

Peningkatan atau penurunan yield biodiesel akan mempengaruhi jumlah trigliserida, digliserida, dan monogliserida. Gambar 4.1. memperlihatkan bahwa kenaikan yield biodiesel menyebabkan jumlah trigliserida akan turun, sedangkan penurunan yield biodiesel menyebabkan jumlah trigliserida meningkat. Jumlah monogliserida dan digliserida hampir tidak terpengaruh, sedangkan jumlah gliserol yang dihasilkan cenderung stabil.

4.4. Pengaruh Berat Katalis Zeo-Basic Terhadap Yield Biodiesel

Pengaruh dari berat katalis zeo-basic terhadap yield biodiesel dapat dilihat pada gambar 4.2. Berat katalis zeo-basic B yang digunakan dalam persen berat minyak sawit. Pada variasi ini, digunakan katalis zeo-basic B (yield paling tinggi dari gambar 4.1) pada suhu reaksi 60°C selama 2 jam menggunakan rasio mol metanol/minyak 6:1. Perhitungan yield untuk setiap komponen dapat dilihat pada lampiran 3.3.2.



Gambar 4.2. Yield (%) vs Berat Katalis

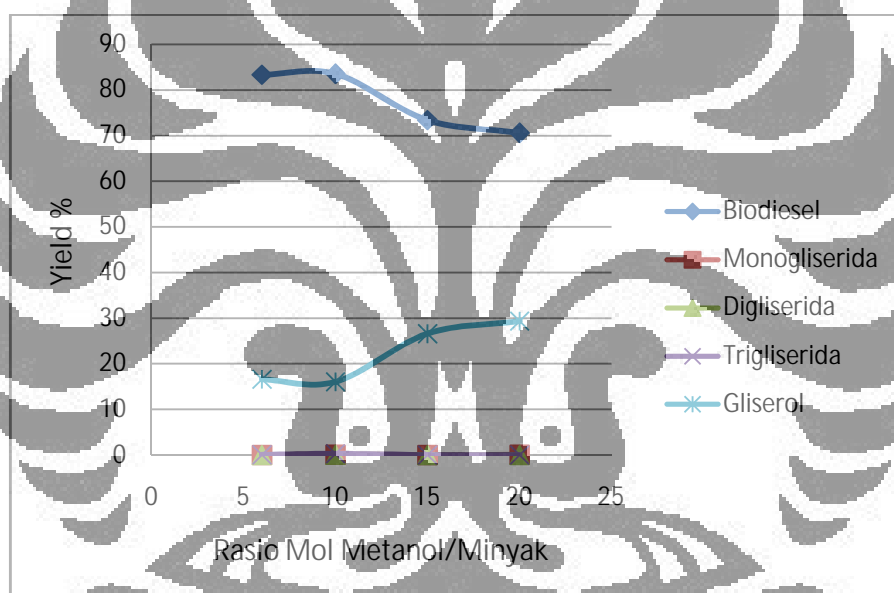
Yield biodiesel akan meningkat seiring dengan peningkatan berat katalis zeo-basic B. Yield biodiesel yang dihasilkan akan meningkat drastis dari 41,53% menjadi 83,33%. Peningkatan yield biodiesel disebabkan karena semakin banyak jumlah katalis yang digunakan maka akan semakin tinggi probabilitas untuk “mempertemukan” trigliserida dengan metanol. Sebagaimana yang kita ketahui, bahwa fungsi dari katalis adalah memperbesar kecepatan reaksinya (mempercepat reaksi) dengan jalan memperkecil energi pengaktifan suatu reaksi. Namun peningkatan ini akan mulai melambat pada 5%. Hal ini disebabkan, karena metanol yang digunakan dalam reaktan, sudah habis bereaksi dengan trigliserida membentuk biodiesel dan gliserol. Sehingga penambahan berat katalis tidak akan meningkatkan yield biodiesel secara signifikan.

Gambar 4.2. memperlihatkan bahwa kenaikan yield biodiesel menyebabkan jumlah trigliserida akan turun. Jumlah monogliserida dan digliserida hampir tidak terpengaruh, sedangkan jumlah gliserol yang dihasilkan cenderung stabil.

4.5. Pengaruh Rasio Mol Metanol/Minyak Terhadap Yield Biodiesel

Pengaruh dari rasio mol metanol/minyak terhadap yield biodiesel dapat dilihat pada gambar 4.3. Pada variasi ini, digunakan katalis zeo-basic B sebanyak 3% dari berat minyak, pada suhu reaksi 60°C selama 2 jam. Perhitungan yield untuk setiap komponen dapat dilihat pada lampiran 3.3.3.

Yield biodiesel akan meningkat seiring dengan meningkatnya rasio mol metanol/minyak. Hal ini dapat dijelaskan menggunakan teori kesetimbangan kimia. Semakin banyak metanol yang digunakan, maka reaksi akan berjalan ke arah produk. Selain itu, semakin banyak metanol yang digunakan, tumbukan antara molekul metanol dengan trigliserida akan sering terjadi membentuk biodiesel dan gliserol. Akan tetapi, setelah melewati rasio 10:1, yield biodiesel akan menurun drastis dari 83.5% menjadi 70.56%. Hal ini disebabkan karena, rasio mol metanol/minyak berpengaruh terhadap distribusi katalis di antara lapisan biodiesel dan gliserol. Rasio mol metanol/minyak 10:1 mengakibatkan katalis zeo-basic lebih tertarik ke dalam lapisan gliserol, sedangkan dengan penggunaan metanol berlebih katalis akan terdistribusi merata dalam lapisan biodiesel dan gliserol (Encinar, 2002).



Gambar 4.3. Yield (%) vs Rasio Mol Metanol/Minyak

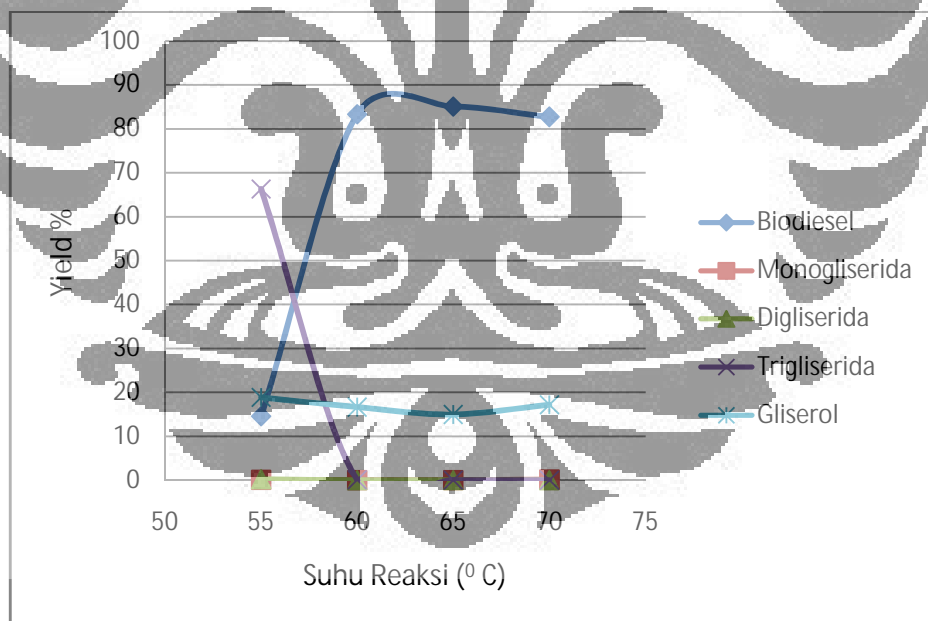
4.6. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Yield Biodiesel

Pengaruh suhu reaksi transesterifikasi terhadap yield biodiesel dapat dilihat pada gambar 4.4. Pada penelitian ini suhu reaksi divariasikan mulai dari 55⁰C, 60⁰C, 65⁰C, dan 70⁰C menggunakan katalis zeo-basic B sebanyak 3% dari berat minyak, dan rasio mol metanol/minyak 6:1 selama 2 jam. Perhitungan yield untuk setiap komponen dapat dilihat pada lampiran 3.3.4.

