



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PREPARASI NaOH/ZEOLIT SEBAGAI KATALIS  
HETEROGEN UNTUK SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK  
GORENG SECARA TRANSESTERIFIKASI**

**SKRIPSI**

**ANTHONY SATRIYO UTOMO  
0806367790**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PREPARASI NaOH/ZEOLIT SEBAGAI KATALIS  
HETEROGEN UNTUK SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK  
GORENG SECARA TRANSESTERIFIKASI**

**SKRIPSI**

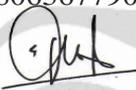
**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**ANTHONY SATRIYO UTOMO  
0806367790**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

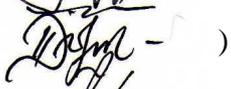
**Nama** : ANTHONY SATRIYO UTOMO  
**NPM** : 0806367790  
**Tanda Tangan** :   
**Tanggal** : 27 JUNI 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Anthony Satriyo Utomo  
NPM : 0806367790  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Preparasi NaOH/Zeolit sebagai Katalis Heterogen untuk Sintesis Biodiesel dari Minyak Goreng secara Transesterifikasi

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Rita Arbianti, M. Si (  )  
Penguji : Dr. Eng. Muhamad Sahlan, S.Si., M.Eng. (  )  
Penguji : Dianursanti, ST. MT (  )  
Penguji : Ir. Setiadi, M. Eng (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya tugas seminar ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Dalam penyusunan makalah seminar ini, penulis banyak mendapat bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
2. Ibu Ir. Rita Arbianti, M.Si selaku dosen pembimbing dalam tugas ini. Terima kasih atas segala bantuan serta diskusinya.
3. Bapak Dr. Heri Hermansyah, ST, M.Eng selaku kepala team reserch bioproses. Terima kasih atas segala bantuan serta diskusinya.
4. Ibu Ir. Dianursanti M.T. selaku Kepala Laboratorium Bioproses.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko, M.Eng, Dr. Eng. Muhamad Sahlan, S.Si, M. Eng, Ibu Tania Surya Utami, S.T., M.T. atas dukungan moril dan semangat yang diberikan.
6. Orang tua tercinta yang telah memberikan kasih sayang, perhatian, doa, dan dukungan setiap saat.
7. Iin Indriani yang telah memberi banyak dukungan dan semangat selama ini.
8. Teman-teman yang telah banyak memberikan dukungan selama ini.
9. Pihak-pihak lainnya yang membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan tugas seminar ini. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat penulis harapkan untuk memperbaiki penulisan di masa yang akan datang.

Depok, Juni 2011

Anthony Satriyo Utomo

0 8 0 6 3 6 7 7 9 0

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

---

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

Nama : Anthony Satriyo Utomo  
NPM : 0806367790  
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 :

**“PREPARASI NaOH/ZEOLIT SEBAGAI KATALIS HETEROGEN  
UNTUK SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK GORENG SECARA  
TRANSESTERIFIKASI”**

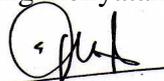
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 27 Juni 2011

Yang menyatakan



(Anthony Satriyo Utomo)

## ABSTRAK

Nama : Anthony Satriyo Utomo  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Preparasi NaOH/Zeolit sebagai Katalis Heterogen untuk Sintesis Biodiesel dari Minyak Goreng secara Transesterifikasi.

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang sedang dikembangkan. Secara konvensional pembuatan biodiesel disintesis melalui reaksi transesterifikasi dengan menggunakan katalis homogen. Tetapi penggunaan katalis homogen menimbulkan beberapa masalah, seperti sulitnya proses pemurnian produk biodiesel yang didapat sehingga biaya produksinya pun akan tinggi. Masalah tersebut dapat diatasi dengan menggunakan katalis heterogen, seperti zeolit. Zeolit alam lampung yang digunakan diimpregnasi dengan larutan NaOH 0,5M, 0,75M dan 1M. Kandungan terbesar NaOH yang teradsorpsi ke zeolit sebesar 0,55 g. Teknik transesterifikasi ini menggunakan bahan baku minyak goreng murni yang dilakukan secara batch. % yield yang dihasilkan dengan menggunakan zeolit yang diimpregnasi dengan larutan NaOH adalah sebesar 53,84% dan batas optimal % yield optimal yang didapatkan adalah dengan menggunakan 5% wt katalis NaOH/Zeolit yang menggunakan konsentrasi larutan NaOH 1M, dari total substrat yang digunakan.

Kata kunci :  
Biodiesel, Transesterifikasi, Impregnasi, Zeolit.

## ABSTRACT

Name : Anthony Satriyo Utomo  
Major : Chemical Engineering  
Title : Preparation of NaOH/Zeolite as Heterogenous Catalyst for Biodiesel Synthesis from Cooking Oil by Transesterification.

Biodiesel is one alternative fuel that is being developed. In the conventional, Synthesized of biodiesel by transesterification reactions using homogeneous catalysts. But the uses of homogeneous catalysts have some problems, such as the difficult process of purification of biodiesel products, so the production costs would be high. These problems can be hadled by using heterogeneous catalysts, such as zeolite. Lampung's natural zeolites are used will be impregnated with a solution of 0.5 M NaOH, 0.75 M NaOH and 1M NaOH. Largest content of NaOH is beeing adsorp into the zeolite is 0.55 g. This transesterification technique using raw materials made of pure cooking oil in batches. % Yield generated by using a zeolite in the impregnation with a solution of NaOH is equal to 53.84% and the limit of % yield optimal is produced by using 5 wt% Zeolite/NaOH 1M catalyst of total substrate used.

Key word :  
Biodiesel, Transestrification, Impregnation, Zeolit, NaOH.

## DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Biodiesel .....	5
2.1.1 Keunggulan Biodiesel.....	6
2.2 Pembuatan Biodiesel secara Konvensional .....	6
2.2.1 Reaksi Esterifikasi .....	6
2.2.2 Reaksi Transesterifikasi .....	7
2.3 Rute Non Alkohol .....	9
2.4 Bahan Baku .....	10
2.4.1 Minyak Goreng .....	11
2.5 Katalis Dalam Sintesis Biodiesel .....	11
2.5.1 Zeolit .....	12
2.5.1.1 Jenis-jenis Zeolit.....	13
2.5.1.2 Sifat Zeolit sebagai Penyangga/ <i>Support</i> .....	16
2.5.1.3 Aktivasi Mineral Zeolit.....	17

2.6 State of the art .....	19
2.6.1 Riset Sintesis Biodiesel .....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1 Alur Penelitian .....	25
3.2 Alat Penelitian.....	26
3.3. Bahan Percobaan.....	27
3.4 Prosedur Percobaan.....	27
3.3.1 Preparasi Zeolit .....	27
3.3.1.1 Dealuminasi .....	27
3.3.1.2 Impregnasi Basa NaOH .....	28
3.3.2 Percobaan Sintesis Biodiesel dengan Menggunakan Reaktor <i>Batch</i> .....	28
3.3.3 Teknik Analisis Sampel .....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1 preparasi Katalis .....	30
4.1.1. Dealuminasi .....	30
4.1.2 Impregnasi Basa NaOH .....	31
4.1.3 Kalsinasi.....	32
4.2 <i>Isoterm Freundlich</i> .....	32
4.3 Sintesis Biodiesel.....	34
4.4 Uji Karakteristik Produk.....	39
4.4.1 Densitas.....	39
4.4.2 Viskositas.....	41
4.5 Uji HPLC .....	43
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>46</b>
5.1 Kesimpulan .....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>48</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>51</b>

## DAFTAR GAMBAR

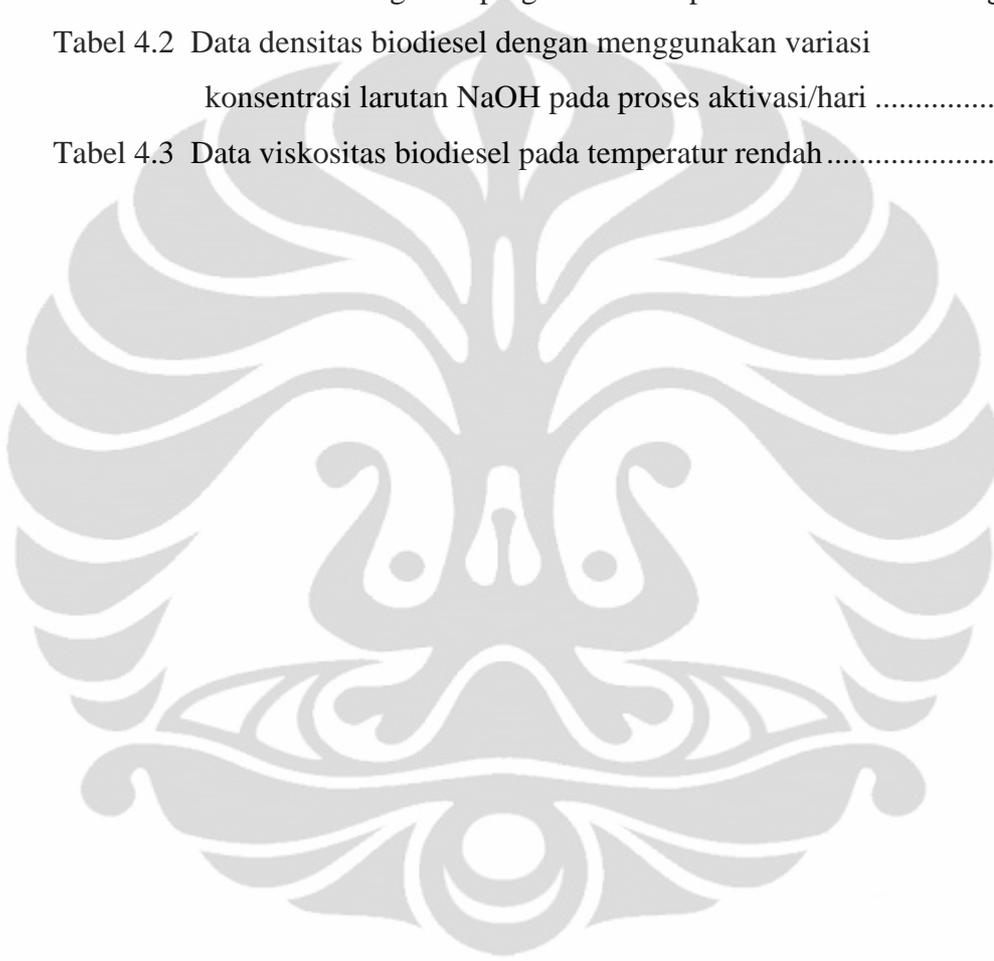
Gambar 2.1 Rumus kimia biodiesel.....	5
Gambar 2.2 Reaksi esterifikasi dari asam lemak menjadi metil ester .....	7
Gambar 2.3 Reaksi transesterifikasi gliserida dengan metanol .....	8
Gambar 2.4 Reaksi interesterifikasi minyak nabati melalui rute reaksi non alkohol.....	9
Gambar 2.5 Tahapan reaksi interesterifikasi.....	10
Gambar 2.6 Tetrahedra alumina dan silika (TO <sub>4</sub> ) pada struktur zeolit.....	12
Gambar 2.7 Unit Bangun sekunder struktur zeolit .....	15
Gambar 2.8 <i>State of the art</i> sintesis biodiesel.....	19
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian secara garis besar .....	26
Gambar 3.2 Skema Reaktor untuk Sintesis Biodiesel.....	29
Gambar 4.1 Grafik impregnasi dengan variasi konsentrasi larutan Basa NaOH .....	31
Gambar 4.2 Grafik <i>isoterm Freundlich</i> .....	33
Gambar 4.2 Skema reaktor untuk sintesis biodiesel .....	31
Gambar 4.3 Proses pembuatan biodiesel .....	34
Gambar 4.4 sintesis biodiesel menggunakan katalis zeolit (kiri), menggunakan katalis NaOH/Zeolit (kanan). .....	35
Gambar 4.5 Mekanisme reaksi transesterifikasi trigliserida dengan alkohol menggunakan katalis basa .....	36
Gambar 4.6 Hasil reaksi transesterifikasi dengan substrat minyak goreng ....	37
Gambar 4.7 Pencucian biodiesel dengan menggunakan aquades. ....	38
Gambar 4.8 Produk metil ester setelah proses pemurnian.....	38
Gambar 4.9. Uji pembakaran terhadap solar (a), produk biodiesel (b) Dan minyak goreng (c) .....	39
Gambar 4.10 Grafik hubungan densitas produk vs waktu impregnasi katalis NaOH/zeolit.....	40
Gambar 4.11 Grafik hubungan viskositas produk vs waktu impregnasi katalis NaOH/zeolit .....	41

Gambar 4.12 Grafik % yield metil oleat vs konsentrasi katalis NaOH/Zeolit jenuh (rasio 1:10; t = 3jam; T = 60 °C).....	43
Gambar 4.13 Grafik % yield metil oleat vs % wt katalis Zeolit/NaOH 1M (rasio 1:10; t = 3 jam; T = 60 °C) .....	44



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi zeolit .....	15
Tabel 2.2	Rangkuman <i>state of the art</i> dengan menggunakan katalis Zeolit.....	23
Tabel 4.1	Data Perbandingan Impregnasi NaOH pada zeolit alam malang....	32
Tabel 4.2	Data densitas biodiesel dengan menggunakan variasi konsentrasi larutan NaOH pada proses aktivasi/hari .....	40
Tabel 4.3	Data viskositas biodiesel pada temperatur rendah.....	42



## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A .....	51
A.1 Perhitungan jumlah reaktan yang dipergunakan .....	51
A.2 Perhitungan penggunaan katalis .....	52
LAMPIRAN B .....	53
B.1 Data perhitungan NaOH teradsorb saat proses impregnasi .....	53
B.2 Data perhitungan adsorpsi <i>Isoterm Freundlich</i> .....	53
LAMPIRAN C .....	54
C.1 Contoh pengolahan data HPLC .....	54
LAMPIRAN D .....	57
D.1 Data % yield biodiesel menggunakan 5% wt katalis Zeolit/NaOH dengan perbedaan variasi konsentrasi larutan NaOH pada proses impregnasi. ....	57
D.2 Data % yield biodiesel menggunakan 5% wt; 10% wt; 12 wt dan 15 wt katalis Zeolit/NaOH yang menggunakan larutan NaOH 1M pada saat jenuh pada proses impregnasi.....	58
LAMPIRAN E .....	60
E.1 Data perhitungan nilai densitas produk biodiesel yang dihasilkan.....	60
E.2 Data perhitungan nilai viskositas produk biodiesel yang dihasilkan...	60
LAMPIRAN F .....	61
F.1 Cromatogram HPLC untuk standar biodiesel rute alcohol .....	61
F.2 Cromatogram HPLC untuk minyak goreng murni .....	62
F.3 Cromatogram HPLC untuk sampel 5% wt katalis jenuh NaOH/Zeolit 0,5 M .....	63
F.4 Cromatogram HPLC untuk sampel 5% wt katalis jenuh NaOH/Zeolit 0,75 M .....	64
F.5 Cromatogram HPLC untuk sampel 5% wt katalis jenuh NaOH/Zeolit 1 M .....	65
F.6. Cromatogram HPLC untuk sampel 10% wt katalis jenuh NaOH/Zeolit 1M .....	66

F.7 Cromatogram HPLC untuk sampel 12% wt katalis jenuh NaOH/Zeolit 1M .....	67
F.4 Cromatogram HPLC untuk sampel 15% wt katalis jenuh NaOH/Zeolit 1M .....	68
LAMPIRAN G.....	69
G.1 Dokumentasi Penelitian.....	69



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif ramah lingkungan yang terbuat dari minyak nabati dan minyak hewani yang berasal dari sumber daya yang dapat diperbaharui. Beberapa bahan baku untuk pembuatan biodiesel antara lain minyak kelapa sawit (CPO), minyak kedelai, minyak bunga matahari, minyak jarak pagar dan beberapa jenis tumbuhan lainnya (The Biodiesel Handbook, 1996). Dari beberapa bahan baku tersebut di Indonesia yang memiliki prospek untuk diolah menjadi biodiesel adalah minyak kelapa sawit (CPO). Pembuatan biodiesel ini dapat dilakukan dengan menggunakan minyak kelapa sawit murni ataupun bekas.

Selain minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku, sintesis biodiesel melalui reaksi transesterifikasi juga membutuhkan katalis. Katalis memegang peranan yang sangat penting dalam proses pembuatan biodiesel. Katalis digunakan untuk memecahkan minyak nabati dan menghasilkan ester. Pemakaian katalis dapat mempengaruhi reaksi yang terjadi antara minyak dan alkohol. Tanpa adanya katalis reaksi akan berjalan dengan sangat lambat (Mittlebach, 2004).