Yield biodiesel paling tinggi dihasilkan pada saat suhu reaksi 65⁰C yaitu sebesar 85.05%. Peningkatan suhu reaksi mulai dari 55⁰C sampai 65⁰C menyebabkan yield biodiesel yang

dihasilkan meningkat secara drastis, tetapi ketika suhu ditingkatkan menjadi 70°C , yield biodiesel yang dihasilkan justru berkurang. Fenomena ini berkaitan dengan reaksi kesetimbangan, kinetika kimia, dan titik didih metanol.

Peningkatan yield biodiesel disebabkan oleh pengaruh dari aksi-reaksi pada kesetimbangan. Bila pada sistem kesetimbangan suhu dinaikkan, maka kesetimbangan reaksi akan bergeser kearah yang membutuhkan kalor (ke arah reaksi endoterm atau kearah produk). Sebaliknya apabila suhu diturunkan reaksi akan bergerak kearah reaktan. Hal lain yang dapat dijelaskan adalah bahwa semakin tinggi temperatur, berarti semakin banyak energi yang dapat digunakan oleh reaktan untuk mencapai energi aktivasi, sehingga menyebabkan tumbukan terjadi lebih sering diantara molekul-molekul reaktan untuk kemudian melakukan reaksi, sehingga kecepatan reaksi meningkat (yield biodiesel ikut meningkat). Hal ini tidak berlaku pada saat suhu reaksi 70°C . Pada suhu ini yang mempengaruhi yield biodiesel adalah titik didih metanol yang sebesar 65°C . Penggunaan suhu reaksi yang melewati titik didih metanol menyebabkan sebagian metanol akan menguap sehingga tidak terjadi kontak antara metanol dengan trigliserida.



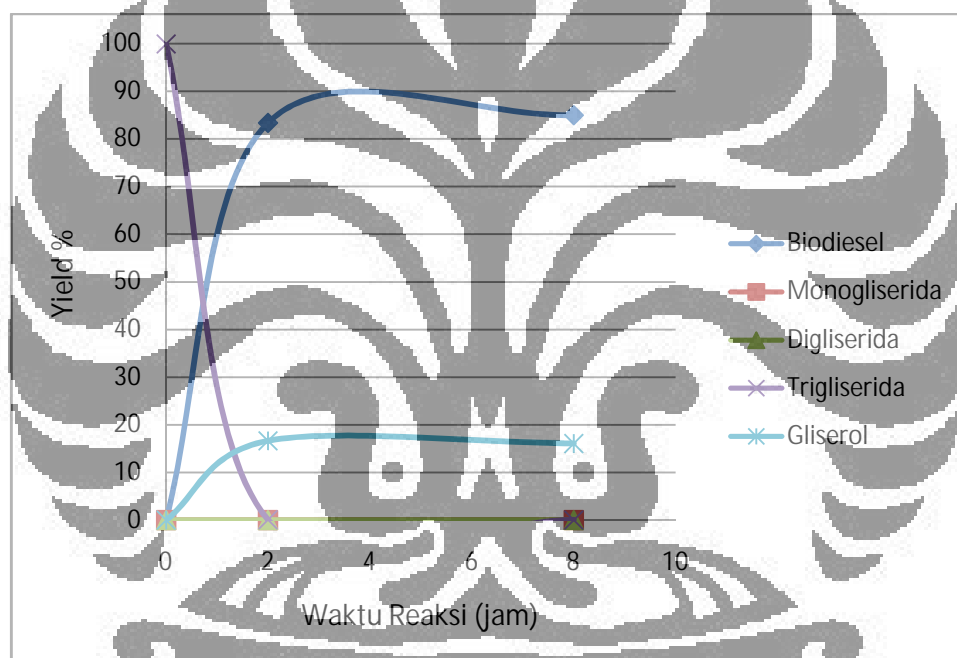
Gambar 4.4. Yield (%) vs Suhu Reaksi

4.7. Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Yield Biodiesel

Pengaruh waktu reaksi transesterifikasi terhadap yield biodiesel dapat dilihat pada gambar 4.5. Pada penelitian ini waktu reaksi divariasikan 2 jam dan 8 jam menggunakan katalis

zeo-basic B sebanyak 3% dari berat minyak, pada suhu 60°C dan rasio mol metanol/minyak 6:1. Perhitungan yield untuk setiap komponen dapat dilihat pada lampiran 3.3.5.

Peningkatan yield biodiesel akan naik secara drastis pada waktu 2 jam. Hal ini disebabkan karena, semakin lama waktu reaksi maka tumbukan antara molekul-molekul reaktan akan semakin sering terjadi, menyebabkan yield biodiesel yang dihasilkan semakin tinggi. Akan tetapi, mulai dari 2 jam hingga 8 jam peningkatan yield biodiesel tidak begitu signifikan yaitu dari 83.33% sampai hanya 84.95%. Hal ini disebabkan, sudah habisnya metanol yang bereaksi dengan trigliserida. Sehingga apabila waktu reaksi ditingkatkan, yield biodiesel yang dihasilkan tidak akan signifikan.



Gambar 4.5. Yield (%) vs Waktu Reaksi

BAB 5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu sebagai berikut:

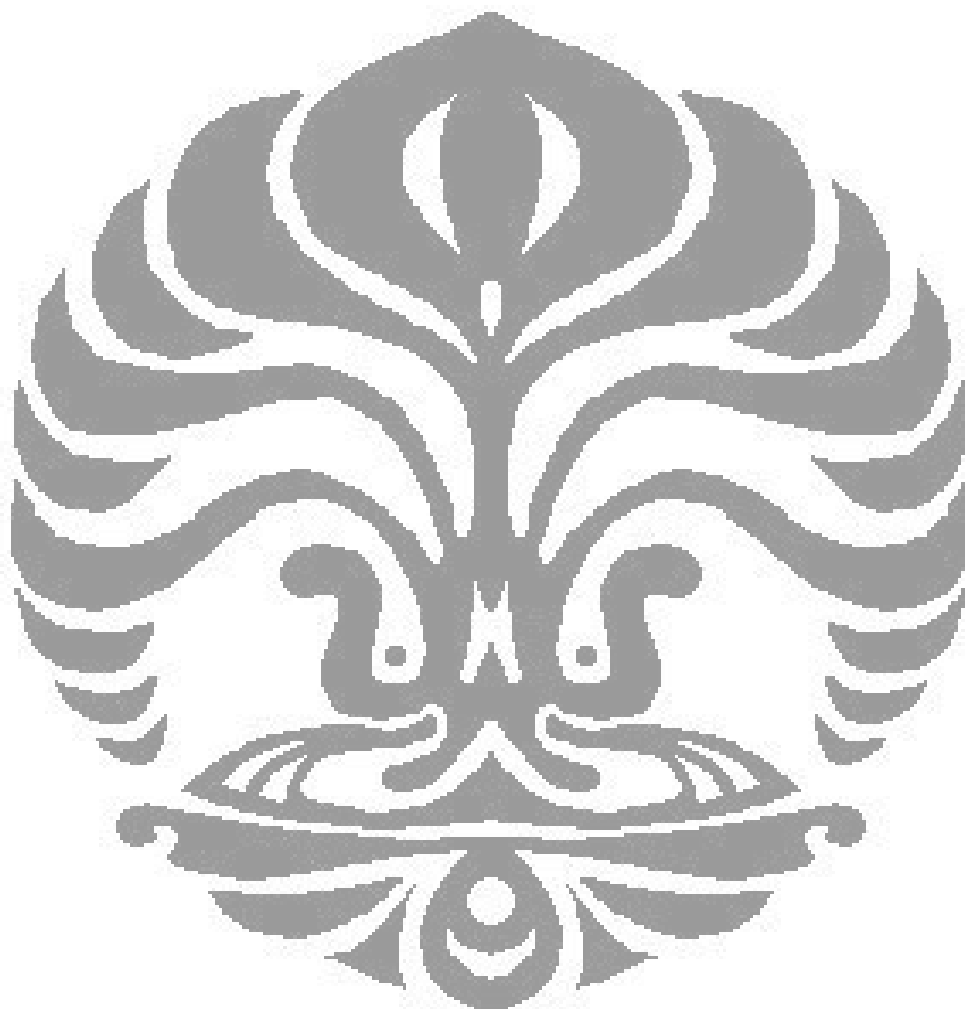
1. *Crude Jatropha Oil* (CJO/minyak jarak pagar mentah) tidak bisa digunakan untuk membuat biodiesel sebelum dilakukan pemurnian terlebih dahulu melalui proses degumming dan netralisasi.
2. Katalis zeo-basic B pada suhu 60°C selama 2 jam dengan rasio mol metanol/minyak 6:1 sebanyak 7% dari berat minyak, dapat menghasilkan yield biodiesel sebesar 89.24%.
3. Alkohol teknis dapat digunakan sebagai reaktan dalam kondisi tertutup pada reaksi transesterifikasi.
4. Pengamatan secara fisik memperlihatkan tidak adanya produk samping berupa sabun yang terbentuk pada saat penggunaan katalis heterogen NaOH/Zeolit.
5. Peningkatan rasio mol metanol/minyak (dari 6:1 ke 10:1) dapat meningkatkan yield biodiesel, namun tidak begitu signifikan, justru penambahan lebih lanjut (15:1, dan 20:1) dapat menurunkan yield biodiesel.
6. Suhu reaksi transesterifikasi 65°C menghasilkan yield biodiesel paling tinggi.
7. Lamanya waktu reaksi transesterifikasi tidak begitu mempengaruhi jumlah yield biodiesel yang dihasilkan.

DAFTAR REFERENSI

- Amish, P. Vyas, N. Subrahmanyam, dan Payal A. Patel. (2008). Production of Biodiesel through Transesterification of Jatropha Oil Using $\text{KNO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ Solid Catalyst. *Journal Elsevier*, 88, 625-628.
- Ardiyanti, A. R., Utomo, J., Chandra, G., dan Koharudin. (2003). *Pengaruh Kejenuhan Minyak, Jenis, dan Jumlah Katalis Basa NaOH, K_2CO_3 , serta Jenis dan Jumlah Alkohol (Metanol dan Etanol) pada Produksi Biodiesel*. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia. Yogyakarta.
- Azis, I. (2005). *Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk dan Uji Performance Biodiesel pada Mesin Diesel*. Tesis diajukan kepada Fakultas Pasca Sarjana UGM. Yogyakarta.
- Boedoyo, M. Sidik. (2008). *Teknologi Proses Pencampuran Biodiesel dan Minyak Solar di Indonesia*. http://www.geocities.com/markal_bppt/publish/biofbm/biboed.pdf.
- Bo, Xu, Xiao Guomin, Cui Lingfeng, Wei Ruiping, dan Gao Lijing. (2007, November 3). Transesterification of Palm Oil with Methanol to Biodiesel over a $\text{KF}/\text{Al}_2\text{O}_3$ Heterogeneous Base Catalyst. *Energy Fuels*, 21 (6), 3109-3112. February 18, 2009. <http://pubs.acs.org>.
- Boudart, M. & Bell A.T. (1987). *Catalyst Design*. New York: Wiley Interscience Publication.
- Breck, D.W. (1974). *Zeolite Molecular Sieve*. New York: Wiley Interscience.
- Briggs, Michael S; Joseph Pearson, dan Dr. Ilhab H. Farag. (2005). Paper presented at NHSTA Annual Conference, New Hampshire.
- Encinar, J. M., Gonzales J. F., Rodriguez, J. J., dan Tejedor A. (2002). Biodiesel Fuels from Vegetable Oils: Transesterification of *Cyanara Cardunculus* L. Oils with Ethanol. *Energy Fuels*, 16, 443-450.
- Fukuda, Hideki, Akihiko Kondo, dan Hideo Noda. (2001). Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92, 405-416.
- Hardjono, A. (2000). *Teknologi Minyak Bumi*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Jordan, V, dan B. Gutche. (2001). Development of an Enviromentally Benign Process for the Production of Fatty Acid Methyl Esters. *Journal Elsevier*, 43.

- Las, Dr. Thamzil. (2005). *Potensi Zeolit untuk Mengolah Limbah Industri dan Radioaktif*. www.batan.co.id.
- Lowell, S. and J.E. Shields. (1984). *Powder Surface Area and Porosity*. New York: Chapman and Hall.
- Pertiwi, Asri & Setiadi. (2007). *Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam untuk Konversi Senyawa ABE Menjadi Hidrokarbon*. <http://staff.ui.ac.id/internal/131668156/publikasi/MakalahC-8-MKICS-Semarang-April-07.pdf>.
- Purwono, S., Yulianto, N., Pasaribu, R. (2003). *Biodiesel dari Minyak Kelapa*. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia. Yogyakarta.
- Richardson, James T., (1989). *Principles of Catalyst Development*. New York: Plenum Press.
- Sarin, Rakesh, Meeta Sharma, S. Sinharay, dan R.K. Malhotra, (2006). Jatropha-Palm Biodiesel Blends: An Optimum Mix for Asia. *Journal Elsevier*, 86, 1365-1371.
- Satterfield, Charles N., (1991). *Heterogeneous Catalyst in Industrial Practice*. USA: Mc Graw Hill Inc.
- Setyawan, P. Handoko. (2002). Pengaruh Perlakuan Asam, Hidrotermal, dan Impregnasi Logam Kromium pada Zeolit Alam dalam Preparasi Katalis. *Jurnal Ilmu Dasar*, 3, 103-109. www.mipa.unej.ac.id/data/vol3no2/iwan.pdf.
- Setyawardhani, A., S. (2003). *Metanolisis Asam Lemak dari Minyak Kacang Tanah untuk Pembuatan Biodiesel*. Tesis diajukan kepada Fakultas Pasca Sarjana UGM. Yogyakarta.
- Setyoko, Hanif Adhi. (2008, Desember). *Sintesis Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi Minyak Sawit Menggunakan Katalis Heterogen KOH/Zeolit*. Skripsi diajukan kepada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia UI. Depok.
- Singh, Alok Kumar & Sandun D. Fernando. (2008, May 2). Transesterification of Soybean Oil Using Heterogeneous Catalysts. *Energy Fuels*, 22 (3), 2067-2069. February 18, 2009. <http://pubs.acs.org>.
- Sudradjat, Prof. Dr. H.R. (2006). *Memproduksi Biodiesel Jarak Pagar*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Surono & Batti. (1980). Spesifikasi Solar dan Pengaruhnya Terhadap Performans Motor. *Lembaran Publikasi PPTMGB-Lemigas*, 2, 31-42.
- Tarigan, Juliati Br., S.Si, M.Si. (2002). *Ester Asam Lemak*. Tesis diajukan kepada Fakultas MIPA Jurusan Kimia USU. Sumatera Utara.

- Widyastuti, Luciana. (2007). *Reaksi Metanolisis Minyak Biji Jarak Pagar Menjadi Metil Ester Sebagai Bahan Bakar Pengganti Minyak Diesel dengan Menggunakan Katalis KOH*. Skripsi diajukan kepada Fakultas MIPA Jurusan Kimia UNNES. Semarang.
- Xie, W, Huang X. (2006). Soybean oil Methyl Esters Preparation Using NaX Zeolites Loaded with KOH. *Journal School of Chemistry and Chemical Engineering*, 936-939.



LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Perhitungan Jumlah Reaktan yang Diperlukan

Berat molekul minyak sawit = 888.23 g/mol

Volume minyak sawit = 250 ml

Massa jenis minyak sawit = 0.91 g/ml

Massa jenis metanol = 0.79 g/ml

Berat molekul metanol = 32 g/mol

I. Berat dan Mol Minyak Sawit

Berat minyak sawit = volume x massa jenis
= 250 ml x 0.91 g/ml
= 227.5 g

Mol minyak sawit = berat/berat molekul
= 227.5 g / 888.23 g/mol
= 0.256 mol

II. Volume Metanol

- Rasio mol metanol = 6:1

Mol metanol = 6 x mol minyak
= 6 x 0.256 mol
= 1.536 mol

Berat metanol = mol x berat molekul
= 1.536 mol x 32 g/mol
= 49.152 mol

Volume Metanol = berat / massa jenis
= 49.152 g / 0.79 g/ml
= 62.2 ml

LAMPIRAN 2

Metode Titrasi untuk Menentukan Jumlah NaOH Terimpregnasi

Asam klorida 1.5M digunakan untuk menitrasi larutan hasil rendaman NaOH/Zeolit.

Tabel 2.1. Hasil Titrasi HCl pada Larutan Sisa Perendaman NaOH/Zeolit

Jenis Zeolit	NaOH awal (gr)	mol NaOH awal	Volume Titrasi HCl 1.5M (ml)	mol NaOH akhir	mol NaOH pada zeolit	NaOH pada Zeolit (gr)	NaOH terimpregnasi (%)
Zeobasic A	11.5	0.2875	8.7	0.013	0.2745	10.98	95.46
			8.3	0.012	0.2755	11.00	95.67
Zeobasic B	23	0.575	14.2	0.021	0.554	22.15	96.30
			14.5	0.022	0.553	22.13	96.22
Zeobasic C	34.5	0.8625	17.8	0.027	0.8355	33.43	96.90
			17.6	0.026	0.8365	33.44	96.94

Mol NaOH akhir dihitung menggunakan persamaan 1 di bawah ini. Sedangkan mol NaOH pada zeolit didapatkan dengan mengurangi nilai mol NaOH awal dengan mol NaOH akhir. Banyak NaOH yang terimpregnasi dapat diketahui dengan mengalikan mol NaOH pada zeolit dengan berat molekulnya seperti ditunjukkan pada persamaan 2. Untuk mengetahui kandungan NaOH pada setiap 100 gr zeolit digunakan persamaan 3.

$$M_1 V_1 = M_2 V_2 \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

M_1 = konsentrasi HCl

V_1 = volume titrasi HCl

$M_2 V_2$ = mol NaOH akhir

$$\text{Berat NaOH pada zeolit} = \text{mol NaOH pada zeolit} \times 40 \text{ g/mol} \dots \dots (2)$$

$$\text{Kandungan NaOH pada zeolit} \left(\frac{\text{gr}}{\text{gr}} \right) = \frac{\text{berat NaOH pada zeolit (gr)}}{100 \text{ gr zeolit}} \dots \dots (3)$$

LAMPIRAN 3

Perhitungan Yield Biodiesel

3.1. Data luas area dan konsentrasi standar HPLC

Tabel 3.1. Luas area dan konsentrasi standar yang digunakan

Zat	Luas Area	Konsentrasi mg/l
Trigliserida	962721	1
Digliserida	1148940	1
Monogliserida	8350991	1
Biodiesel	138413	10



Gambar 3.1. Standar Biodiesel HPLC

3.2. Pengolahan data menggunakan interpolasi standar

Berikutnya adalah melakukan interpolasi terhadap luas area yang diperoleh dari percobaan terhadap luas area standar yang digunakan. Interpolasi dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi sampel secara akurat. Interpolasi dilakukan dengan persamaan 4 dibawah ini.