Secara konvensional, katalis yang digunakan dalam reaksi transesterifikasi untuk produksi biodiesel ini adalah katalisis homogen (asam dan basa). Beberapa asam yang biasa digunakan sebagai katalis dalam sintesis biodiesel dalam sintesis biodiesel adalah asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dan asam klorida HCl, tetapi dengan menggunakan asam sebagai katalis akan membutuhkan waktu reaksi yang lama (48-96 jam) dan juga membutuhkan rasio mol metanol berbanding dengan minyak yang cukup besar (30-150:1) (Xie et al, 2006). NaOH dan KOH merupakan katalis basa yang biasa digunakan dalam reaksi transesterifikasi secara komersial yang terbukti mempunyai tingkat aktifitas katalitik yang lebih besar dibandingkan dengan katalis asam dan tidak bersifat korosif seperti katalis asam (xie et al, 2006). Namun, penggunaan katalis

homogen ini menimbulkan beberapa masalah, diantaranya katalis akan bercampur homogen dengan produk, sehingga proses pemurnian produknya relatif sulit. Walaupun proses produksi biodiesel dengan katalis homogen cenderung berjalan sangat cepat dan menunjukkan konversi yang tinggi, tetapi dalam proses tersebut terjadi juga reaksi penyabunan sehingga pemisahan katalis homogen dari produknya merupakan masalah utama. Disamping susahnya proses pemisahan, kendala lain adalah banyaknya air limbah yang dihasilkan untuk memisahkan serta membersihkan katalis dan produk tersebut, sehingga menyebabkan tingginya biaya produksi (Lopez et al, 2005).

Dalam pengembangan sintesis biodiesel yang telah dilakukan selama ini, telah diperkenalkan beberapa katalis heterogen yang mampu terbukti dapat menghasilkan biodiesel, diantaranya adalah zeolit CsX, padatan calsium karbonat, EST-10, Li/CaO, Na/NaOH/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Enzim (Xie et al, 2006; Hermansyah 2008). Namun, katalis-katalis tersebut sangat mahal dan terlalu sulit untuk di preparasi sebelum digunakan sebagai katalis dalam sintesis biodiesel.

Zeolit merupakan padatan yang terbukti bagus untuk menyangga katalis basa dalam produksi biodiesel karena mempunyai pori yang dapat digunakan sebagai tempat inti aktif katalis basa (Hanif, 2008). Di Indonesia sendiri telah dilakukan beberapa penelitian dengan menggunakan zeolit sebagai penyangga katalis basa khususnya zeolit alam yang banyak tersedia dan cukup ekonomis. Maka dari itu, Dalam penelitian ini akan digunakan NaOH/Zeolit sebagai katalis heterogen untuk membuat biodiesel dari minyak goreng dengan metode transesterifikasi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Untuk menghasilkan produk biodiesel dari minyak goreng yang optimal, maka proses optimalisasi tersebut meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh dari penggunaan katalis NaOH/Zeolit terhadap biodiesel yang didapatkan?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang ingin dicapai adalah untuk :

1. Mendapatkan katalis Zeolit/NaOH yang paling baik untuk sintesis biodiesel.
2. Memperoleh konversi biodiesel yang tinggi.

### 1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, pembatasan terhadap masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Katalis heterogen yang akan digunakan sebagai katalis dalam sintesis biodiesel pada penelitian ini adalah zeolit alam Lampung.
2. Reaktor yang akan digunakan dalam sintesis biodiesel pada penelitian ini adalah reaktor batch.
3. Zeolit alam Lampung akan dipreparasi untuk memaksimalkan kinerjanya.
4. Substrat yang dipilih dalam mensintesis biodiesel adalah minyak goreng baru/murni.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam makalah skripsi ini dilakukan dengan membagi tulisan menjadi lima bab, yaitu:

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang penelitian dan penulisan, perumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, pembatasan masalah, serta sistematika penulisan.

#### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang prinsip dasar ilmu yang berkaitan dengan penelitian dari berbagai pustaka. Bab ini lebih menggali dalam *state of the art* dari penelitian yang akan dilakukan.

**BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

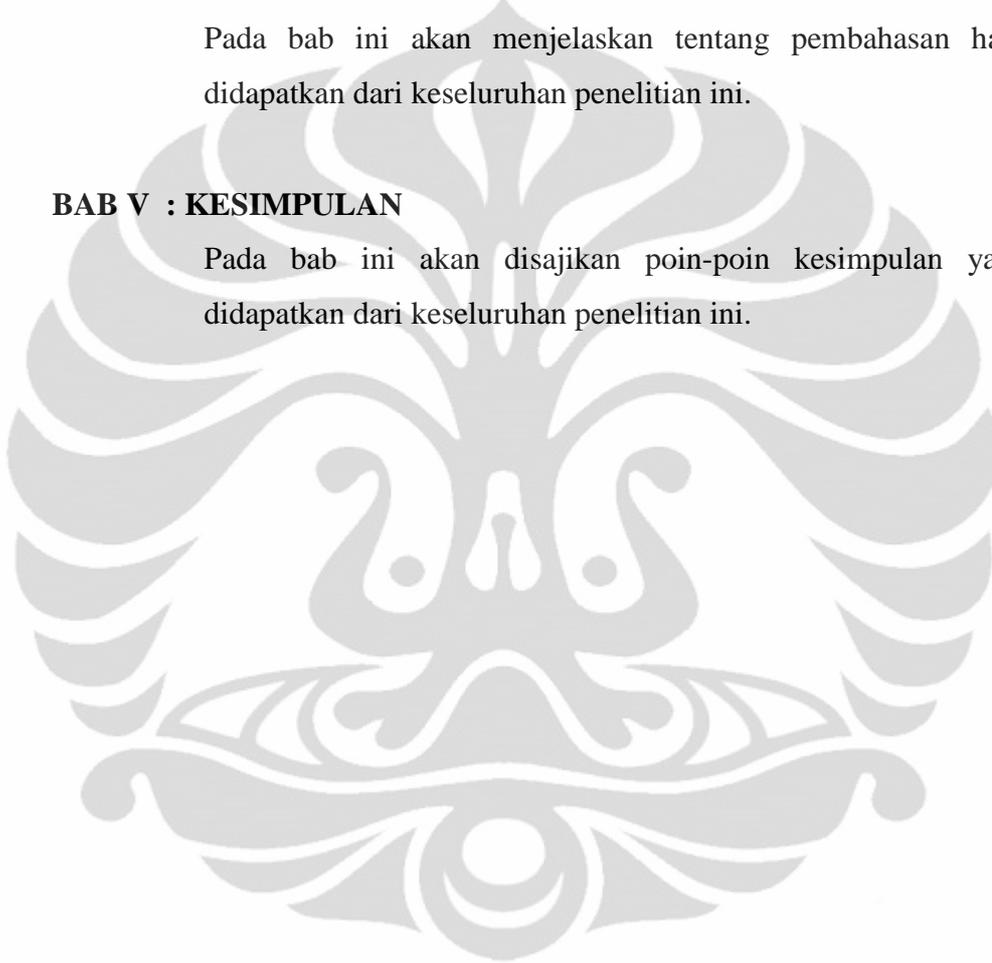
Bab ini menjelaskan tentang diagram alir penelitian, bahan dan peralatan yang akan digunakan dalam penelitian, prosedur yang dilakukan dalam penelitian, serta teknik analisis data.

**BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan menjelaskan tentang pembahasan hasil yang didapatkan dari keseluruhan penelitian ini.

**BAB V : KESIMPULAN**

Pada bab ini akan disajikan poin-poin kesimpulan yang telah didapatkan dari keseluruhan penelitian ini.



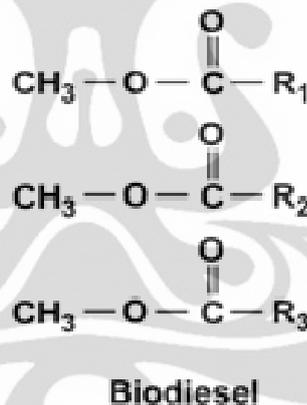
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang dibuat dari minyak nabati dan lemak hewan. Secara teknis biodiesel merupakan sumberdaya yang dapat diperbaharui karena pada umumnya dapat diekstrak dari berbagai hasil produk pertanian seperti minyak kacang kedelai, minyak kelapa, minyak bunga matahari maupun minyak sawit.

Biodiesel merupakan bahan bakar berbasis non-petroleum yang diperoleh dari transesterifikasi trigliserida (TGs) maupun esterifikasi asam lemak bebas (*Free Fatty Acids/FFAs*) menggunakan alkohol dengan berat molekul yang rendah. Rumus kimia biodiesel dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Rumus kimia biodiesel

Biodiesel atau *fatty acid methyl esters* (FAME) dapat dipergunakan dengan mudah karena dapat bercampur dengan segala komposisi dengan minyak solar sebab memiliki sifat-sifat fisik yang mirip dengan solar biasa sehingga dapat diaplikasikan langsung untuk mesin-mesin diesel tanpa perlu modifikasi yang signifikan terhadap mesin tersebut. Sebagai perbandingan, biodiesel murni (B100) menghasilkan energi sekitar 90% seperti yang dihasilkan solar, sehingga unjuk kerja mesin yang diharapkan pun hampir sama dalam hal torsi mesin dan daya kuda. Selain itu, hanya dengan mempergunakan campuran 20 persen dari

biodiesel dan minyak bumi sudah dapat digunakan untuk hampir semua mesin diesel (Haryanto, 2002).

Penggunaan biodiesel pada motor diesel dapat mengurangi emisi dari hidrokarbon yang tak terbakar, karbon monoksida, sulfat, hidrokarbon aromatik polisiklik, dan zat lain. Biodiesel terbentuk dengan mengubah trigliserida menjadi gliserin. Setelah gliserin dibuang, yang tinggal adalah biodiesel. Molekul biodiesel merupakan rantai hidrokarbon yang sederhana dan tidak mengandung sulfur. Umumnya biodiesel terbuat melalui proses kimia sederhana yang disebut transesterifikasi.

### **2.1.1. Keunggulan Biodiesel**

Penggunaan biodiesel selain untuk menanggulangi krisis energi yang terjadi saat ini, pengembangan biodiesel juga bertujuan untuk menciptakan bahan bakar yang ramah lingkungan. Biodiesel yang dibuat dari minyak nabati ini juga memiliki keunggulan lain dibandingkan minyak solar. Adapun keunggulan dari biodiesel adalah sebagai berikut :

1. Merupakan bahan bakar yang tidak beracun dan dapat dibiodegradasi
2. Mempunyai bilangan setana yang tinggi.
3. Mengurangi emisi karbon monoksida, hidrokarbon dan NOx.
4. Terdapat dalam fase cair.

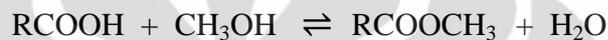
## **2.2. Pembuatan Biodiesel secara Konvensional**

### **2.2.1. Reaksi Esterifikasi**

Esterifikasi adalah proses yang mereaksikan asam lemak bebas (FFA) dengan alkohol rantai pendek yang menghasilkan metil ester asam lemak (FAME) dan air. Minyak nabati yang memiliki kadar asam lemak bebas yang tinggi (berangka asam  $\geq 5$  mg-KOH/g) tidak dapat langsung digunakan dalam reaksi transesterifikasi, maka dari itu minyak nabati ini harus melewati tahap esterifikasi terlebih dahulu.

Katalis-katalis yang cocok adalah zat yang berkarakter asam kuat seperti asam sulfat, asam sulfonat organik atau resin penukar kation asam kuat yang merupakan katalis yang biasa terpilih dalam praktek industrial. Untuk mendorong

agar reaksi dapat berlangsung sempurna pada temperatur rendah (misalnya paling tinggi 120 °C), reaktan methanol harus ditambahkan dalam jumlah yang sangat berlebih dan air produk hasil 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 (Zandy, 2007). Reaksi esterifikasi dapat dilihat pada gambar 2.2 :



**Gambar 2.2.** Reaksi esterifikasi dari asam lemak menjadi metil ester

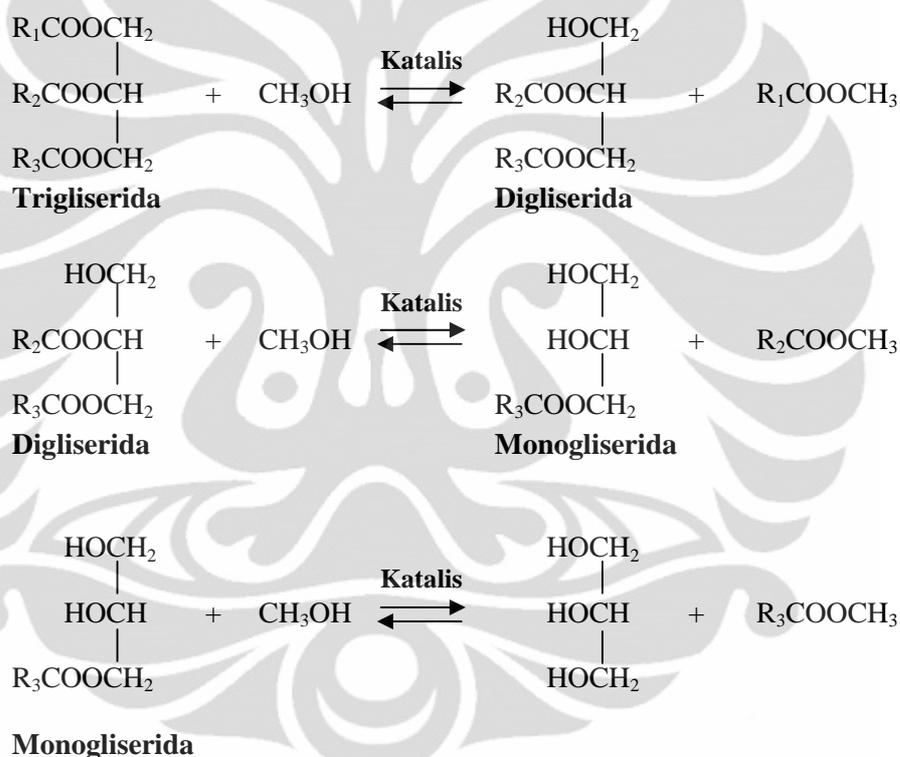
Pada proses sintesis biodiesel tahap esterifikasi biasa diikuti dengan tahap transesterifikasi. Namun sebelum produk esterifikasi diumpungkan ke tahap transesterifikasi, air dan bagian terbesar katalis asam yang dikandungnya harus disingkirkan terlebih dahulu.

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

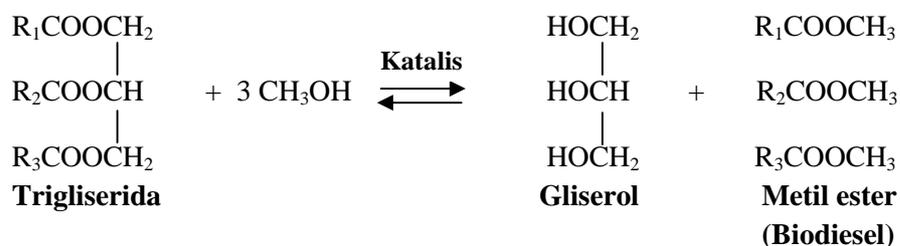
### 2.2.2. Reaksi Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek yang menghasilkan metil ester asam lemak (*Fatty Acids Methyl Esters / FAME*) atau biodiesel dan gliserol (gliserin) sebagai produk samping. Transesterifikasi merupakan reaksi perubahan dari suatu tipe ester ke tipe ester yang lain. Ester adalah rantai hidrokarbon yang akan terikat dengan molekul yang lain. Molekul minyak nabati terdiri dari tiga ester yang menempel pada satu molekul gliserin. Sekitar 20% dari minyak nabati adalah gliserin. Gliserin pada minyak nabati

mempunyai viskositas yang tinggi dan berubah-ubah terhadap temperatur. Pada proses transesterifikasi, gliserin digantikan kedudukannya oleh alkohol. Pada dasarnya molekul trigliserida merupakan triester dari gliserol. Mono dan digliserida dapat diperoleh dari trigliserida dengan mensubstitusi dua dan satu asam lemak sebagian dengan gugus hidroksil. Pada saat ini alkohol rantai pendek yang sering digunakan adalah metanol, Karena harganya murah dan reaktifitasnya yang tinggi. Berikut merupakan Contoh reaksi transesterifikasi trigliserida dengan menggunakan metanol dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Reaksi overall:**



**Gambar 2.3.** Reaksi transesterifikasi gliserida dengan metanol (Lotero, 2005)

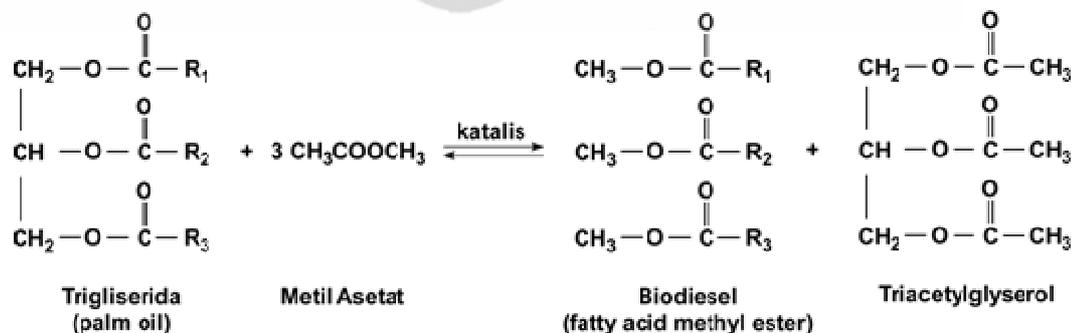
Trigliserida sebagai penyusun utama minyak nabati akan terkonversi secara bertahap menjadi digliserida, monogliserida, untuk kemudian akhirnya menjadi gliserol. Pada setiap tahapan ini akan dihasilkan satu mol senyawa ester. Karena reaksi ini adalah reaksi reversible, maka digunakan alkohol berlebih untuk menggeser kesetimbangan alami bergerak ke arah pembentukan senyawa ester asam lemak dan gliserol. Reaksi tersebut menghasilkan 3 mol alkil ester dan 1 mol gliserol untuk setiap mol trigliserida yang bereaksi.