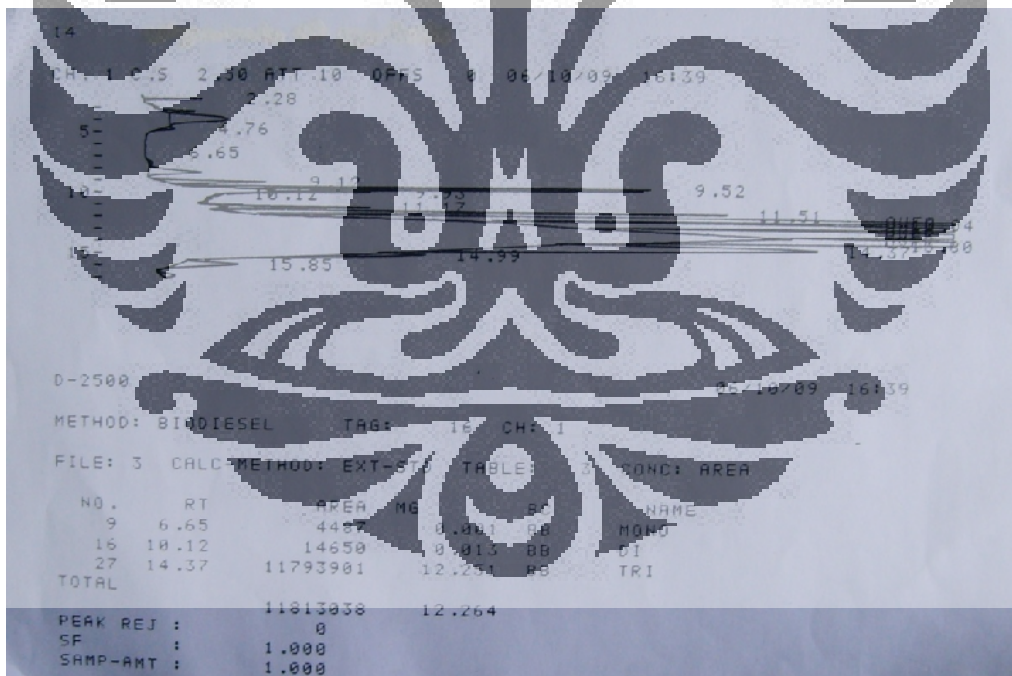
$$\text{Konsentrasi Sampel (mg)} = \frac{\text{Luas Area Sampel}}{\text{Luas Area Standar}} \times \text{Konsentrasi Standar (mg)} \dots\dots(4)$$

3.3. Perhitungan Yield (%)

Dari data hasil HPLC untuk minyak sawit murni (gambar 3.2), didapatkan bahwa hampir seluruh komponen penyusunnya adalah trigliserida, seperti ditunjukkan pada tabel 3.2. Sehingga untuk perhitungan selanjutnya, diasumsikan kandungan trigliserida dalam minyak sawit 100% sehingga berat trigliserida sama dengan berat minyak sawit yaitu sebesar 227.5 gr.

Tabel 3.2. Komponen Penyusun Minyak Sawit

Minyak Sawit Murni			
Zat	Luas Area	Konsentrasi (mg)	Kandungan (%)
T	11793901	12.3	99.9
D	14650	0.0	0.1
M	4487	0.0	0.0
B	0	0	0



Gambar 3.2. Hasil Analisa HPLC pada Minyak Sawit Murni

Reaksi transesterifikasi menghasilkan produk samping berupa gliserol yang dapat mempengaruhi yield biodiesel. Tabel 3.3 menunjukkan jumlah gliserol yang terbentuk pada setiap variasi yang dilakukan.

Tabel 3.3. Jumlah Gliserol dari Setiap Sampel

massa jenis gliserol = 1.26 g/ml				
sampel	volume gliserol (ml)	berat gliserol (gr)	trigliserida awal (gr)	trigliserida awal-gliserol (gr)
1	45	56.7	227.5	170.8
2	36	45.36	227.5	182.14
3	30	37.8	227.5	189.7
4	43	54.18	227.5	173.32
5	32	40.32	227.5	187.18
6	28	35.28	227.5	192.22
7	27	34.02	227.5	193.48
8	29	36.54	227.5	190.96
9	48	60.48	227.5	167.02
10	53	66.78	227.5	160.72
11	34	42.84	227.5	184.66
12	27	34.02	227.5	193.48
13	31	39.06	227.5	188.44
14	30	37.8	227.5	189.7
15	28	35.28	227.5	192.22
16	27	34.02	227.5	193.48

Mula-mula untuk menghitung persen yield harus diketahui terlebih dahulu berat masing-masing komponen menggunakan persamaan 5-8. Nilai konsentrasi untuk setiap komponen dicari menggunakan persamaan 4 seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Setelah berat untuk setiap komponen telah diketahui, perhitungan persen yield dilakukan menggunakan persamaan 9-13 untuk setiap sampel. Tabel 3.4 memberikan contoh perhitungan persen yield pada sampel 1 untuk setiap komponen.

$$\text{berat } B = \frac{\text{konsentrasi } B}{\text{konsentrasi } T+D+M+B} \times (\text{berat trigliserida awal} - \text{gliserol}) \dots\dots(5)$$

$$\text{berat } M = \frac{\text{konsentrasi } M}{\text{konsentrasi } T+D+M+B} \times (\text{berat trigliserida awal} - \text{gliserol}) \dots\dots(6)$$

$$\text{berat } D = \frac{\text{konsentrasi } D}{\text{konsentrasi } T+D+M+B} \times (\text{berat trigliserida awal} - \text{gliserol}) \dots\dots(7)$$

$$\text{berat } T = \frac{\text{konsentrasi } T}{\text{konsentrasi } T+D+M+B} \times (\text{berat trigliserida awal} - \text{gliserol}) \dots\dots(8)$$

$$\% \text{ yield } B = \frac{\text{berat } B}{227.5} \times 100 \dots\dots\dots(9)$$

$$\% \text{ yield } M = \frac{\text{berat } M}{227.5} \times 100 \dots\dots\dots(10)$$

$$\% \text{ yield } D = \frac{\text{berat } D}{227.5} \times 100 \dots\dots\dots(11)$$

$$\% \text{ yield (sisa)} T = \frac{\text{berat } T}{227.5} \times 100 \dots\dots\dots(12)$$

$$\% \text{ yield } G = \frac{\text{berat } G}{227.5} \times 100 \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan:

B = biodiesel ; M = monogliserida; D = digliserida; T = trigliserida; G = gliserol

Tabel 3.4. Perhitungan persen yield pada sampel 1

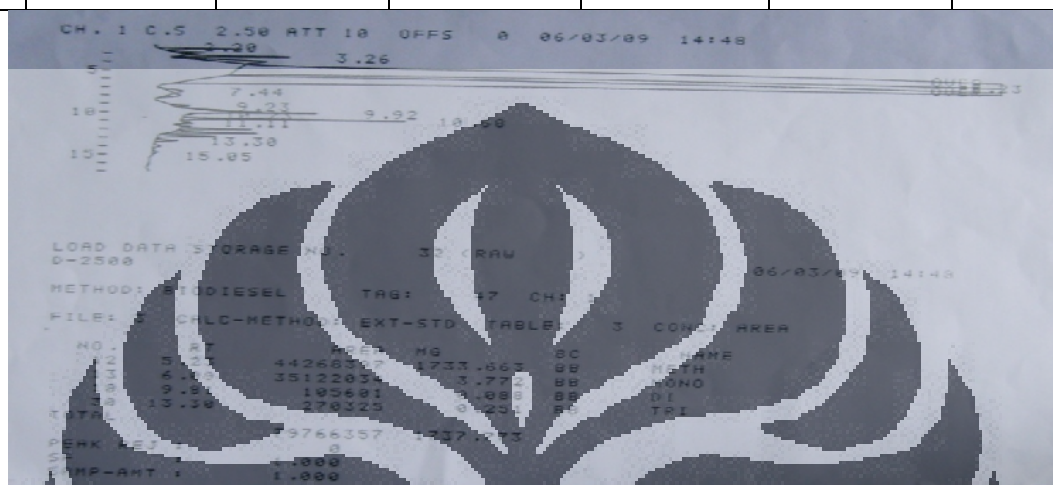
Zat	sampel 1				
	Luas Area	Konsentrasi (ng)	konsentrasi sampel/total	Massa (gr)	Yield (%)
T	270325	0.28	0.00	0.01	0.01
D	105601	0.09	0.00	0.00	0.00
M	35122034	4.21	0.00	0.22	0.10
B	44268397	3198.28	1.00	170.56	74.97
G				56.70	24.92