Reaksi transesterifikasi membutuhkan katalis untuk menghasilkan laju konversi dan jumlah *yield* produk yang baik. Tanpa adanya katalis, konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi berjalan dengan lambat (Mittlebatch,2004). Sifat dari katalis merupakan hal yang mendasar karena dapat menentukan batas komposisi umpan yang harus disediakan.

### 2.3 Rute Non Alkohol

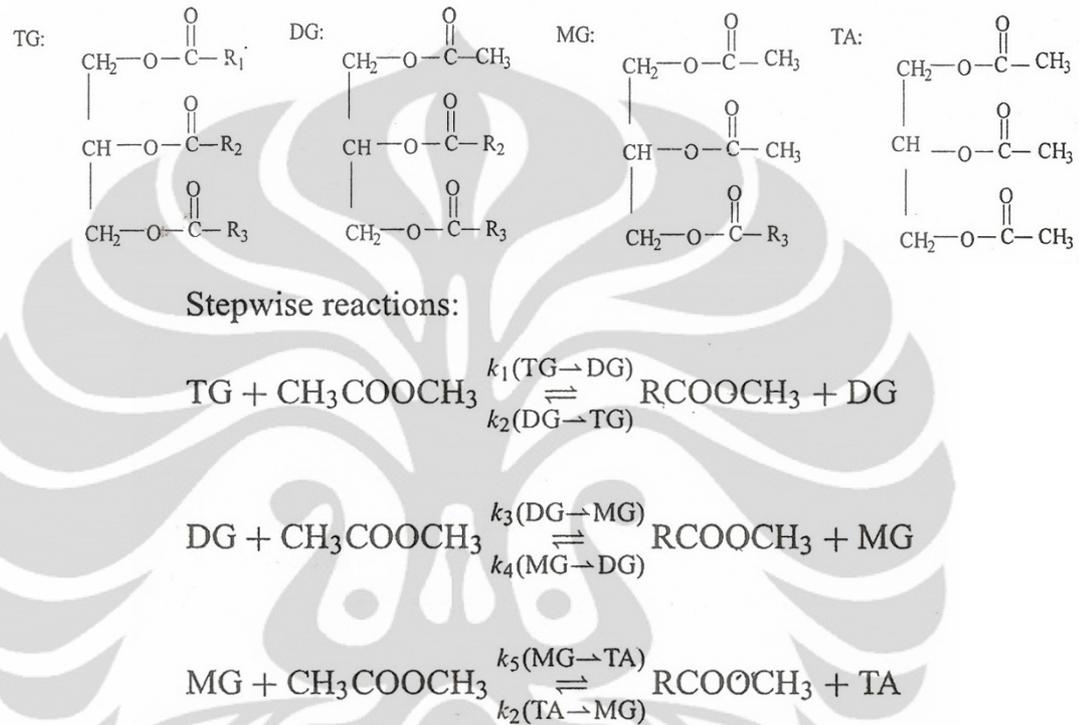
Produksi Biodiesel Secara konvensional dilakukan melalui reaksi transesterifikasi gliserida dengan alkohol dan menggunakan katalis asam atau alkali. Pada rute non alkohol produk samping yang akan dihasilkan triacylglycerol yang mempunyai nilai jual yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan produk samping yang dihasilkan dari rute alkohol.

Dalam sintesis biodiesel rute alkohol, alkohol (metanol) berfungsi untuk mensuplai gugus alkil (metil). Sementara itu, dalam sintesis biodiesel rute non alkohol, metanol bisa digantikan dengan metil asetat sebagai pensuplai gugus metil seperti yang diperlihatkan dalam gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Reaksi interesterifikasi minyak nabati melalui rute reaksi non alkohol

Trigliserida (TG) mengalami reaksi interesterifikasi menjadi digliserida (DG), monogliserida (MG) dan triacylglycerol (TA), dimana disetiap tahap tersebut dihasilkan biodiesel (B) seperti yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 5 Tahapan Reaksi interesterifikasi

#### 2.4. Bahan Baku

Bahan baku yang diperlukan dalam pembuatan biodiesel adalah minyak nabati. Saat ini terdapat berbagai macam minyak nabati yang pernah digunakan dalam sintesis biodiesel, diantaranya minyak bunga matahari (*sunflower*), kedelai (*soybean*), biji kapas (*cottonseed*), jarak pagar, minyak canola (*rapeseed*), minyak kelapa sawit (CPO), minyak goreng murni maupun minyak goreng bekas. Dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan minyak goreng murni dan minyak goreng bekas.

### 2.4.1. Minyak Goreng

Minyak goreng merupakan salah satu dari minyak nabati yang digunakan dalam pembuatan biodiesel yang paling banyak digunakan saat ini. Saat ini minyak nabati murni di pasaran harganya sangat mahal sehingga dalam proses pembuatan biodiesel sekarang ini banyak menggunakan minyak goreng bekas.

Minyak goreng bekas adalah minyak nabati yang telah digunakan dan telah mengalami pemanasan sehingga jumlah rantai karbonnya meningkat. Minyak goreng bekas sangat berbahaya apabila dikonsumsi karena mengandung senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik yang dapat menimbulkan penyakit bagi manusia, antara lain kanker dan penyempitan pembuluh darah. Sedangkan bila minyak ini dibuang ke lingkungan, akan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Untuk dapat mencegah pencemaran ini, minyak goreng bekas tersebut dapat dikonversi menjadi bahan yang lebih bermanfaat dan diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

Salah satu bentuk pemanfaatan minyak goreng bekas agar dapat bermanfaat dari berbagai macam aspek ialah dengan mengubahnya secara proses kimia menjadi biodiesel. Hal ini dapat dilakukan karena minyak goreng bekas juga merupakan minyak nabati, turunan dari CPO (*crude palm oil*).

## 2.5 Katalis Dalam Sintesis Biodiesel

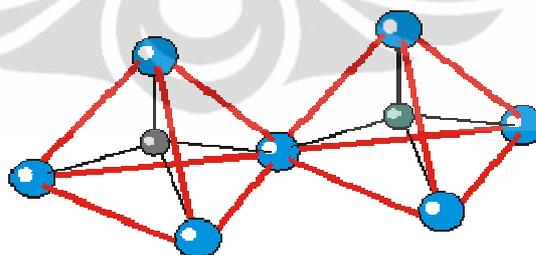
Sintesis biodiesel melalui reaksi transesterifikasi memerlukan katalis untuk mempercepat terjadinya reaksi. Katalis yang biasa digunakan dalam sintesis biodiesel konvensional adalah katalis basa homogen, yaitu NaOH atau KOH. Namun penggunaan katalis ini memiliki banyak kekurangan, sehingga digunakan katalis heterogen. Jenis-jenis katalis heterogen yang dapat digunakan untuk sintesis biodiesel adalah biokatalis, CaO, Zeolit, dan resin penukar ion. Dalam penelitian ini akan digunakan NaOH/Zeolit sebagai katalis.

### 2.5.1. Zeolit

Zeolit merupakan senyawa aluminosilikat terhidrasi yang memiliki kerangka struktur tiga dimensi (3D), mikroporous, dan merupakan padatan kristalin dengan kandungan utama silikon, aluminium, dan oksigen serta mengikat sejumlah tertentu molekul air di dalam porinya.

Penemuan zeolit di dunia dimulai dengan ditemukannya Stilbit pada tahun 1756 oleh seorang ilmuwan bernama A. F. Constedt. Constedt menggambarkan kekhasan mineral ini ketika berada dalam pemanasan terlihat seperti mendidih karena molekulnya kehilangan air dengan sangat cepat. Sesuai dengan sifatnya tersebut maka mineral ini diberi nama zeolit yang berasal dari kata 'zein' yang berarti mendidih dan 'lithos' yang berarti batuan.

Zeolit biasanya ditulis dengan rumus kimia oksida atau berdasarkan satuan sel kristal  $M_{2/n}O \cdot Al_2O_3 \cdot a SiO_2 \cdot b H_2O$  atau  $M_{c/n} \{(AlO_2)_c(SiO_2)_d\} \cdot b H_2O$ . Dimana n adalah valensi logam, a dan b adalah molekul silikat dan air, c dan d adalah jumlah tetrahedra alumina dan silika. Rasio d/c atau  $SiO_2/Al_2O$  bervariasi dari 1-5. Zeolit tidak dapat diidentifikasi hanya berdasarkan analisa komposisi kimianya saja, melainkan harus dianalisa strukturnya. Struktur kristal zeolit dimana semua atom Si dan Al dalam bentuk tetrahedra ( $TO_4$ ) disebut Unit Bangun Primer, zeolit hanya dapat diidentifikasi berdasarkan Unit Bangun Sekunder (UBS) sebagaimana terlihat pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.6.** Tetrahedra alumina dan silika ( $TO_4$ ) pada struktur zeolit (Thamzil, 2008)

### 2.5.1.1 Jenis-jenis zeolit

Zeolit memiliki beraneka ragam bentuk dan jenis, tergantung pada cara perolehannya. Ada yang berasal dari alam dan ada yang sintesis. Untuk itu, berdasarkan cara perolehannya, zeolit dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian yaitu:

1. **Zeolit alam**, yang diperoleh dari alam.

Zeolit alam terbentuk melalui proses alam, zeolitisasi batuan vulkanik dengan air lingkungan (air hidrologi) apada system terbuka maupun tertutup. Kondisi batuan, tanah dan lingkungan tempat pembentukannya mempengaruhi sifat-sifat fisik, kimia dan struktur mineral zeolit alam sehingga muncul beragam spesies. Batuan yang sangat jenuh dengan silica misalnya, membentuk zeolit alam jenis *faujasit*, *khabasit* dan *gmelinit*. Spesies yang banyak ditemukan pada batuan sedimen adalah *klonoptilotit*, *khabasit*, *heulandit*, *mordenit*, *filipsit*, *analkim*, *laumontit* dan *wairakit*.

2. **Zeolit sintetik**, yang diperoleh melalui proses sintesa dan direkayasa oleh manusia.

Zeolit sintetik diproduksi dengan cara hydrothermal. Pembuatan zeolit sintetik sangat tergantung pada pemanfaatannya. Sifat-sifat dimodifikasi, dengan memvariasikan kadar unsur aluminium (Al) dan silica (Si).

Biasanya zeolit sintetik terbagi menjadi empat kelompok, yaitu:

a. Zeolit sintetik berkadar Si rendah ( $Si/Al = 1$ )

Kadar Si yang rendah menyebabkan harga rasio Si/Al mendekati 1. Kadar Si yang rendah menyebabkan daya penukaran kation dari zeolit maksimum. Contoh : Zeolit A dan X

b. Zeolit sintetik berkadar Si sedang ( $Si/Al = 5$ ).

Jika dibandingkan dengan zeolit alam, zeolit sintetik ini termasuk jenis *klinoptilotit*, *mordenit* dan *erionit*.

c. Zeolit sintetik berkadar Si tinggi ( $\text{Si}/\text{Al} = 10\text{-}100$ ).

Mampu menyerap molekul-molekul non polar dan baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Contoh : ZSM-5, ZSM-11 dan ZSM-21.

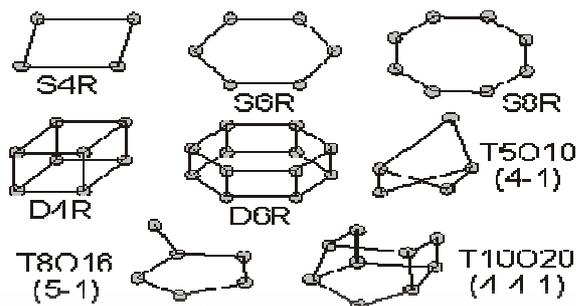
d. Zeolit Si (100%)

Sama sekali tidak mengandung unsur Al, dapat mengeluarkan atau memisahkan suatu molekul organik dari suatu campuran air. Contoh : zeolit silikat.

Pada saat ini dikenal sekitar 40 jenis zeolit alam, meskipun yang mempunyai nilai komersial ada sekitar 12 jenis, diantaranya klinoptilolit, mordenit, filipsit, kabsit dan erionit. Zeolit sintetik dihasilkan dari beberapa perusahaan seperti Union Carbide, ICI dan Mobil Oil dan lebih dari 100 jenis telah dikenal strukturnya antara lain zeolit A, X, Y, grup ZSM/ $\text{AlPO}_4$  (Zeolite Sieving Materials/Aluminium Phosphate) dan bahkan akhir-akhir ini dikenal grup Zeolit, yaitu material seperti zeolit tetapi bukan senyawa alumino-silikat.

Berdasarkan UBS (unit bangun sekunder) semua zeolit baik dalam bentuk alami atau sintetis dapat dibagi atas 9 grup yaitu:

1. single 4-ring (S4R)
2. single 6-ring (S6R)
3. single 8-ring (S8R)
4. double 4-ring (D4R)
5. double 6-ring (D6R)
6. double 8-ring (D8R)
7. complex 4-1 ( $\text{T}_5\text{O}_{10}$ )
8. complex 5-1 ( $\text{T}_8\text{O}_{16}$ )
9. complex 4-4-1 ( $\text{T}_{10}\text{O}_{20}$ )



Gambar 2.7 Unit Bangun Sekunder Struktur Zeolit

Tabel 2.1 Klasifikasi zeolit (Thamzil, 2008)

Zeolit	Rumus kimia	UBS
Grup Analsim		
Analsim	$\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{31}\text{O}_{96}]6\text{H}_2\text{O}$	S4R
Wairakit	$\text{Ca}_8[\text{Al}_{16}\text{Si}_{31}\text{O}_{96}] 6\text{H}_2\text{O}$	S4R
Grup Natrolit		
Natrolit	$\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}]6 \text{H}_2\text{O}$	$\text{T}_5\text{O}_{10}$ (4-1)
Thomsonit	$\text{Na}_{16}\text{Ca}_8[\text{Al}_{20}\text{Si}_{20}\text{O}_{80}]24 \text{H}_2\text{O}$	$\text{T}_5\text{O}_{10}$
Grup Heulandit		
Heulandit	$\text{Ca}_4[\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}] 24\text{H}_2\text{O}$	$\text{T}_{10}\text{O}_{20}$ (4-4-1)
Klinoptilolit	$\text{Na}_6[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}]24 \text{H}_2\text{O}$	$\text{T}_{10}\text{O}_{20}$
Grup Filipsit		
Filipsit	$\text{K}_2\text{Ca}_{1.5}[\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}]12\text{H}_2\text{O}$	S4R
Zeolit Na-P-1	$\text{Na}_8[\text{Al}_{31}\text{SiO}_{16}] 16\text{H}_2\text{O}$	S4R
Grup Mordernit		
Mordernit	$\text{Na}_8[\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}]24 \text{H}_2\text{O}$	$\text{T}_8\text{O}_{16}$ (5-1)
Ferrierit	$\text{NaCa}_{0.5}\text{Mg}_2[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}]24 \text{H}_2\text{O}$	$\text{T}_8\text{O}_{16}$
Grup Kabazit		
Kabazit	$\text{Ca}_2[\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}] 13\text{H}_2\text{O}$	D4R,D6R

Zeolit L	$K_6Na_3[Al_9Si_{27}O_{72}] 21H_2O$	S6R
Grup Faujasit		
Faujasit	$Na_{12}Ca_{12}Mg_{11}[Al_{58}Si_{134}O_{384}]235H_2O$	D4R,D6R
Zeolit A	$Na_{12}[Al_{12}Si_{12}O_{48}] 27 H_2O$	D4R, D6R
Grup Laumontit		
Laumontit	$Ca_4[Al_8Si_{16}O_{46}] 16H_2O$	S4R,S6R,S8R
Grup Pentasil		
ZSM-5	$Na_n[Al_nSi_{96}O_{192}] 16 H_2O$	5-1
Grup Zeotype		
ALPO4-5	$[Al_{12} P_{12}O_{48}] (C_3H_7)_4 NOH q H_2O$	S4R, S6R

#### 2.5.1.2. Sifat Zeolit sebagai Penyangga/*Support*

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 di dalamnya. 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 ke dalam 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.

### 2.5.1.3. 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<sup>-</sup> 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<sup>3+</sup> dalam kerangka zeolit dan posisinya akan digantikan oleh H<sup>+</sup>.

Proses dealuminasi yang terjadi pada penambahan asam florida (HF) dapat terjadi karena adanya efek penyisipan anion F<sup>-</sup> 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.