3.3.1. Perhitungan Yield pada Variasi Jenis Katalis

Tabel 3.5. Nilai Yield pada Variasi Jenis Katalis

JENIS KATALIS

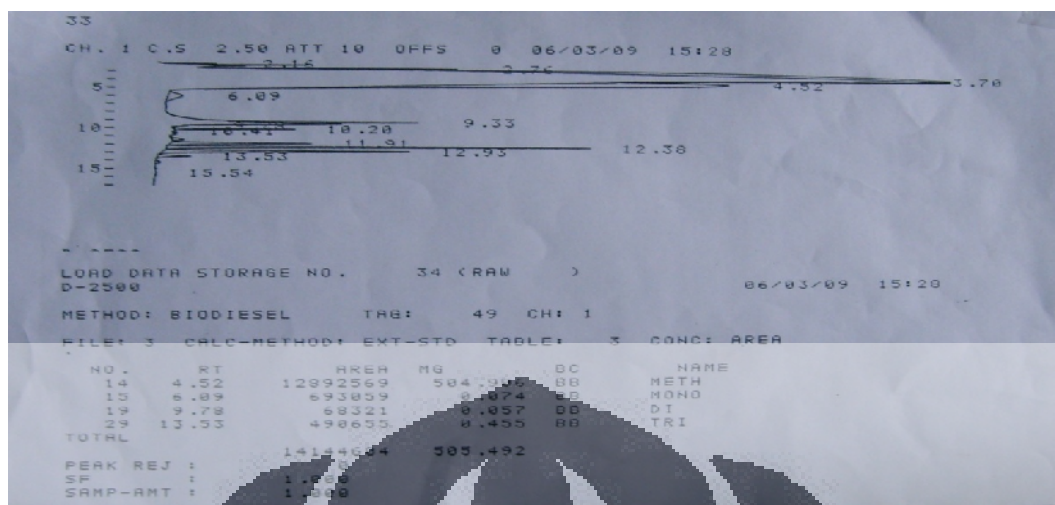
sampel	jenis katalis	yield B (%)	yield M (%)	yield D (%)	yield T (%)	yield G (%)
1	NaOH	74.97	0.1	0	0.01	24.92
2	zeo-basic A	62.31	0.05	0.01	17.69	19.94
3	zeo-basic B	83.33	0.01	0.01	0.05	16.62
4	zeo-basic C	54.04	0.01	2.31	19.83	23.82



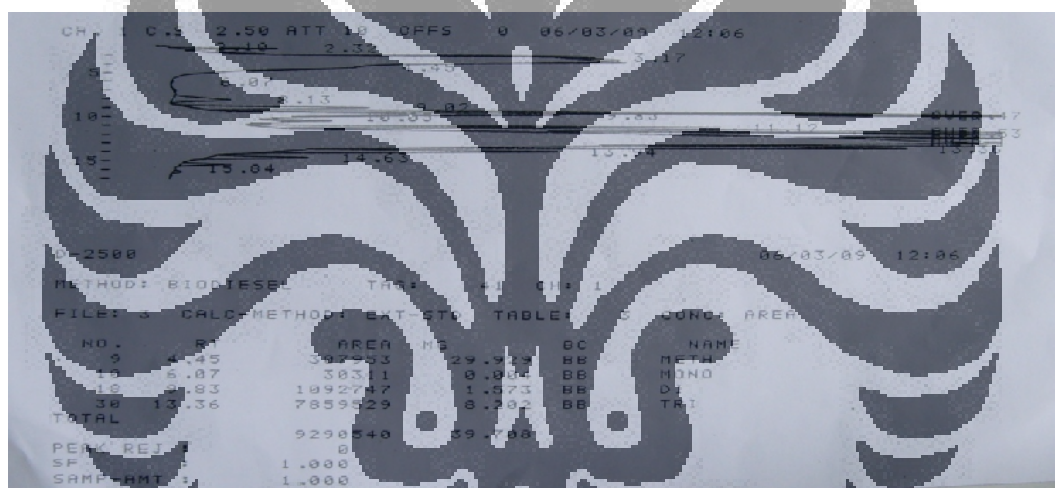
Gambar 3.3. Katalis Basa NaOH (sampel 1)



Gambar 3.4. Katalis Heterogen Zeo-basic A (sampel 2)



Gambar 3.5. Katalis Heterogen Zeo-basic B (sampel 3)

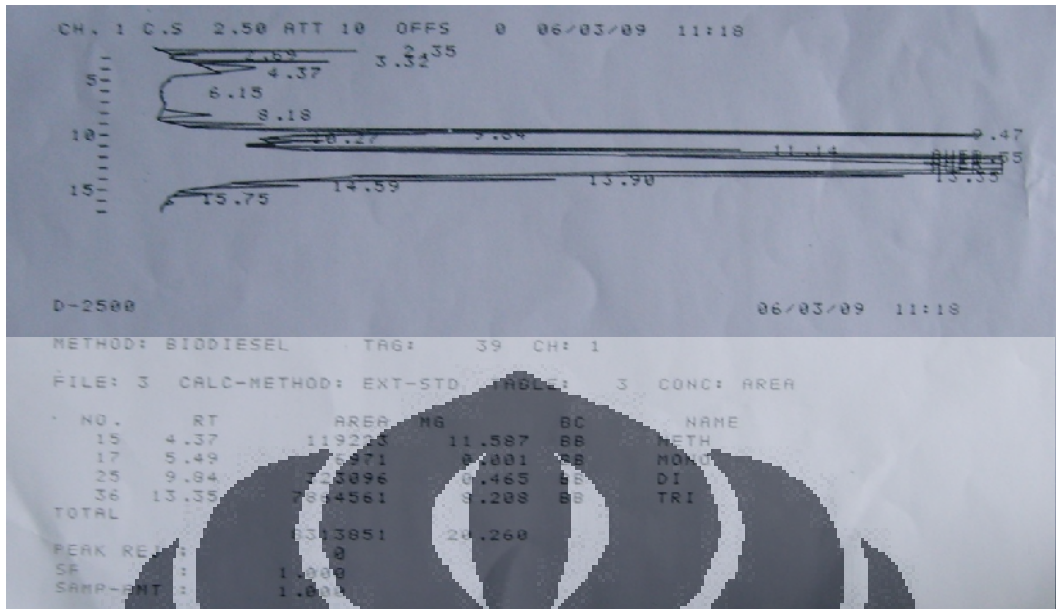


Gambar 3.6. Katalis Heterogen Zeo-basic C (sampel 4)

3.3.2. Perhitungan Yield pada Variasi Berat Katalis

Tabel 3.6. Nilai Yield pada Variasi Berat Katalis Zeo-basic B

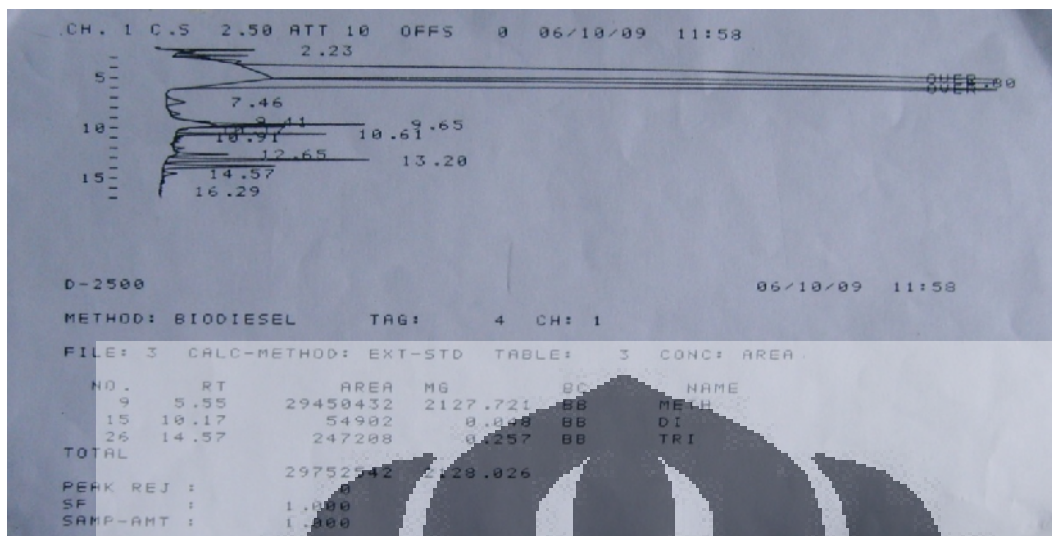
BERAT KATALIS						
sampel	berat katalis	yield B (%)	yield M (%)	yield D (%)	yield T (%)	yield G (%)
5	1%	41.53	0	1.36	39.39	17.72
3	3%	83.33	0.01	0.01	0.05	16.62
6	5%	84.33	0.1	0	0.06	15.51
7	7%	85.03	0	0	0.01	14.95



Gambar 3.7. Berat Katalis Zeo-basic B 1% (sampel 5)



Gambar 3.8. Berat Katalis Zeo-basic B 5% (sampel 6)



Gambar 3.9. Berat Katalis Zeo-basic B 7% (sampel 7)

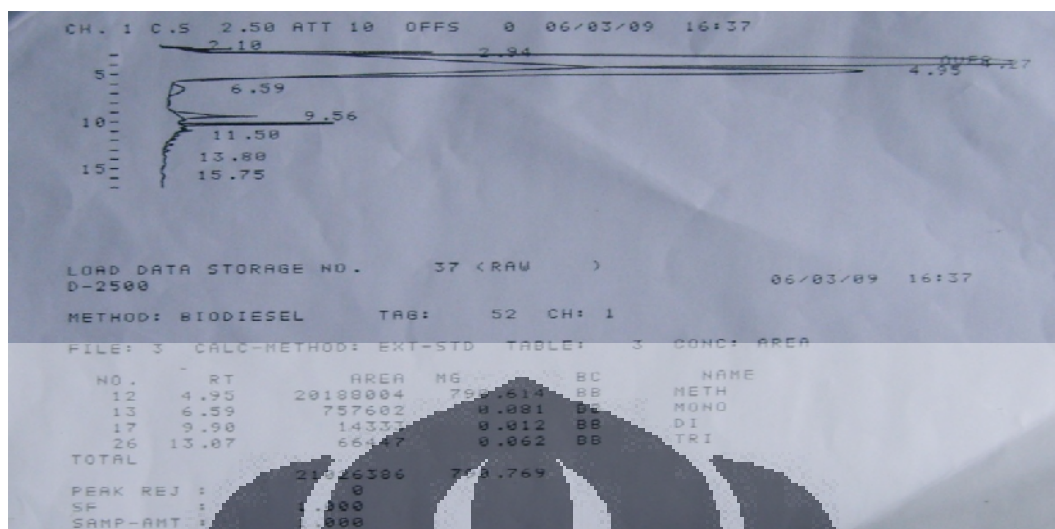
3.3.3. Perhitungan Yield pada Variasi Rasio Mol Metanol/Minyak

Tabel 3.7. Nilai Yield pada Variasi Rasio Mol Metanol/Minyak

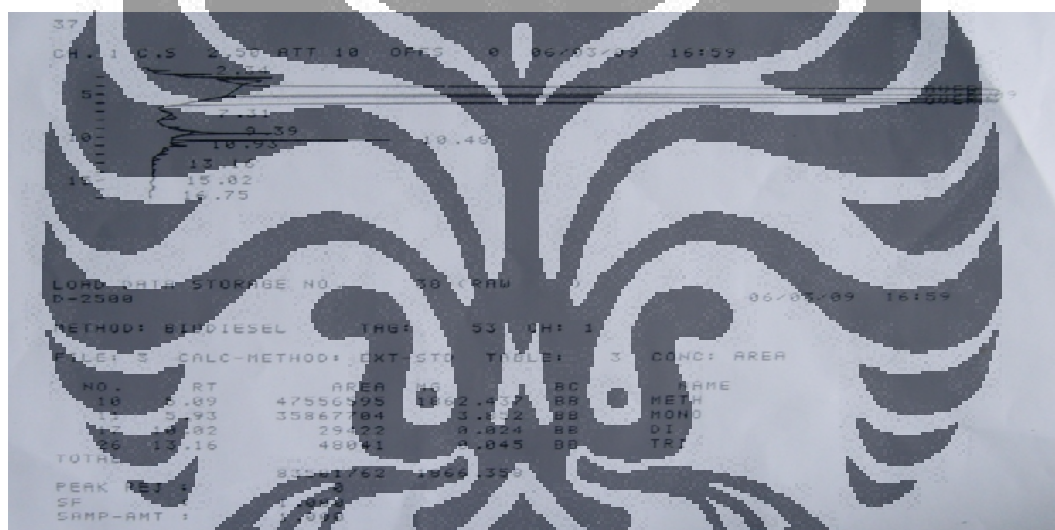
RASIO MOL METANOL						
sampe l	rasio mol metanol/minya k	yield B (%)	yield M (%)	yield D (%)	yield T (%)	yield G (%)
3	6	83.33	0.01	0.01	0.05	16.62
8	10	83.5	0.09	0.08	0.28	16.06
9	15	73.41	0	0	0	26.58
10	20	70.56	0.09	0	0	29.35



Gambar 3.10. Rasio Mol Metanol/ Minyak 10:1 (sampel 8)



Gambar 3.11. Rasio Mol Metanol/ Minyak 15:1 (sampel 9)