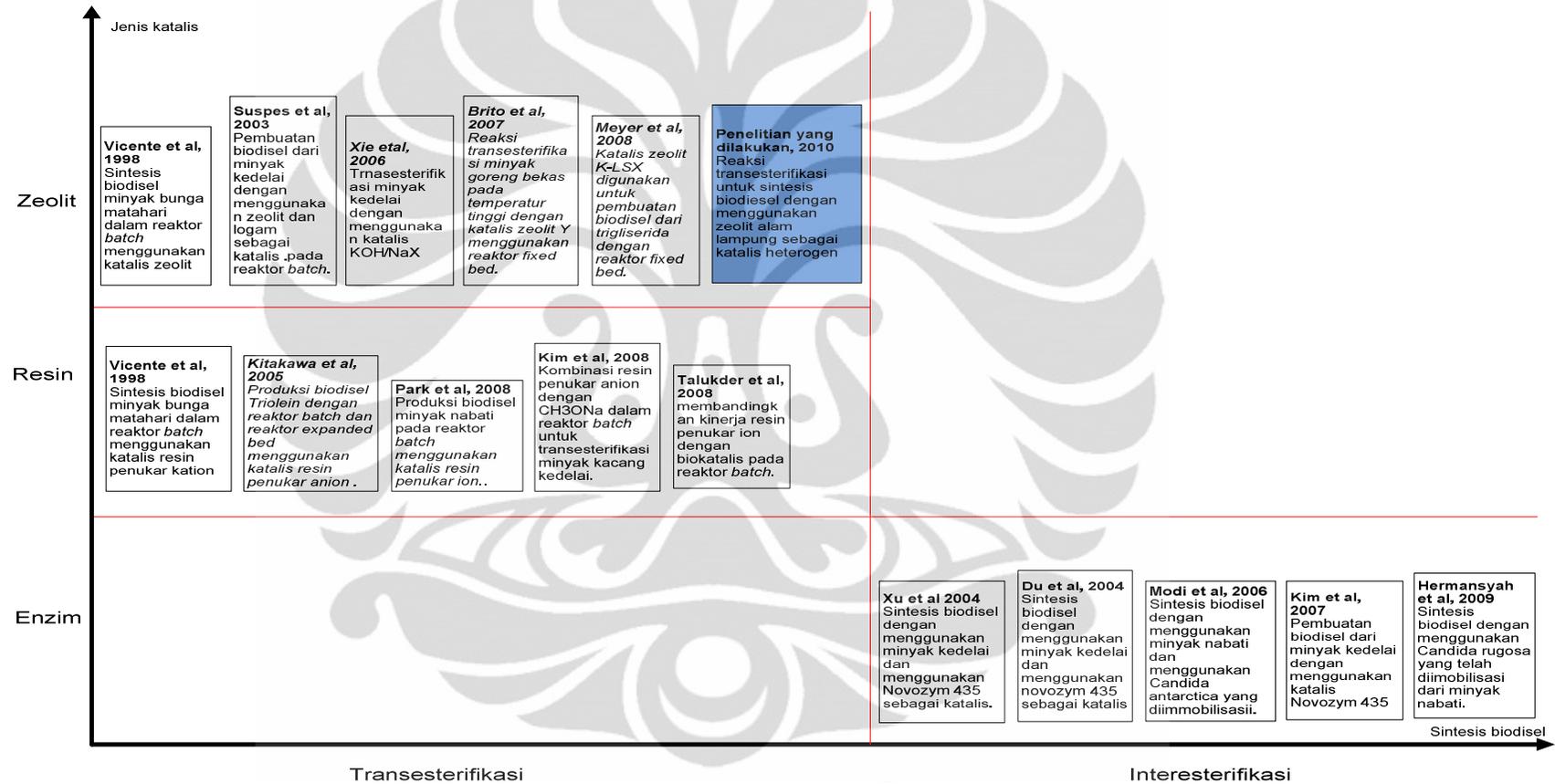
- Impregnasi

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

Prinsip dari metode impregnasi adalah larutan garam yang dicampur dengan support dilarutkan dengan pengeringan untuk menghasilkan garam pada permukaan pori support. Pada proses pengeringan perlu diperhatikan kecepatan dari pengeringan karena akan menentukan disperse dari deposit inti aktif yang akan terbentuk. Jika kecepatan pengeringan terlalu lambat, deposit akan terbentuk di dasar 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 State of the art

### 2.6.1 Riset Sintesis Biodiesel



Gambar 2.8. State of the art sintesis biodiesel

Penggunaan resin penukar ion, zeolit dan enzim sebagai katalis heterogen untuk sintesis biodiesel memiliki potensi yang baik untuk menggantikan katalis basa homogen yang memiliki kelemahan.

Penggunaan resin penukar ion sebagai katalis heterogen dalam pembuatan biodiesel pertama kali dilakukan oleh Vicente et al pada tahun 1998. Vicente et al menggunakan resin penukar anion (Amberlyst A26 dan A27), resin penukar kation (Amberlyst 15) dan zeolit untuk reaksi transesterifikasi minyak *sunflower* dengan metanol. Reaksi ini berlangsung pada temperatur rendah ( $60^{\circ}\text{C}$ ) dengan molar rasio metanol/minyak *sunflower* adalah 6:1. Setelah 8 jam reaksi, konversi biodiesel yang dihasilkan hanya mencapai 0,7% untuk penggunaan resin penukar kation dan 0,2% untuk penggunaan katalis zeolit (Vicente, 1998).

Penelitian dengan menggunakan katalis heterogen juga dilakukan oleh Suspes dkk pada tahun 2003, menggunakan zeolit NaX dan ETS-10 untuk reaksi transesterifikasi minyak kedelai dengan metanol. Penelitian ini dilakukan pada temperatur  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $120^{\circ}\text{C}$  dan  $150^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam dalam setiap percobaannya. Dengan menggunakan katalis zeolit ETS-10 menghasilkan konversi 90 % sedangkan dengan menggunakan katalis zeolit NaX menghasilkan 20% (Suspes et al).

Xie et al, melakukan penelitian pembuatan biodiesel dari minyak kedelai dengan menggunakan katalis zeolit yang di loading dengan menggunakan basa KOH dengan cara diimpregnasi. Hasil yield biodiesel maksimum yang didapat adalah 85,6 %.

Pada tahun 2005, Kitakawa dkk telah melakukan eksperimen menggunakan resin penukar anion sebagai katalis heterogen dalam mensintesis Triolein menggunakan reaktor *batch* dan *expanded bed reactor* secara kontinyu. Reaksi ini menghasilkan konversi biodiesel mencapai 90% dalam waktu 3 jam (Kitakawa, 2005).

Pada tahun 2007, Brito dkk melakukan penelitian dengan menggunakan katalis zeolit y (Y307, Y411, Y530 dan Y756) untuk reaksi transesterifikasi minyak goreng bekas dengan metanol. Penelitian ini dilakukan pada temperatur  $200-476^{\circ}\text{C}$  dengan menggunakan reaktor *fixed bed* yang menghasilkan konversi metil ester sebesar 26 % dalam waktu 30 menit (Brito et al)

Pada tahun 2008 Park dkk juga menggunakan resin penukar ion untuk memproduksi biodiesel dari *soapstock* (HAAO/*High Acid Acid Oil*) dengan kandungan FFA (*Free Fatty Acid*/asam lemak bebas) yang sangat tinggi. Proses ini berjalan pada suhu 80°C dengan molar rasio HAAO terhadap metanol adalah 1:9. Metode ini menghasilkan yield biodiesel yang cukup tinggi, yaitu sekitar 92%. Park menyatakan bahwa penggunaan katalis ini memiliki beberapa keuntungan, diantaranya mudah untuk *direcovery* dan dapat digunakan berulang-ulang (Park, 2008).

Meyer melakukan eksperimen pembuatan biodiesel dengan menggunakan katalis zeolit K-LSX untuk reaksi transesterifikasi Trigliserida dengan metanol. Penelitian ini menghasilkan konversi 90 % dalam waktu 1 jam (Meyer et al).

Kim et al melakukan eksperimen dengan mengkombinasikan penggunaan katalis heterogen dan katalis homogen. Resin penukar anion yang digunakan sebagai katalis heterogen menunjukkan hasil yang bagus dalam produksi biodiesel, namun reaksi ini menghasilkan tri-, di-, dan monogliserida yang masih mengandung gliserol. Sedangkan menurut spesifikasi ASTM, kandungan maksimal gliserol dalam biodiesel adalah 0,24%. Kim menggunakan katalis homogen untuk mengatasi masalah ini. Kim menggunakan CH<sub>3</sub>Ona untuk menetralisasi asam lemak bebasnya. Reaksi ini berjalan pada suhu 50°C dan menghasilkan konversi biodiesel sekitar 95% (Kim, 2008).

Pada tahun 2008 Talukder melakukan percobaan untuk membandingkan aktivitas biokatalis Novozym 435 dan resin penukar kation Amberlyst 15 dalam pembuatan biokatalis menggunakan minyak *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD). Reaksi ini berjalan dalam rentang temperatur 50-60°C. Novozym 435 menghasilkan konversi biodiesel 95% dalam waktu 2 jam. Amberlyst 15 menghasilkan konversi biodiesel 97% waktu 7 jam (Talukder, 2008).

Penelitian sintesis biodiesel yang menggunakan reaksi interesterifikasi juga dilakukan oleh beberapa peneliti akhir-akhir ini. Xu et al melakukan sintesis biodiesel pada tahun 2004 melakukan studi dan penelitian tentang persamaan model kinetika sederhana untuk reaksi interesterifikasi menggunakan minyak kedelai dan metil asetat sebagai reaktan dan Novozym 435 sebagai katalis. Xu et

al melakukan variasi molar rasio antara minyak kedelai dan metil asetat dalam reaktor batch.

Pada tahun 2004 Du et al juga melakukan penelitian sintesis biodiesel rute non alkohol dengan menggunakan metil asetat sebagai reaktan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Du et al molar rasio antara metil asetat dan minyak kedelai adalah 12:1 dan mendapatkan hasil produk biodiesel yang didapat adalah 92 %

Modi et al pada tahun 2006 juga melakukan penelitian sintesis biodiesel dengan jalur non alkohol. Pada penelitiannya modi menggunakan etil asetat dan menggunakan 3 jenis minyak nabati sebagai reaktan. Minyak nabati yang digunakan oleh modi adalah jatropa, karanj, minyak bunga matahari. Perbandingan rasio molar etil asetat dan minyak nabati yang digunakan adalah 11:1. Setiap reaksi berlangsung pada suhu 50 °c selama 12 jam. Maksimum yield yang dihasilkan dari minyak jatropa, minyak karanj dan minyak bunga matahari masing-masing adalah 91,3 %, 90 % dan 92,7 %.

Kim et al melakukan penelitian sintesis biodiesel dengan rute non alkohol menggunakan minyak kedelai dan etil asetat sebagai reaktan. Pada penelitiannya digunakan Novozym 435 sebagai katalis yang menghasilkan 63,3 % produk biodiesel, dengan rasio molar antara etil asetat dan minyak kedelai adalah 6:1.

Pada tahun 2009 Hermansyah et al melakukan sintesis iodiesel dengan teknik interesterifikasi menggunakan katalis *Candida rugosa* yang telah diimobilisasi pada support zeolit, pada penelitiannya ini Hermansyah et al menggunakan beberapa minyak nabati seperti minyak kelapa sawit, minyak kacang kedelai, minyak kelapa, minyak jagung dan minyak canola. Dimana konversi terbesar adalah 93,31 % dengan menggunakan minyak kelapa sawit.

Untuk lebih mengembangkan penelitian sintesis biodiesel dengan menggunakan katalis heterogen agar dapat menghasilkan konversi biodiesel yang tinggi, maka diusulkan untuk melakukan penelitian sintesis biodiesel menggunakan katalis NaOH/zeolit alam lampung sebagai katalis heterogen yang menggunakan teknik transesterifikasi.

Tabel 2.2. Rangkuman *state of the art* dengan menggunakan katalis Zeolit.

No	Penulis / Tahun	Minyak / Reaktan / Katalis	Reaktor	Konversi (%)	Teknik
1	Vicente et al. (1998)	Minyak <i>sunflower</i> / metanol / Amberlyst A26 & zeolit	Batch	0,7 & 0,2	Reaksi transesterifikasi pada temperatur rendah dan tekanan atmosferik dengan rasio molar metanol dengan oil 6:1
2	Suspes et al. (2003)	Minyak kedelai/ metanol/ ETS-10, NaX dan logam	Batch	90	Produksi biodiesel dengan membandingkan penggunaan katalis zeolit dan logam pada temperatur 60 °C, 120 °C dan 150 °C.
3	Xie et al (2006)	Minyak kedelai/metanol/KOH/NaX	Batch	85,6	Sintesis biodiesel menggunakan katalis KOH yang di loading ke dalam zeolit NaX secara Transesterifikasi dengan suhu dan rasio substrat optimum adalah 60 °C dan 1:10
3	Brito et al (2007)	Minyak goreng bekas/ metanol/zeolit Y	Reaktor <i>fixed bed</i>	26	Reaksi transesterifikasi pada temperature 200-476 °C dengan rasio molar metanol dengan

					minyak goreng bekas 6:1
4	Meyer et al (2008)	Trigliserida/metanol/ K-LSX	Reaktor <i>fixed bed</i>	90	Produksi biodiesel dengan reaksi transesterifikasi pada temperatur 90 °C, rasio molar metanol dengan trigliserida 9:1
5	Penelitian ini	Minyak goreng fresh / Metanol / NaOH/Zeolit alam Lampung	Reaktor Batch		preparasi NaOH/zeolit alam Lampung sebagai katalis heterogen untuk sintesis biodiesel dengan menggunakan teknik transesterifikasi

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

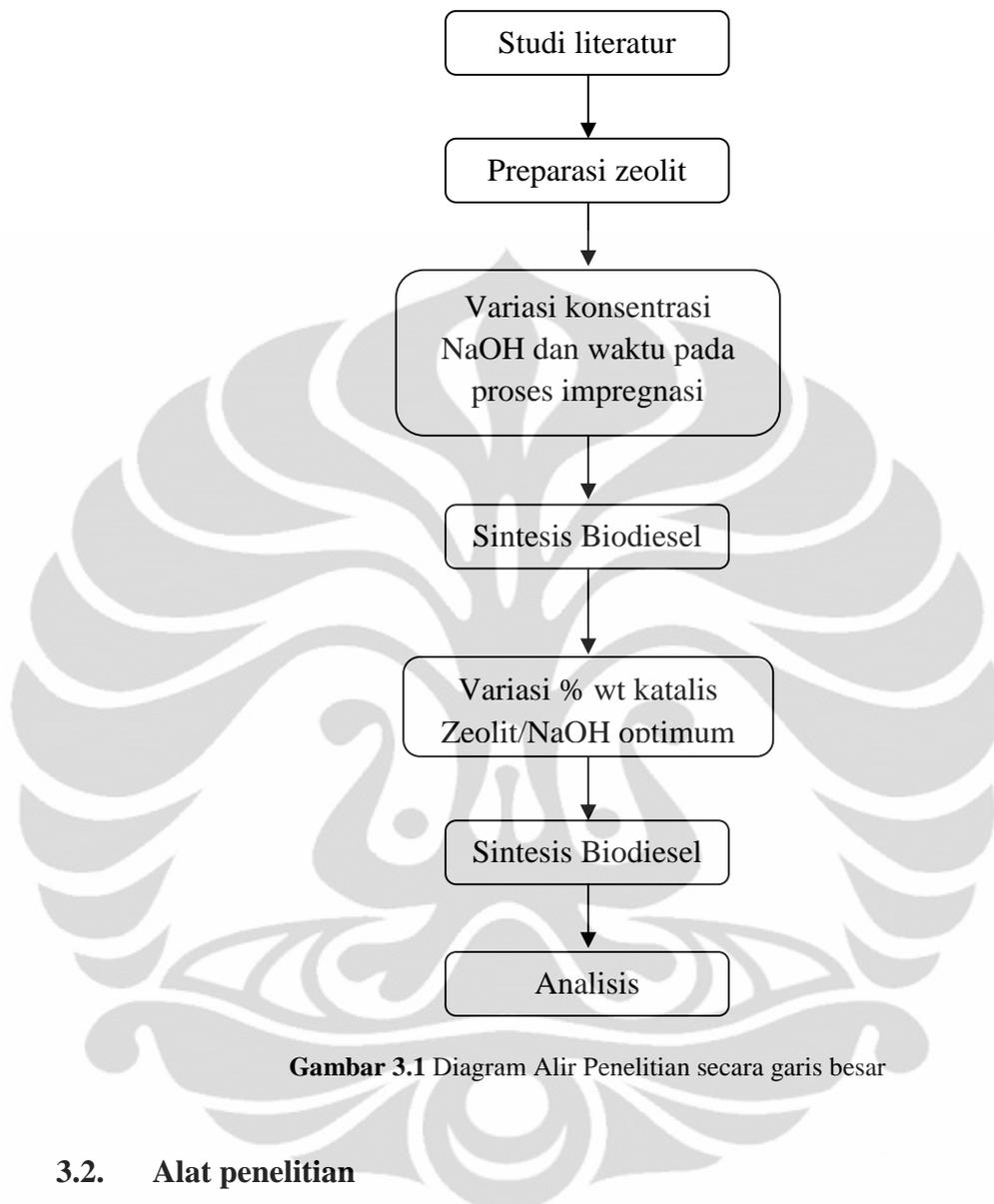
Dalam bab ini akan dibahas alur proses penelitian, peralatan dan bahan yang akan digunakan selama penelitian, variabel penelitian, dan prosedur penelitian. Sebagian besar penelitian akan dilakukan di Laboratorium Bioproses Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

#### **3.1 Alur Penelitian**

Penelitian yang dilakukan untuk membandingkan kinerja katalis heterogen khususnya zeolit ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur untuk mengetahui jenis-jenis zeolit dan katalis basa yang tersedia di pasaran dan dapat digunakan sebagai katalis heterogen dalam proses sintesis biodiesel.
2. Zeolit yang dipilih, akan dipreparasi dengan NaOH untuk memaksimalkan kinerjanya sebelum digunakan sebagai katalis.
3. Katalis NaOH/Zeolit yang terpilih dan telah di preparasi akan digunakan sebagai katalis dalam sintesis biodiesel dengan menggunakan reaktor *batch*.
4. Analisis dan bandingkan % yield biodiesel yang terbentuk

Diagram alir rencana penelitian ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian secara garis besar

### 3.2. Alat penelitian

Untuk mendukung terlaksananya penelitian ini diperlukan beberapa alat, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Reaktor *batch*.
2. agitator
3. Kondensor
4. Pompa air
5. Termometer
6. *Water batch*

7. *Beaker Glass*
8. Cawan Uap
9. Labu ekstraksi
10. Oven
11. Piknometer 10 ml
12. Viskometer *Oswald*
13. HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*) akan digunakan untuk mengukur konsentrasi substrat dan produk.

### 3.3. Bahan Percobaan

Berikut merupakan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Zeolit alam lampung
2. Minyak goreng murni/*fresh*.
3. Bahan kimia lainnya seperti NaOH, metanol, aquades, larutan HF, HCl dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidrat yang merupakan bahan kimia standar untuk percobaan skala lab.

### 3.3 Prosedur Percobaan

#### 3.3.1 Preparasi Zeolit

Dalam penelitian ini juga digunakan 1 tipe zeolit yaitu zeolit alam lampung. Zeolit yang akan digunakan sebagai katalis terlebih dulu akan di preparasi untuk memaksimalkan kinerjanya.

##### 3.3.1.1 Dealuminasi

- Menimbang zeolit 2,1 kg dan direndam dalam larutan HF 1% selama terus diaduk sambil terus diaduk  $\pm$  30 menit.
- Mencuci sampel zeolit dengan aquades hingga bersih sebanyak 2-3 kali
- Keringkan zeolit dalam oven (tungku udara) selama  $\pm$  2 jam pada suhu 120 °C

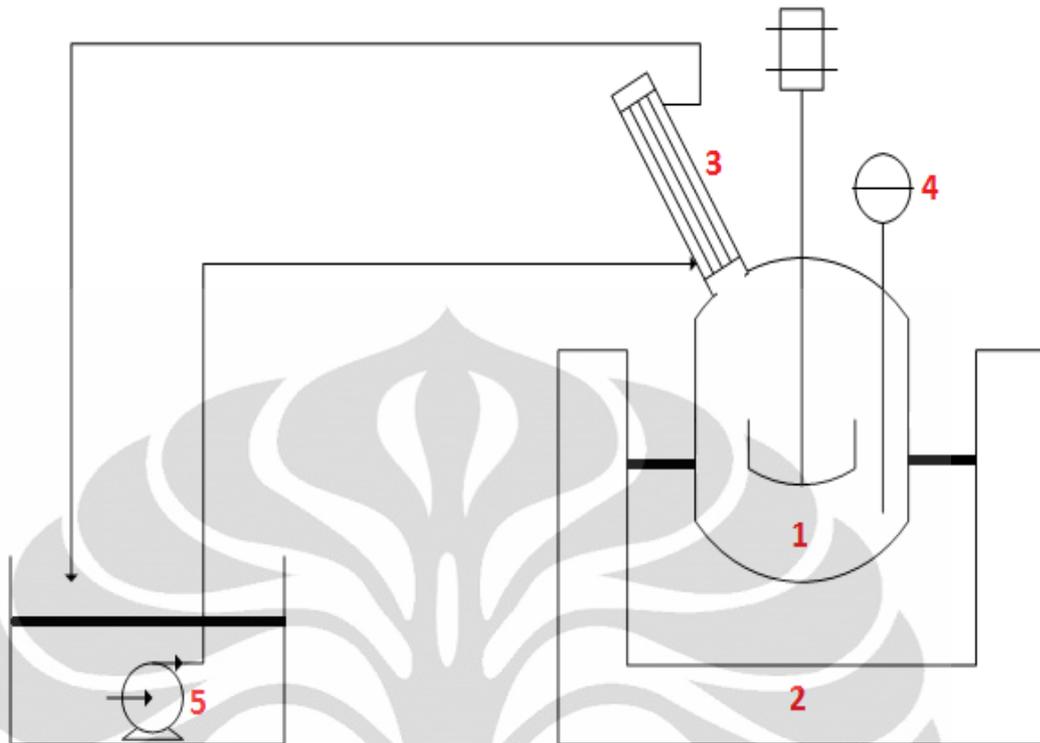
### 3.3.1.2 Impregnasi Basa NaOH

- Siapkan larutan NaOH 0,5 M, 0,75 M, 1 M dan Masukkan 70 gr zeolit dan 200 ml larutan NaOH untuk masing-masing konsentrasi larutan NaOH
- Rendam dan ambil zeolit/ hari lalu kalsinasi pada suhu 120 °C selama  $\pm 2$  jam.
- Lakukan hingga jenuh dan hitung berapa NaOH yang terabsorb.
- Lakukan sintesis biodiesel untuk Katalis yang telah siap untuk per harinya.

### 3.3.2 Percobaan Sintesis Biodiesel dengan menggunakan Reaktor *Batch*

Reaksi interesterifikasi dengan menggunakan reaktor *batch*. Adapun langkah-langkah percobaannya adalah sebagai berikut :

- Siapkan reaktor *batch* untuk sintesis biodiesel
- Lakukan sintesis biodiesel dengan perbandingan mol reaktan 1:10 dan 5% berat katalis zeolit.
- Reaktor yang berisi reaktan dan katalis tersebut akan diaduk selama 3 jam pada suhu 60 °C.
- Hitung nilai densitas, viskositas dan yield yang didapat.
- Lakukan sintesis biodiesel dengan perbandingan mol substrat 1:10 dengan menggunakan variasi % katalis zeolit yang paling jenuh (5%, 10%, 12%, 15%) pada kondisi operasi yang sama seperti diatas.
- Sampel yang diambil akan di analisis dengan menggunakan HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*).



**Gambar 3.2..** Skema reaktor untuk sintesis biodiesel

Keterangan gambar :

1. Reaktor *batch* berpengaduk
2. *Water batch*
3. Kondensor
4. Temperatur indikator
5. Pompa

### 3.3.3 Teknik Analisis Sampel

Untuk mengetahui % *yield* biodiesel yang dihasilkan maka analisa dilakukan menggunakan HPLC (*high performance liquid chromatograph*). Penggunaan HPLC didasari oleh sifat fasa sampel yang berbentuk liquid. Banyaknya (%) *yield* biodiesel yang terbentuk dilihat dari kandungan metil-oleatnya. Komponen oleat digunakan karena mewakili jumlah komponen asam lemak terbesar didalam kandungan trigliserida. Tes analisa sampel menggunakan HPLC yang dilakukan di PUSPITEK (Pusat Penelitian dan Teknologi), Serpong-Tangerang.

Universitas Indonesia

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini difokuskan pada tahap proses transesterifikasi minyak goreng dan preparasi katalis NaOH/Zeolit untuk menghasilkan produk biodiesel (metil ester) dengan menggunakan katalis heterogen NaOH/Zeolit. Produk yang dihasilkan akan dilakukan pengujian densitas, viskositas dan HPLC.

#### 4.1. Preparasi katalis

Pada penelitian ini digunakan padatan zeolit alam Lampung yang akan berfungsi sebagai support atau penyangga katalis NaOH dengan pertimbangan kemudahan dalam mendapatkannya dan juga zeolit merupakan salah satu penyangga katalis yang bagus karena memiliki pori yang dapat dijadikan tempat inti aktif katalis.

##### 4.1.1. Dealuminasi

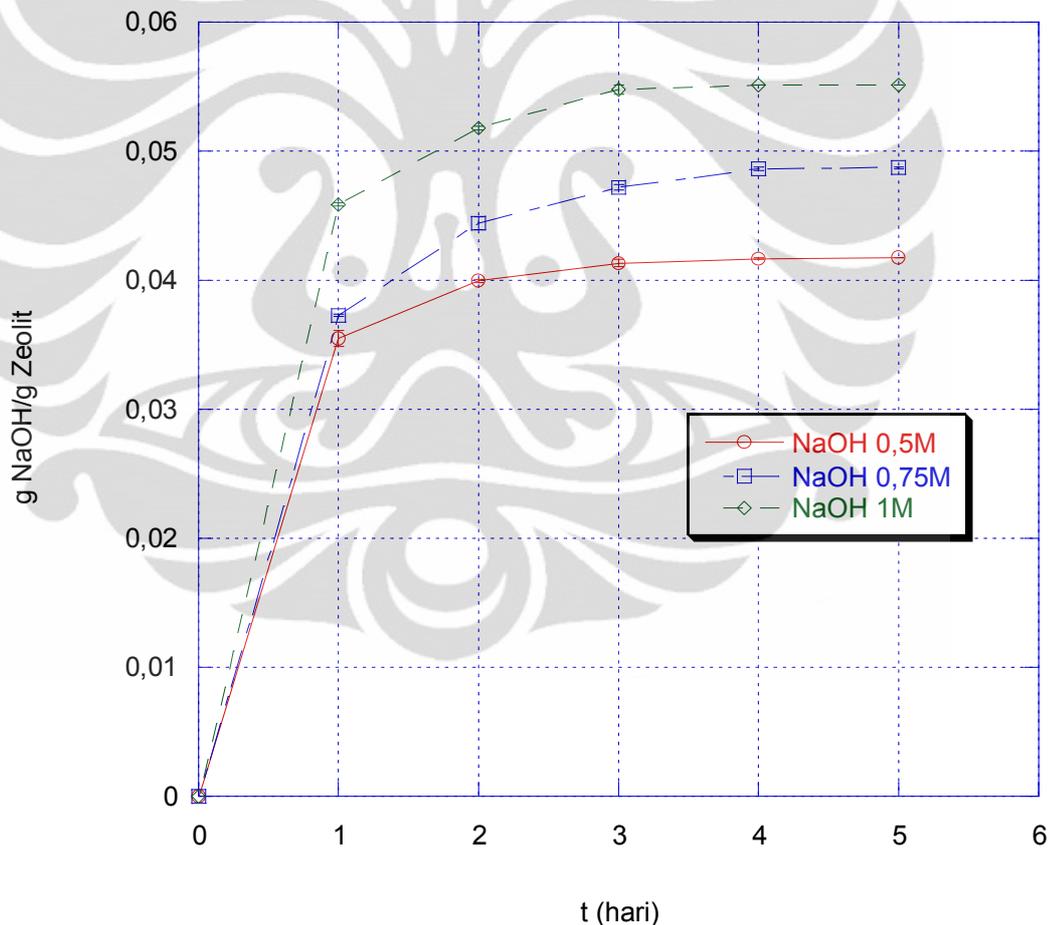
Tahap dealuminasi merupakan proses pengaktifan zeolit yang ditujukan untuk mengurangi efek hambatan dari pertukaran kation dengan cara pencucian  $Al^{3+}$  oleh larutan HF 1% yang diaduk selama 30 menit hingga larutan HF tercampur semua pada zeolit lalu direndam (Hanif, 2009). Perendaman ini dilakukan untuk mengendapkan kandungan pengotor dari zeolit.

Selain itu, proses dealuminasi ini berguna untuk membuka pori-pori zeolit, agar katalis basa NaOH dapat dengan mudah masuk ke dalam pori-pori zeolit. Pencucian dengan menggunakan *aquadesh*, pada proses ini dilakukan untuk menghilangkan asam yang masih tersisa. Setelah sisa asam hilang maka akan dilakukan proses pengeringan menggunakan oven dengan suhu  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 2$  jam, yang bertujuan untuk menghilangkan air dari endapan basah zeolit akibat pencucian dengan *aquadesh* sebelumnya hingga zeolit menjadi kering atau bebas air dan juga untuk memperluas permukaannya sehingga membuat aktifitas mengadsorb pada zeolit akan semakin tinggi.

#### 4.1.2. Impregnasi Basa NaOH

Zeolit hasil proses dealuminasi tadi akan melalui proses impregnasi dengan menggunakan katalis basa NaOH untuk menempelkan inti aktif pada support katalis (zeolit) dengan variasi konsentrasi larutan NaOH yang akan digunakan yaitu 0,5 M, 0,75 M dan 1 M.

Pada proses impregnasi ini setiap variasi NaOH dengan volume 200 mL akan dimasukkan 70 g zeolit. Pada proses impregnasi ini dilakukan uji titrasi pada larutan NaOH yang digunakan, ini dilakukan untuk mengetahui banyaknya NaOH yang mampu terserap oleh zeolit. Berikut merupakan data NaOH yang teradsorp oleh zeolit alam Lampung yang telah melewati proses dealuminasi.



**Gambar 4.1.** Grafik impregnasi dengan variasi konsentrasi larutan Basa NaOH

**Tabel 4.1.** Data perbandingan impregnasi NaOH pada zeolit alam Malang (Lutfhi, 2009)

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

Dapat dilihat dari gambar 4.1. di atas bahwa NaOH yang banyak teradsorpsi adalah dengan menggunakan larutan NaOH dengan konsentrasi 1 M dan sudah jenuh pada hari ke 3. Sedangkan zeolit dengan variasi NaOH 0,5 M dan NaOH 0,75 M jenuh pada hari ke 4. Jumlah tertinggi dari NaOH yang teradsorpsi adalah 0,055 g/g zeolit, sedangkan jumlah NaOH terendah yang teradsorpsi adalah NaOH dengan konsentrasi larutan 0,5 M yaitu sebesar 0,042 g/g zeolit. Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH yang digunakan maka akan semakin tinggi g NaOH yang teradsorpsi dan akan semakin cepat mencapai kejenuhan. Hal tersebut juga dibuktikan oleh Lutfhi yang mengimpregnasi NaOH ke dalam zeolit alam Malang dan mendapatkan NaOH terimpreg tertinggi dengan menggunakan larutan konsentrasi NaOH yang paling besar.

#### 4.1.3. Kalsinasi

Setelah zeolit melalui proses impregnasi basa NaOH, zeolit tersebut akan melalui proses kalsinasi. Proses kalsinasi ini merupakan proses pemanasan zeolit dengan menggunakan oven dengan suhu 125 °C selama  $\pm$  2jam (Xie et al, 2006), hal ini bertujuan untuk mengikat inti aktif katalis basa NaOH menjadi kuat dan tidak lepas.

#### 4.2. Isoterm *Freundlich*

Bagi suatu sistem adsorpsi tertentu, hubungan antara banyaknya zat yang teradsorpsi per satuan luas atau per satuan berat adsorben, dengan konsentrasi zat terlarut pada temperatur tertentu disebut isoterm adsorpsi (Bird, 1993). Oleh Freundlich isoterm adsorpsi ini dinyatakan sebagai.

$$\frac{x}{m} = kC^{1/n} \dots\dots\dots(1)$$

dalam hal ini:

x = jumlah zat teradsorpsi.

m = jumlah adsorben dalam gam.

C = konsentrasi zat terlarut dalam larutan setelah tercapai kesetimbangan adsorpsi.

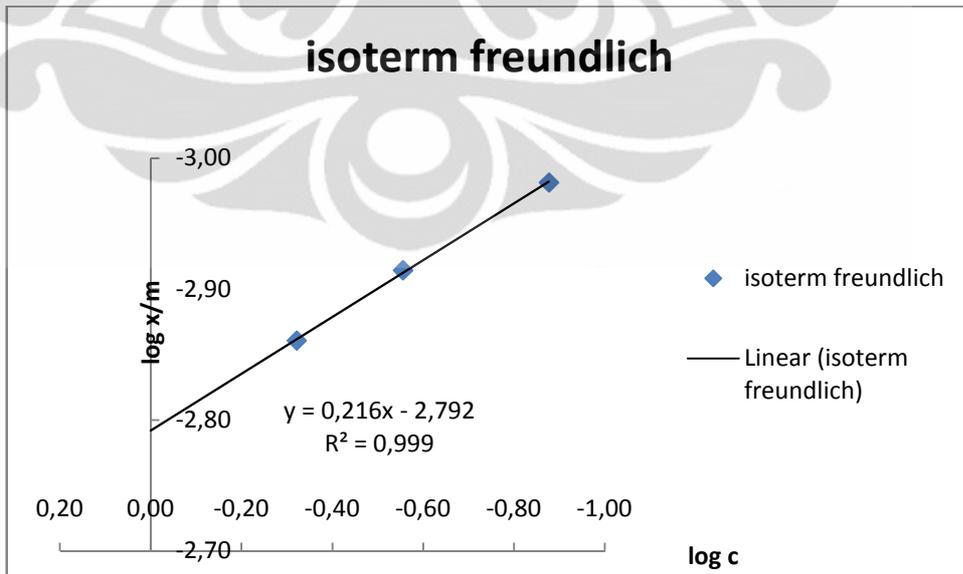
k = tetapan

n = tetapan

Persamaan (1) dapat diubah menjadi :

$$\log \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan ini mengungkapkan bahwa bila suatu proses adsorpsi mengikuti isoterm Freundlich, maka aturan log x/m terhadap log C akan merupakan garis lurus. Dari garis dapat di evaluasi tetapan-tetapan k dan n.