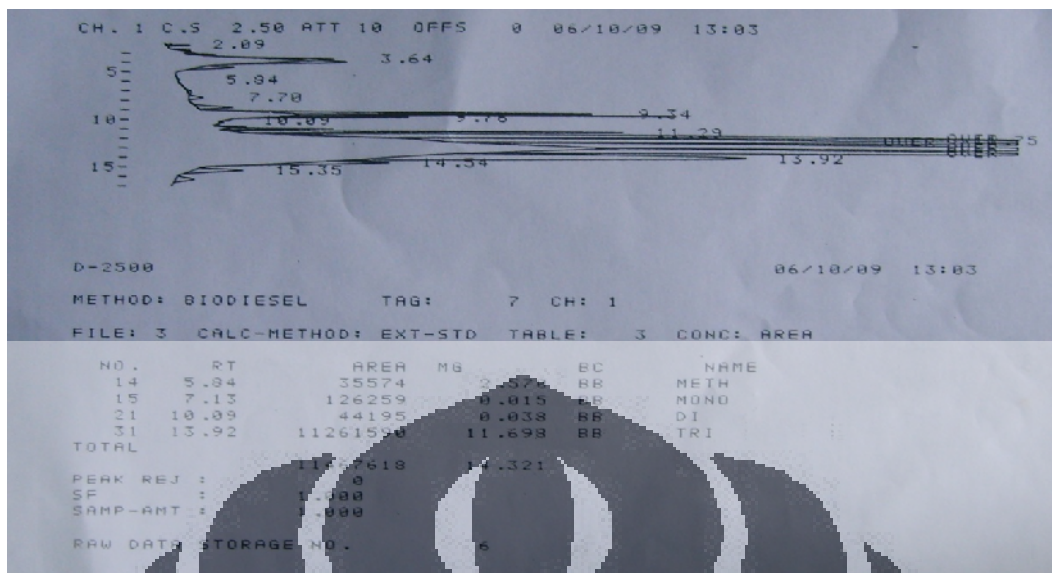


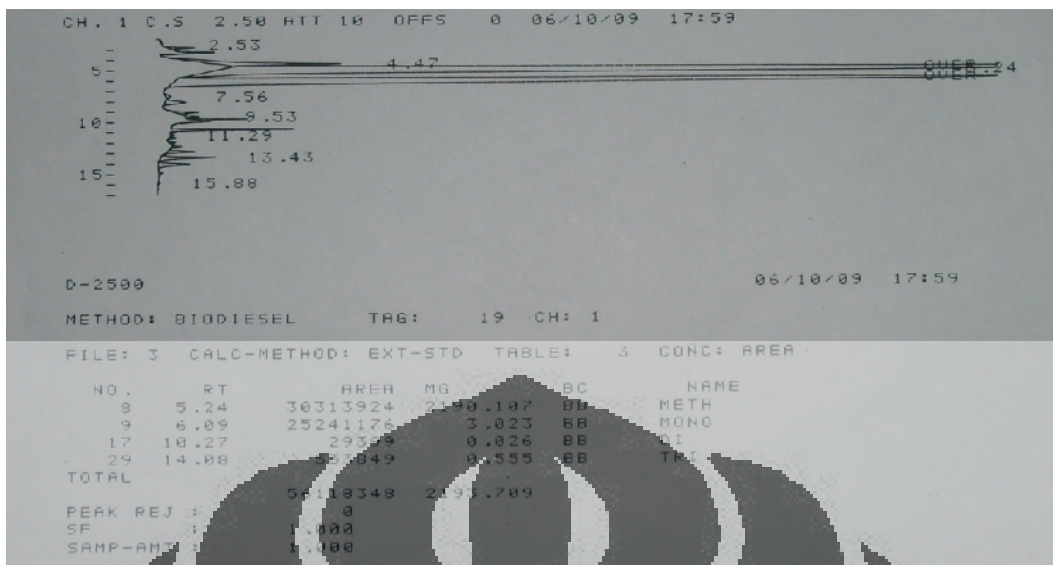
Gambar 3.12. Rasio Mol Metanol/ Minyak 20:1 (sampel 10)

3.3.4. Perhitungan Yield pada Variasi Suhu Reaksi

Tabel 3.8. Nilai Yield pada Variasi Suhu Reaksi

SUHU REAKSI (SAMPEL 11-13)						
sampe 1	suhu reaksi (C)	yield B (%)	yield M (%)	yield D (%)	yield T (%)	yield G (%)
11	55	14.57	0.09	0.22	66.3	18.83
3	60	83.33	0.01	0.01	0.05	16.62
12	65	85.05	0	0	0	14.95
13	70	82.69	0.11	0	0.02	17.17

Gambar 3.13. Suhu Reaksi 55⁰C (sampel 11)Gambar 3.14. Suhu Reaksi 65⁰C (sampel 12)

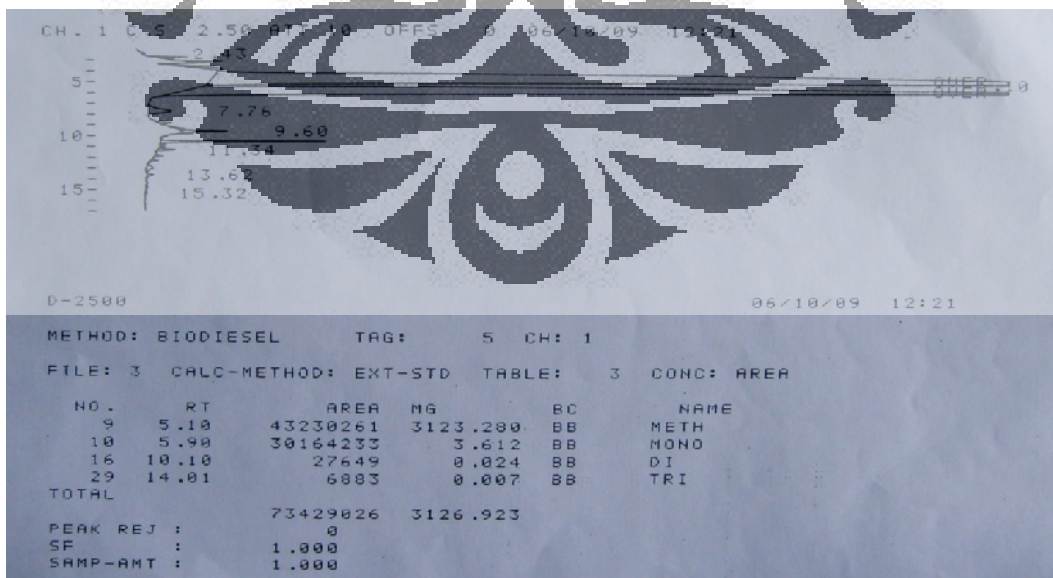


Gambar 3.15. Suhu Reaksi 70⁰C (sampel 13)

3.3.5. Perhitungan Yield pada Variasi Waktu Reaksi

Tabel 3.9. Nilai Yield pada Variasi Waktu Reaksi

WAKTU REAKSI						
Sampe l	waktu reaksi (jam)	yield B(%)	yield M (%)	yield D (%)	yield T (%)	yield G (%)
-	0	0	0	0	99.9	0
3	2	83.33	0.01	0.01	0.05	16.62
16	8	84.95	0.01	0	0	16.06



Gambar 3.16. Waktu Reaksi 8 jam (sampel 16)