Gambar 4.2. Grafik isoterm freundlich

Dari grafik di atas, Konstanta *Freundlich* yang didapatkan adalah sebesar  $k = 0,0016$  dan nilai  $n = 4,6296$ . Nilai  $k$  adalah nilai yang menunjukkan kapasitas adsorpsi dari zeolit dan dalam kasus ini nilai  $k$  akan semakin bertambah dengan bertambahnya konsentrasi zeolit yang digunakan pada waktu proses impregnasi, begitu pula dengan nilai  $n$  yang bila lebih besar daripada 1 menunjukkan kecenderungan intensitas adsorpsi bila menggunakan konsentrasi yang tinggi (Ibrahim, et.all, 2010)

Dari grafik di atas terlihat bahwa nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) adalah 0,999 dan mendekati 1, hal tersebut membuktikan bahwa nilai adsorpsi NaOH ke permukaan zeolit ini sesuai dengan persamaan isoterm *Freundlich*.

#### 4.3. Sintesis Biodiesel

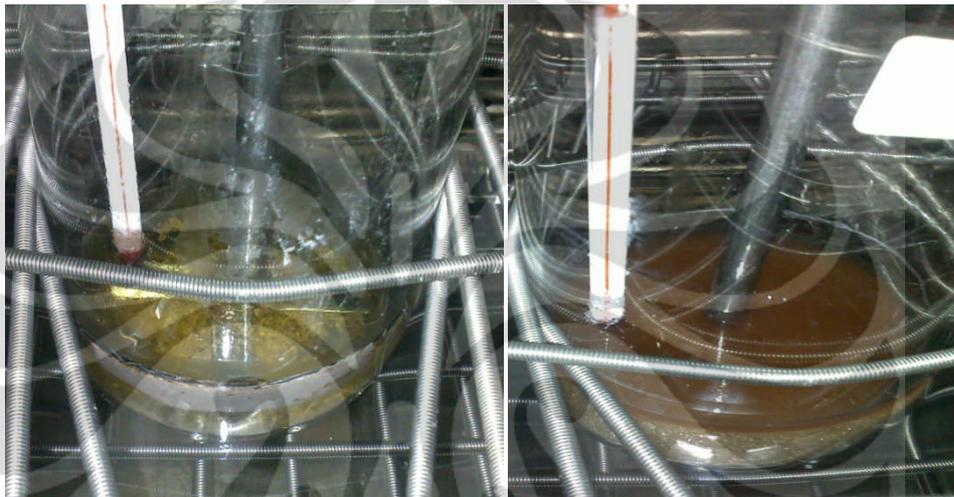
Proses pembuatan biodiesel yang dilakukan ini adalah melalui reaksi transesterifikasi pada kondisi operasi 60 °C (Noiroj, 2008) dengan kecepatan 300 rpm. Reaksi pembuatan biodiesel ini dilakukan menggunakan reaktor *batch* berpengaduk seperti gambar di bawah ini :



Gambar 4.3. Proses pembuatan biodiesel

Universitas Indonesia

Pada penelitian ini dilakukan pra-percobaan dengan menggunakan katalis zeolit yang tanpa menggunakan proses preparasi dan menggunakan NaOH/zeolit dengan proses preparasi. Hasil yang didapatkan adalah dengan menggunakan katalis zeolit tanpa proses impregnasi tidak terbentuk 2 lapisan dan warna minyak tidak berubah setelah proses transesterifikasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi reaksi antara minyak goreng dan metanol yang digunakan.

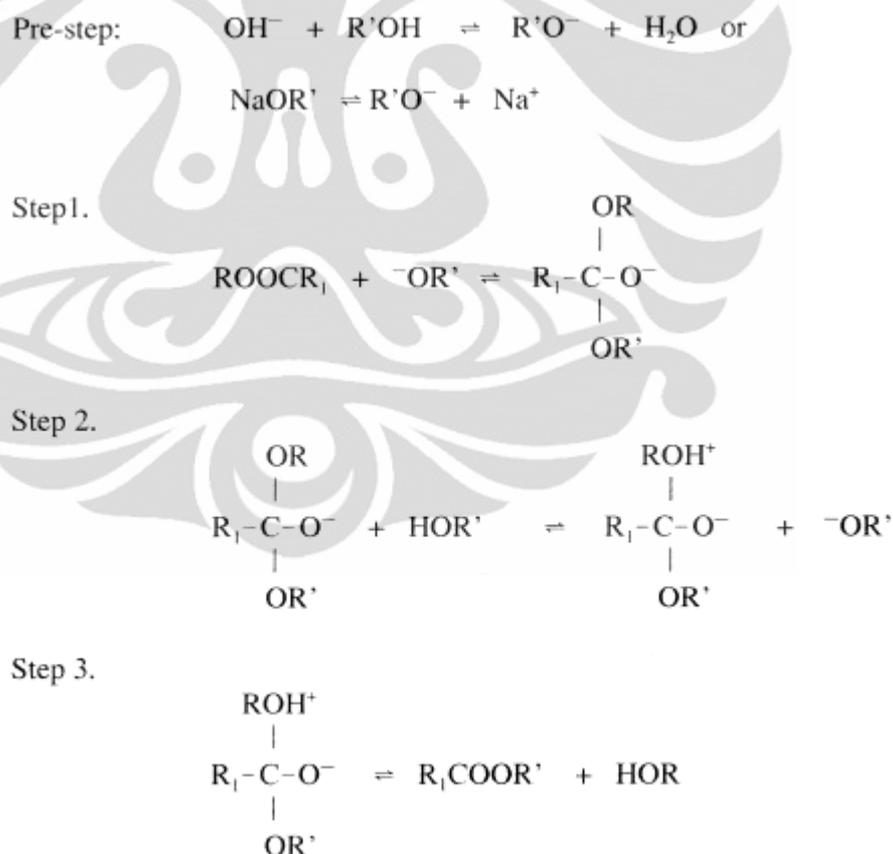


**Gambar 4.4.** sintesis biodiesel menggunakan katalis zeolit (kiri), menggunakan katalis NaOH/Zeolit (kanan).

Pada transesterifikasi ini, trigliserida bereaksi dengan metanol menghasilkan metil ester dan gliserol. Reaksi ini akan cepat mencapai kesetimbangan dengan penambahan katalis. Katalis yang digunakan pada reaksi ini adalah katalis basa NaOH yang disupport oleh zeolit sehingga terbentuk katalis heterogen, dimana katalis basa memiliki aktifitas katalis lebih besar bila dibandingkan katalis asam yang bersifat korosif dan membutuhkan temperatur operasi yang cukup tinggi (lee, 2009).

Secara konvensional, pembuatan biodiesel yang menggunakan katalis homogen akan membutuhkan penanganan lebih lanjut dalam pemurnian produknya, itu dikarenakan katalis homogen ikut tercampur dalam produk. Hal tersebut merupakan alasan mengapa dalam penelitian ini menggunakan katalis heterogen pada proses transesterifikasinya, dengan keunggulannya yaitu mudah dipisahkan campuran reaksinya.

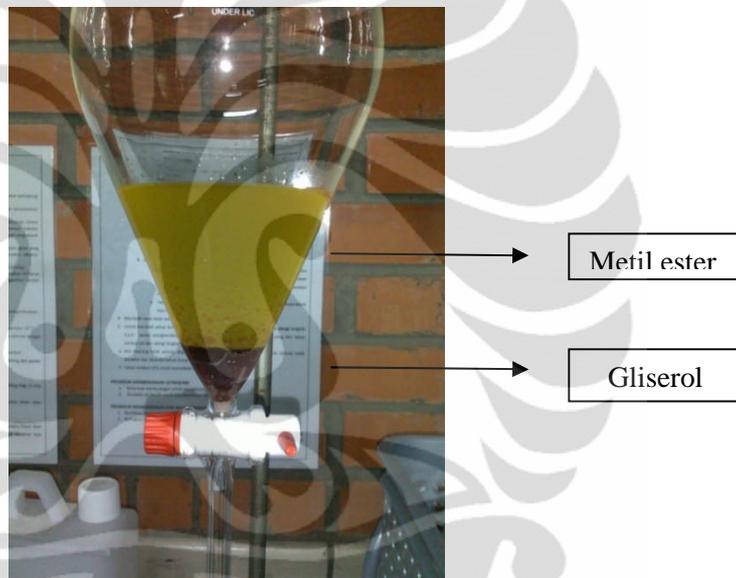
Mekanisme reaksi dari reaksi transesterifikasi katalis basa dirumuskan menjadi tiga tahap. Langkah yang pertama adalah penyerangan atom karbonil pada molekul trigliserida dengan anion dari alkohol (ion metoksida) untuk membentuk *tetrahedral intermediate*. Pada tahap kedua, *tetrahedral intermediate* bereaksi dengan alkohol (methanol) membentuk kembali anion pada alkohol (ion metoksida). Tahap yang terakhir adalah penyusunan kembali hasil *tetrahedral intermediate* pada pembentukan ester asam lemak dan digliserida. Ketika NaOH dicampurkan dengan alkohol, alkoksida akan terbentuk. Sejumlah kecil air dihasilkan pada reaksi dan akan membentuk sabun selama reaksi transesterifikasi (Ma et al., 1998). Pada penelitian ini selama proses transesterifikasi diharapkan air tersebut dapat teradsorb oleh zeolit yang berfungsi sebagai support, sehingga dapat meminimalisasi terbentuknya sabun.



Where R-OH diglyceride, R<sub>1</sub> long chain alkyl group, and R' short alkyl group

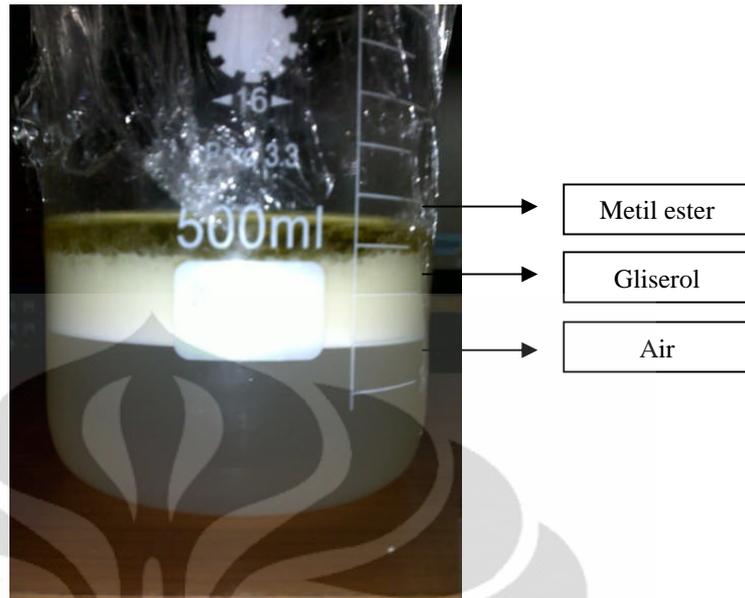
**Gambar 4.5.** Mekanisme reaksi transesterifikasi trigliserida dengan alkohol menggunakan katalis basa (Ma et al, 1999)

Pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan katalis yang telah terimpregnasi basa NaOH yang menggunakan konsentrasi larutan basa NaOH berbeda (0,5M, 0,75M dan 1M) dan pada penelitian juga akan dilakukan dengan menggunakan variasi % wt katalis NaOH/Zeolit yang paling tinggi mengadsorp NaOH. Pada proses pembuatan biodiesel ini digunakan metanol pro analis dengan tingkat kemurnian 99%, hal ini dikarenakan untuk meminimalisasi adanya air yang dapat mengganggu terbentuknya metil ester dalam sintesis biodiesel ini. Dengan menggunakan metanol pro analis dengan kemurnian 99%, reaksi transesterifikasi biodiesel ini menunjukkan terjadinya fasa metil ester dan gliserol.



**Gambar 4.6.** Hasil reaksi transesterifikasi dengan substrat minyak goreng

pada gambar hasil reaksi transesterifikasi dengan substrat minyak goreng di atas, menunjukkan terjadinya 2 lapisan, setelah itu dilakukan proses pemurnian yang bertujuan untuk menghilangkan metanol yang mungkin tidak bereaksi sempurna yaitu dengan cara menambahkan aquades agar gliserol dan methanol yang tidak bereaksi dapat terpisah dari produk biodiesel dan ikut dengan fasa air.



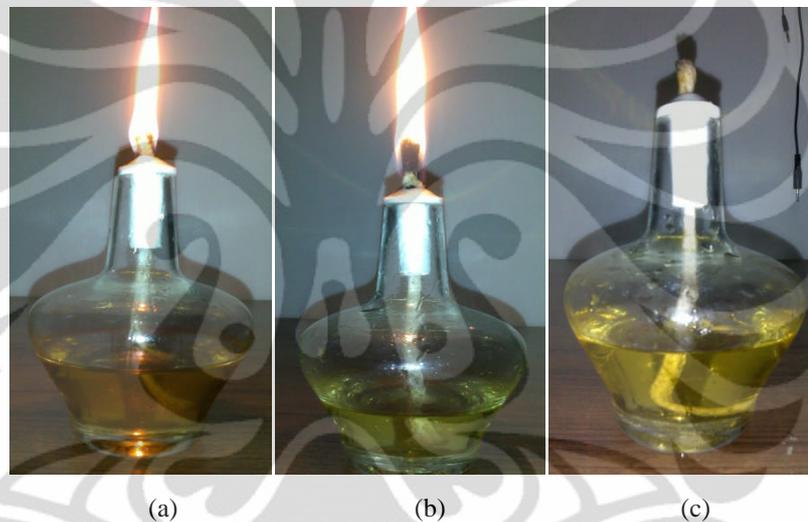
**Gambar 4.7.** Pencucian metil ester dengan menggunakan aquades.

Pada proses pemurnian produk biodiesel dengan menggunakan aquades, terlihat 3 fasa yang terbentuk, metil ester yang terbentuk akan berada di atas sedangkan gliserol dan sabun yang mungkin terbentuk beserta air ada di bagian bawah. Metil ester yang terbentuk pun dipisahkan dari produk samping lainnya, dan diteruskan dengan menambahkan 1 % volume  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidrat, yang bertujuan untuk mengikat sisa air yang masih terkandung dalam metil ester.



**Gambar 4.8** Produk metil ester setelah proses pemurnian

Untuk memastikan adanya biodiesel yang terbentuk dari reaksi transesterifikasi pada penelitian ini, maka akan dilakukan uji pembakaran terhadap produk biodiesel yang diperoleh dari penelitian ini dan akan dibandingkan dengan bahan bakar solar dan minyak goreng (substrat yang digunakan pada penelitian ini). Setelah dilakukan uji pembakaran ternyata produk biodiesel dapat dengan mudah terbakar begitu juga dengan solar sedangkan minyak goreng murni yang digunakan sebagai substrat dalam penelitian ini tidak terbakar. Hal tersebut membuktikan adanya kandungan biodiesel yang terbentuk pada produk yang dihasilkan.



**Gambar 4.9.** Uji pembakaran terhadap solar (a), produk biodiesel (b) dan minyak goreng (c).

#### 4.4 Uji karakteristik produk

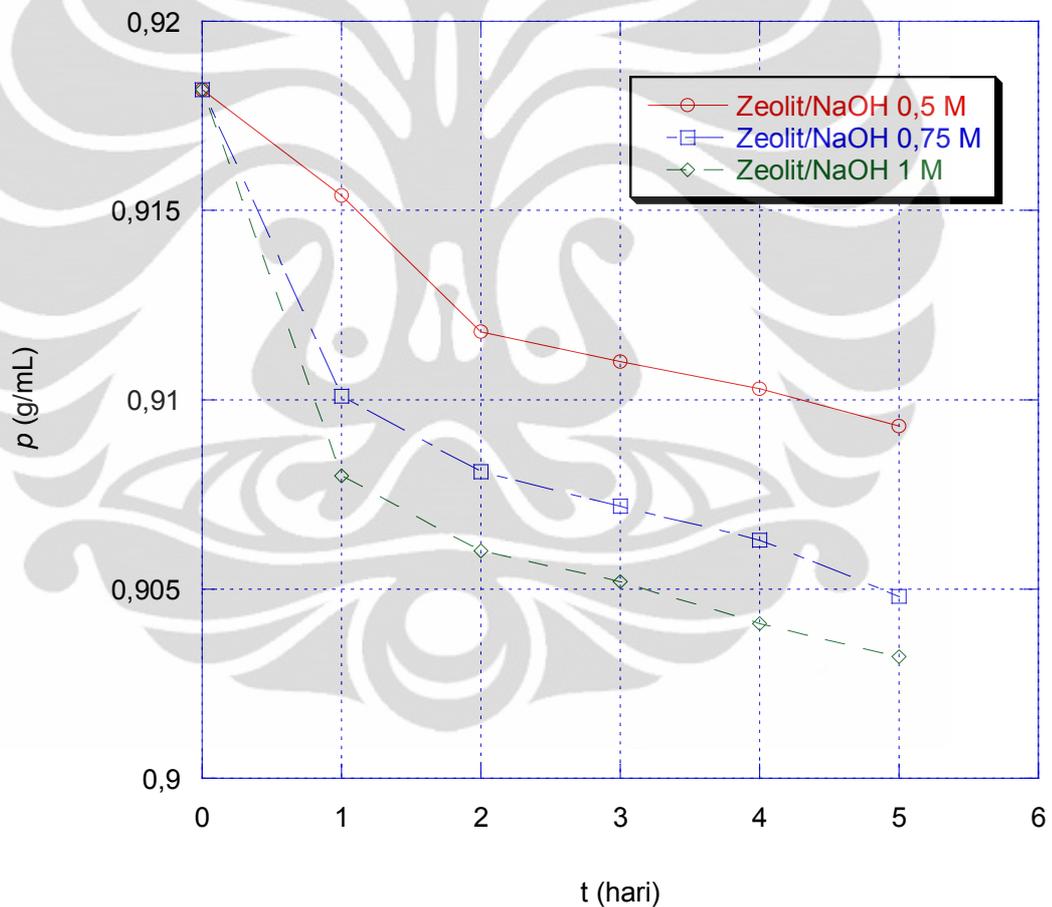
Setelah sintesis produk dilakukan untuk menghasilkan produk biodiesel, maka akan dilakukan pengujian untuk mengetahui perubahan karakteristik dari produk tersebut akibat sintesis yang dilakukan.

##### 4.4.1. Densitas

Densitas merupakan suatu 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 yaitu 27 °C.

**Tabel 4.2** Data densitas biodiesel dengan menggunakan variasi konsentrasi larutan NaOH pada proses aktivasi/hari

t (hari)	densitas biodiesel (g/mL)		
	0,5 M	0,75 M	1 M
0	0.9182	0.9182	0.9182
1	0.9154	0.9101	0.9080
2	0.9118	0.9081	0.9060
3	0.9110	0.9072	0.9052
4	0.9103	0.9063	0.9041
5	0.9093	0.9048	0.9032



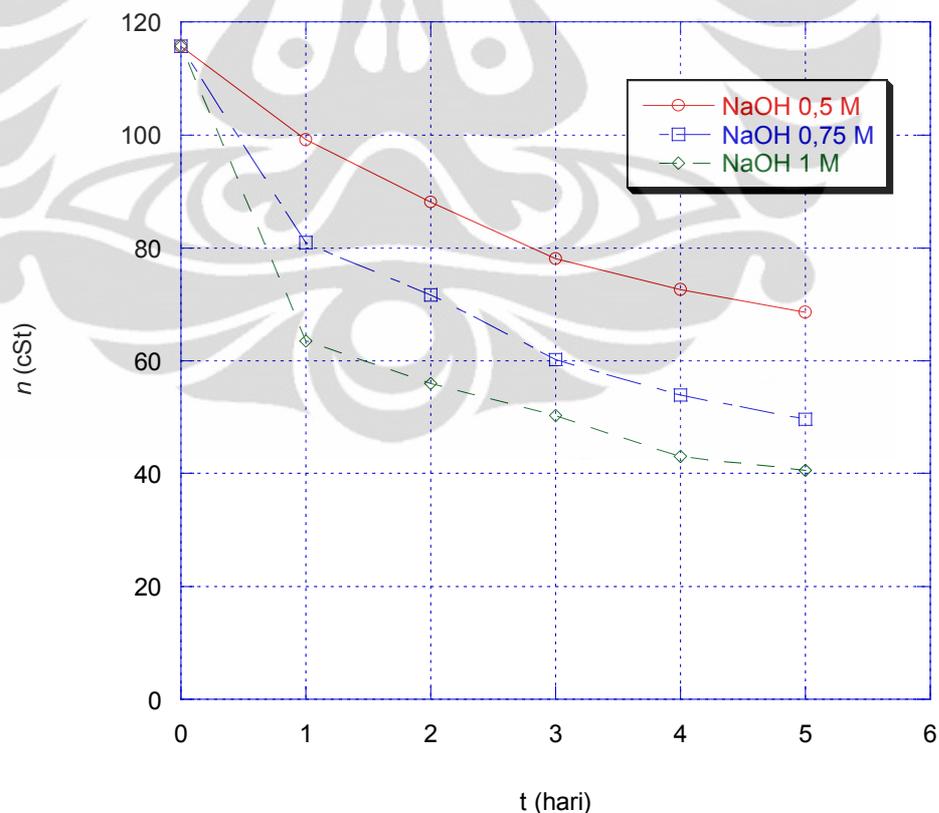
**Gambar 4.10.** Grafik hubungan densitas produk ( $\rho$ ) vs waktu impregnasi katalis NaOH/zeolit ( $t$ )

Katalis yang digunakan per-harinya mengandung kadar NaOH yang berbeda-beda, dimana yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa kandungan NaOH dalam zeolit yang melalui proses impregnasi akan berbeda. Semakin tinggi

konsentrasi basa NaOH yang terkandung di dalam zeolit akan mempengaruhi densitas produk biodiesel yang terbentuk, dengan semakin tinggi konsentrasi basa NaOH yang terkandung dalam zeolit maka densitas dari biodiesel yang terbentuk akan semakin kecil. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan densitas yang cukup signifikan dalam reaksi transesterifikasi ini yaitu sebesar 0,9032 g/mL sedangkan densitas minyak goreng yang digunakan adalah sebesar 0,92 g/mL, hal tersebut menunjukkan adanya reaksi yang terjadi antara substrat minyak goreng dan metanol walaupun nilai densitas yang dihasilkan tidak sesuai dengan karakteristik densitas biodiesel pada umumnya yaitu sebesar 0,87-0,89 g/mL.

#### 4.4.2. Viskositas

Nilai viskositas menunjukkan kekentalan suatu zat cair, berikut merupakan data viskositas dari produk yang diperoleh pada temperatur 27 °C dengan menggunakan Viskometer Oswald.



**Gambar 4.11.** Grafik hubungan viskositas ( $\eta$ ) produk vs waktu impregnasi katalis NaOH/Zeolit (t)

Dari grafik di atas, terlihat dari biodiesel yang terbentuk dari hasil percobaan mempunyai viskositas yang lebih rendah bila dibandingkan dengan minyak goreng sebelum reaksi dilakukan. Hal tersebut menunjukkan bahwa minyak goreng yang digunakan dalam reaksi transesterifikasi ini berhasil bereaksi dengan reaktan metanol. Viskositas biodiesel paling rendah yang didapatkan dari percobaan ini adalah sebesar 40,603 cSt dan hasil viskositas produk yang dihasilkan mengalami penurunan yang signifikan bila dibandingkan dengan viskositas minyak goreng sebelum reaksi yaitu sebesar 115,739 cSt pada suhu ruang yaitu suhu 27 °C. Menurut Knothe dan Steidley viskositas biodiesel pada suhu ruang (25-30 °C) berkisar 5,76-5,15 cSt, maka produk yang didapatkan dalam percobaan ini belum sesuai dengan karakteristik viskositas biodiesel pada umumnya.

**Tabel 4.3.** Data viskositas biodiesel pada temperatur rendah (Knothe et al, 2007)

Temperature (°C)	Biodiesel	Petrodiesel
40	4.15	2.90
35	4.64	3.25
30	5.15	3.64
25	5.76	4.08
20	6.43	4.55
15	7.52	5.31
10	8.67	6.21
5	10.47	7.23
0	11.75	8.58
-5	nd	10.81
-10	nd	nd
LTVR	2.83	2.96

Source: Knothe and Steidley, 2007

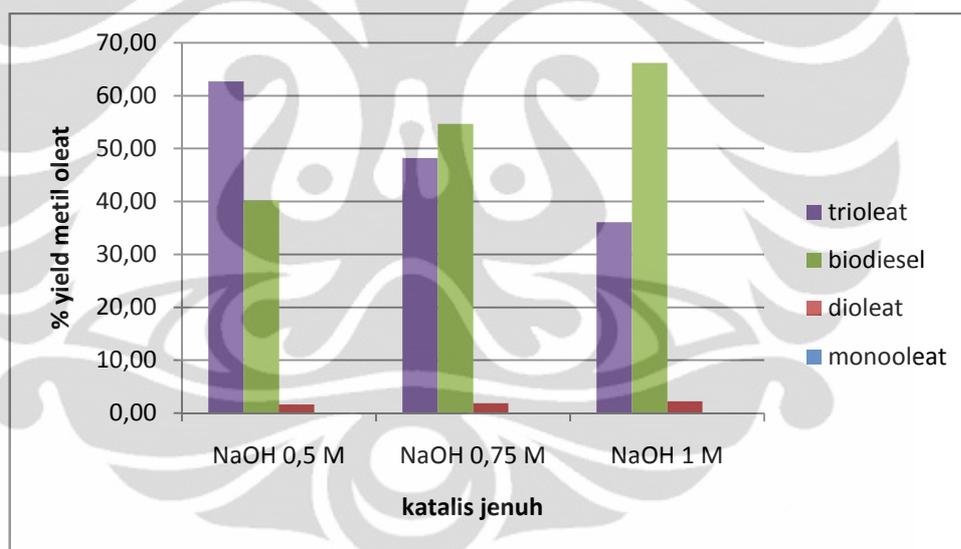
Pada gambar 4.10 di atas menunjukkan viskositas produk biodiesel mengalami penurunan seiring dengan lamanya waktu impregnasi basa NaOH sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan banyaknya NaOH yang teradsorb ke dalam zeolit, reaksi transesterifikasi akan semakin baik, pernyataan tersebut dapat didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Marno, yang melakukan reaksi transesterifikasi tanpa adanya NaOH sebagai katalis dalam reaksi dan menunjukkan viskositas produk biodiesel tidak terjadi penurunan yang signifikan

**Universitas Indonesia**

bila dibandingkan dengan viskositas minyak goreng murni yang direaksikan dengan metanol tanpa adanya NaOH sebagai katalis.

#### 4.5. Uji HPLC

Pada pengujian HPLC ini digunakan standar metil oleat yang terbentuk karena kandungan oleat merupakan salah satu kandungan asam lemak yang terikat pada trigliserida yang cukup besar, sehingga besar metil oleat yang terkandung dalam sampel produk pada penelitian ini dapat dipresentasikan sebagai besarnya biodiesel yang terbentuk. Sampel yang akan dianalisa adalah sampel yang menggunakan katalis zeolit yang paling banyak mengadsorpsi NaOH untuk setiap konsentrasi larutan NaOH yang digunakan dalam proses impregnasi, berikut adalah hasilnya.

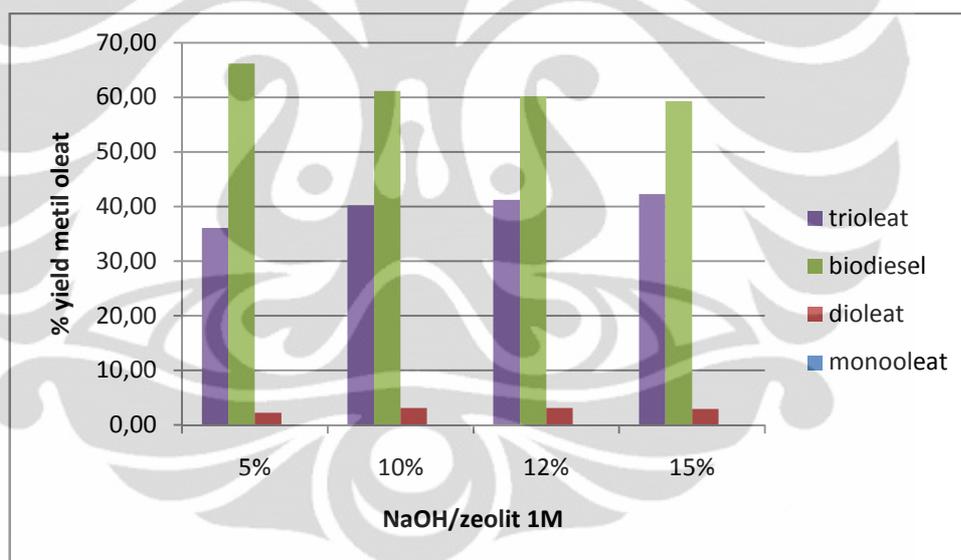


**Gambar 4.12.** Grafik % yield metil oleat Vs konsentrasi katalis NaOH/Zeolit jenuh (rasio 1:10; t = 3jam; T = 60 °C)

Dari percobaan ini dihasilkan % *yield* biodiesel yang paling besar adalah sintesis biodiesel dengan menggunakan katalis NaOH/Zeolit yang menggunakan NaOH 1 M sebesar 66,18 % bila dibandingkan dengan katalis NaOH/Zeolit yang menggunakan konsentrasi NaOH 0,5 M dan 0,75 M pada proses impregnasinya, karena dalam 5% wt katalis NaOH/Zeolit yang menggunakan konsentrasi NaOH 1 M pada proses impregnasinya memiliki jumlah NaOH yang paling besar yaitu

sebesar 0,35 g bila dibandingkan dengan NaOH/Zeolit yang menggunakan konsentrasi NaOH 0,5 M dan 0,75M yang masing-masing memiliki kandungan NaOH sebesar 0,26 g dan 0,31 g. Percobaan serupa juga dilakukan oleh Hanif yang mendapatkan % *yield* sebesar 80%. Pada percobaan yang dilakukan oleh Hanif yang menggunakan katalis KOH/Zeolit, Hanif menggunakan konsentrasi KOH yang lebih besar yaitu sebesar 1,25 M sehingga % *yield* yang didapat oleh Hanif lebih besar bila dibandingkan dengan hasil % *yield* yang didapat dalam percobaan ini.

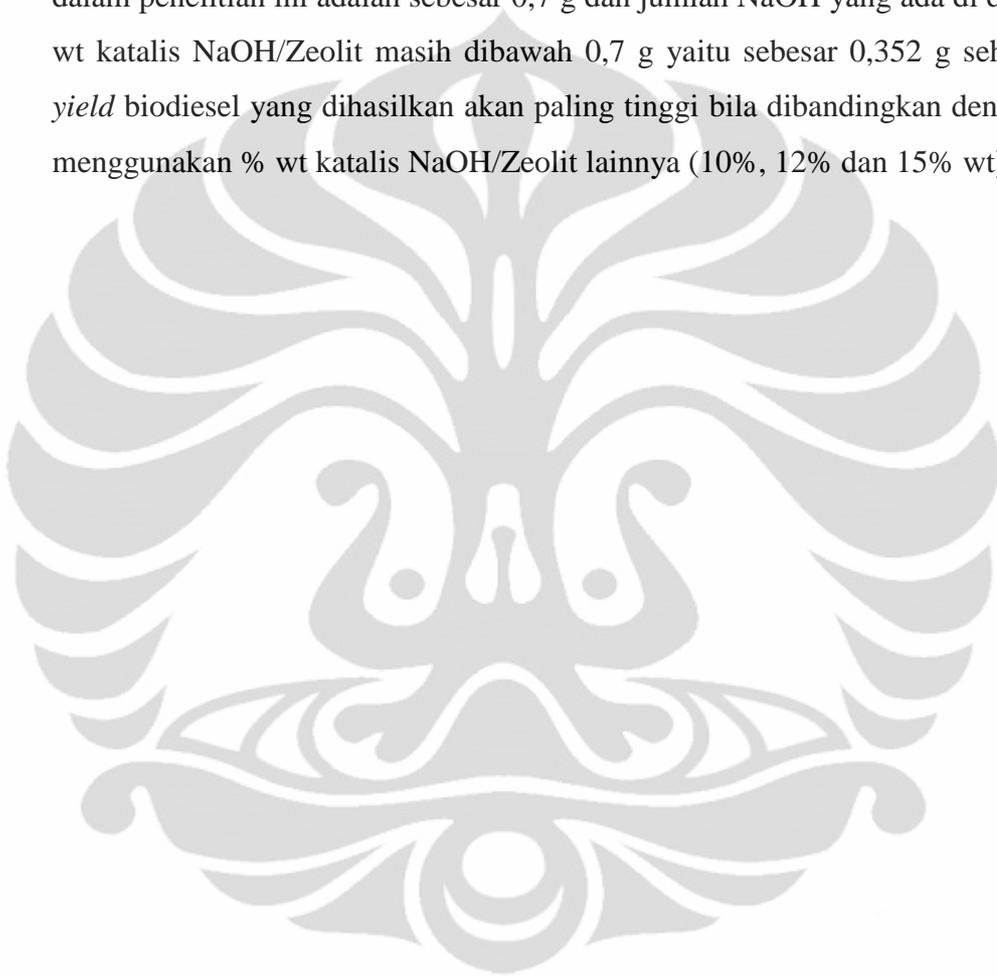
Setelah didapatkan katalis yang paling baik dalam memperoleh % *yield* biodiesel, percobaan ini dilanjutkan dengan memvariasikan % wt dari katalis NaOH/Zeolit jenuh yang menggunakan konsentrasi larutan NaOH 1M. Berikut adalah hasilnya.



**Gambar 4.13.** Grafik % *yield* metil oleat vs % wt konsentrasi katalis Zeolit/NaOH 1M (rasio 1:10; t = 3 jam; T = 60 °C)

Gambar grafik 4.13. menunjukkan % *yield* biodiesel dan kandungan yang lainnya pada produk yang dihasilkan dengan perbandingan berat katalis NaOH/zeolit paling optimum dan nilai % *yield* biodiesel yang paling optimal didapatkan adalah sebesar 66,18% dengan menggunakan berat katalis NaOH/Zeolit paling optimum seberat 5% dari total substrat. Menurut Felizardo et al, batas maksimum NaOH yang digunakan sebagai katalis pada sintesis biodiesel

adalah 0,6% wt dari berat total substrat dengan waktu reaksi selama 1 jam, sedangkan pada penelitian ini dengan menggunakan 10% , 12% dan 15% wt zeolit dari berat total substrat yang dipakai mengandung lebih dari 0,6% wt NaOH, sehingga % *yield* yang dihasilkan akan lebih sedikit. Jadi jika berdasarkan data yang diperoleh Felizardo et al, batas maksimum NaOH yang dapat digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 0,7 g dan jumlah NaOH yang ada di dalam 5% wt katalis NaOH/Zeolit masih dibawah 0,7 g yaitu sebesar 0,352 g sehingga % *yield* biodiesel yang dihasilkan akan paling tinggi bila dibandingkan dengan yang menggunakan % wt katalis NaOH/Zeolit lainnya (10%, 12% dan 15% wt).



## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

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

- Zeolit alam lampung yang digunakan pada penelitian ini dapat digunakan sebagai support untuk sintesis biodiesel melalui proses transesterifikasi minyak goreng dengan mengimpregnasi larutan basa NaOH yang menggunakan variasi konsentrasi larutan basa NaOH.
- Besarnya konsentrasi larutan basa NaOH akan mempengaruhi besarnya g NaOH yang teradsorb oleh zeolit dan lamanya waktu penjenuhan, nilai gr NaOH paling besar yang teradsorb adalah sebesar 0,055 g/g zeolit dengan menggunakan konsentrasi larutan NaOH 1M pada proses impregnasi dan dengan waktu penjenuhan adalah hari ke-3, sedangkan gr NaOH yang paling sedikit diperoleh oleh zeolit yang di impregnasi dengan menggunakan larutan basa NaOH 0,5 M dengan kandungan 0,041 g/g zeolit dengan lama waktu penjenuhan adalah selama 4 hari.
- Adsorpsi NaOH pada zeolit yang dilakukan pada proses impregnasi menunjukkan bahwa hasil penelitian sesuai dengan model adsorpsi *isoterm Freundlich* dengan nilai  $k = 0,0016$  dan nilai  $n = 4,6296$ .
- Hasil pengujian dengan menggunakan HPLC, konversi trigliserida dan % yield biodiesel terbesar pada penggunaan 5% wt katalis jenuh dengan perbedaan konsentrasi larutan basa NaOH pada proses impregnasi, diperoleh dengan menggunakan katalis/zeolit NaOH 1M yaitu sebesar 63,93 % trigliserida terkonversi Dan 66,18 % yield biodiesel dengan waktu reaksi 3 jam. Hal tersebut membuktikan bahwa semakin tinggi NaOH yang terkandung dalam zeolit akan membuat konversi trigliserida dan % yield biodiesel yang didapatkan akan semakin tinggi. Sedangkan % yield yang didapatkan oleh Hanif. Adalah sebesar 85 % dengan waktu reaksi 8 jam.

- Pada penggunaan variasi %wt katalis zeolit/NaOH 1M untuk sintesis biodiesel % yield biodiesel terbesar yang dihasilkan dari penelitian ini adalah sebesar 66,18 % dengan penggunaan 5 % wt katalis zeolit/NaOH 1M, hal tersebut membuktikan bahwa dengan penggunaan 5% wt katalis zeolit/NaOH 1M merupakan batas optimal yang paling baik untuk mendapatkan % yield biodiesel paling tinggi.
- Untuk densitas metil ester terbaik yang mendekati densitas biodiesel pada literatur pada penelitian ini adalah sebesar 0,90315 gr/ml dengan waktu reaksi transesterifikasi 3 jam, sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Hanif adalah sebesar 0,881 gr/ml dengan waktu reaksi transesterifikasi 8 jam.
- Untuk nilai viskositas metil ester terbaik yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebesar 40,60 cSt @ 27°C dengan waktu reaksi 3 jam, sedangkan nilai viskositas yang didapatkan oleh Hanif adalah sebesar 3,866 cSt @ 40 °C dengan waktu reaksi 8 jam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bird, T, Bird. (1993). *Kimia Fisik untuk Universitas*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Brito, A.; Borges, E. M.; Otero, N. (2007). *Zeolit Y as a Heterogeneous Catalyst in Biodiesel Fuel Production from Used Vegetable Oil*. *Energy Fuels*, 21, 3280-3283.
- Du, W; Xu, Y; Dehua, L; Zeng, J. (2004). *Comparative study on lipase-catalyzed transformation of soybean oil for biodiesel production with different acyl acceptors*. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. 30, 125–129.
- Felizardo, P., Correia, M.J.N., Paposo, I., Mendes, J.F., Berkemeier, R., Bordado, J.M. (2006). *Production of biodiesel from waste frying oils*. *Waste Manage*, 26, 487–94.
- Ibrahim, H. S; Jamil, T.S; Hegazy, E. Z. (2010). *Application of Zeolite Prepared from Egyptian Kaolin for the Removal of Heavy metals: II. Isotherm Models*. *Journal of Hazardous Materials*, 824-847.
- Hanif, A. S. (2008). *Sintesis Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi Minyak Sawit Menggunakan Katalis Heterogen KOH/Zeolit*. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Hermasnyah, H; Arbianti, R; Utami, T.S; Wafa, A. (2009). *Sintesis Biodiesel dari Minyak Nabati melalui Rute Non Alkohol secara Kontinyu menggunakan Candida Rugosa Lipase*. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Haryanto, Bode. (2002). *Bahan Bakar Alternatif Biodiesel*. Jurusan Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara: USU digital library.
- Kim, M.; Salley, S. O.; Ng, K. Y. S. (2008). *Transesterification of Glycerides Using a Heterogeneous Resin Catalyst Combined with a Homogeneous Catalyst*. *Energy Fuels*, 22 (6), 3594-3599.
- Kim, S. J; Jung, S. M; Park, Y. C; Park, K. (2007). *Lipase Catalyzed transesterification of Soybean Oil Using Ethyl Acetate, an Alternative Acyl Acceptor*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 12: 441-445.
- Kitakawa, N. S., Honda, H., Kuribayashi, H., Toda, T., Fukumura, T., Yonemoto, T. (2005). *Biodiesel production using anionic ion-exchange resin as heterogeneous catalyst*. *Bioresour. Technol.* 98, 416-421.

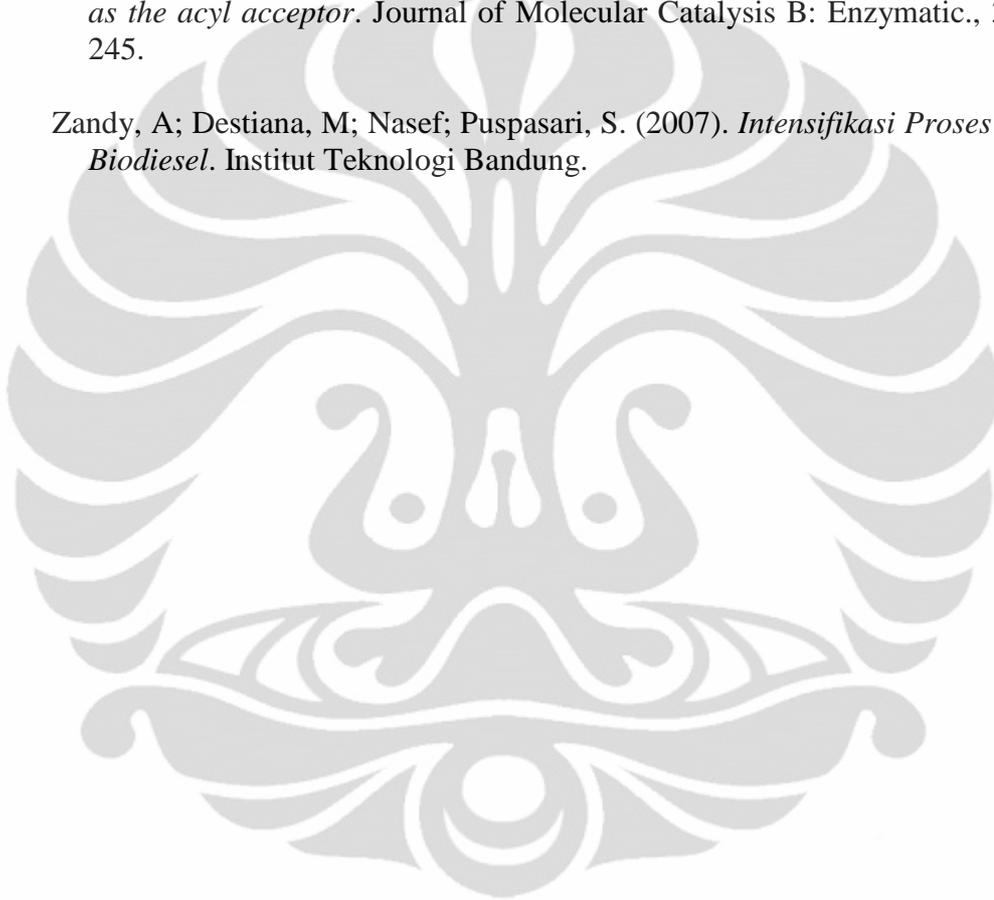
- Lee, D. W.; Park, Y. M.; Lee, K. Y. (2009). *Heterogeneous Base Catalysts for Transesterification in Biodiesel Synthesis*. Catal Surv Asia. 13:63–77
- Lopez, D. E.; Goodwin, J. G.; Bruce, D. A.; Lotero, E. (2005). *Transesterification of triacetin with methanol on solid acid and base catalysts*. Appl. Catal., A, 295 (2), 97-105.
- Lutfi,. *Pembuatan Katalis Heterogen NaOH/Zeolit untuk Sintesis Biodiesel melalui Reaksi Transesterifikas*. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Ma, Fangrui, Hanna, Millford A., (1998). *Biodiesel production: a review*. Bioresource Technology, 70, 1-15.
- Marno, S. (2008). *Interesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dengan Metil Asetat menggunakan Biokatalis untuk Memproduksi Biodiesel*. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Meyer, O.; Robner, F.; Rakoczy, R. A.; Fischer, R. W. (2008). *A new heterogenous process catalyst for the biodiesel production*. Future feedstocks For Fuels and Chemical.
- Mittlebach, M.; Remschmidt, Claudia. (2004). *Biodiesel The Comprehensive Handbook*. Vienna: Boersedruck Ges. M. bH.
- Modi, M. K; Reddy, J. R.C; Rao, B.V. S. K; Prasad, R. B. N. (2007). *Lipase-mediated conversion of vegetable oils into biodiesel using ethyl acetate as acyl acceptor*. Bioresource Technology, 98, 1260-1264.
- Park, J. Y.; Kim, D. K.; Wang, Z. M.; Lee, J. P. ; Park, S. C.; Lee, J.S. (2008). *Production of Biodiesel From Soapstock Using an Ion-Exchange Resin Catalyst*. Korean J. Chem. Eng., 25 (6), 1350-1354.
- Srivastava, A.; Prasad, R. (2000) *Triglycerides-based diesel fuels*. Renewable Sustainable Energy Rev., 4, 111-133.
- Suspes, G, J.; Dasiri, M. A.; Doskocil, E. J.; Mankidy, P. J.; Goff, M. J. (2004). *Transesterification of soybean oil with zeolite and metal catalysts*. Applied Catalysis, 257, 213-223
- Talukder, M. M. R.; Wu, J. C.; Lau, S. K.; Cui, L. C.; Shimin, G.; Lim, A. (2009) *Comparison of Novozym 435 and Amberlyst 15 as Heterogeneous Catalyst for Production of Biodiesel from Palm Fatty Acid Distillate*. Energy Fuels, 23(1), 1-4.
- Thamzil. (2008). *Potensi Zeolit untuk Mengolah Limbah Industri dan Radioaktif*.

Vicente, G.; Coteron, A.; Martinez.; Aracil, J. (1998). *Application of the factorial design of experiments and response surface methodology to optimize biodiesel production*. *Industrial Crops and Products*, 8, 29-35.

Xie, W, Huang X. (2006). Soybean oil Methyl Esters Preparation Using NaX Zeolites Loadedwith KOH. *Journal School of Chemistry and Chemical Engineering*, 936-939.

Xu, Y; Du, W; Liu, D. (2005). *Study on the kinetics of enzymatic interesterification of triglycerides for biodiesel production with methyl acetate as the acyl acceptor*. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic.*, 32, 241–245.

Zandy, A; Destiana, M; Nasef; Puspasari, S. (2007). *Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel*. Institut Teknologi Bandung.



## LAMPIRAN

### LAMPIRAN A

#### A.1 Perhitungan jumlah reaktan yang dipergunakan

- Berat molekul minyak goreng (g/mol) : 846,584
- Massa jenis minyak (g/ml) : 0,92
- Berat molekul metanol (g/mol) : 32
- Massa jenis metanol (g/ml) : 0,79
  
- Volume minyak yang digunakan = 100 ml
- Massa minyak =  $100 \times 0,92 \text{ gr/ml}$   
= 92 gr
- Mol minyak =  $\frac{92 \text{ gr}}{846,584 \frac{\text{gr}}{\text{ml}}}$   
= 0,108672 mol
  
- Mol metanol =  $\frac{10}{1} \times 0,108672 \text{ mol}$   
= 1,08672 mol
  
- Massa metanol =  $32 \text{ gr/mol} \times 1,08672 \text{ mol}$   
= 34,775 gr
  
- Volume metanol =  $\frac{34,775}{0,79 \frac{\text{gr}}{\text{ml}}}$   
= 44,019 ml
  
- Berat total substrat =  $92 \text{ gr} + 34,775 \text{ gr}$   
= 126,775 gr

## A.2 Perhitungan penggunaan katalis

- 5% dari berat total substrat =  $0,05 \times 126,775 \text{ gr}$   
= 6,4 gr
- 10% dari berat total substrat = 12,8 gr
- 12% dari berat total substrat = 15,21 gr
- 15% dari berat total substrat = 19,2 gr



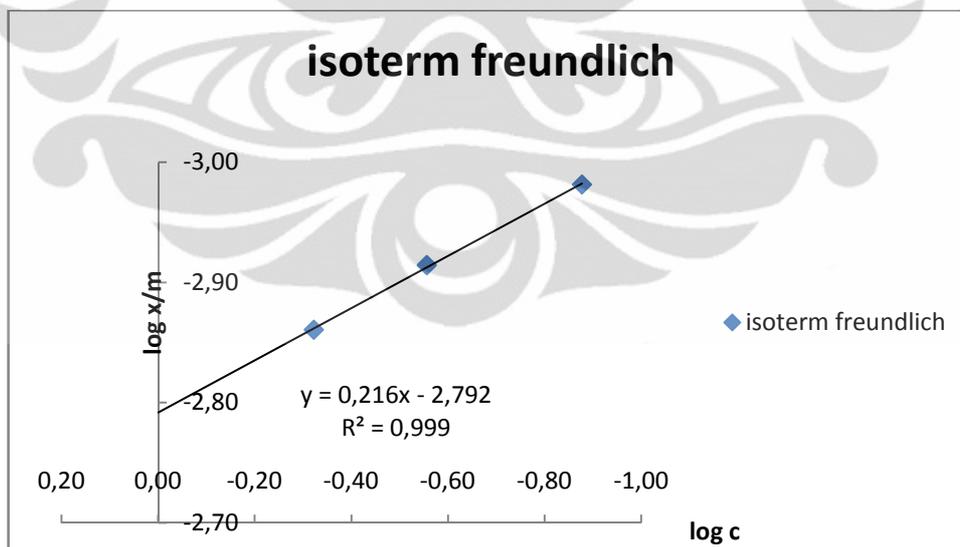
## LAMPIRAN B

### B.1 Data perhitungan NaOH teradsorb saat proses impregnasi

hari	g NaOH/g Zeolit		
	NaOH 0,5 M	NaOH 0,75 M	NaOH 1 M
0	0.000	0.000	0.000
1	0.035	0.037	0.046
2	0.040	0.044	0.052
3	0.041	0.047	0.055
4	0.042	0.049	0.055
5	0.042	0.049	0.055

### B.2 Data perhitungan adsorpsi *Isoterm Freundlich*

Konsentrasi NaOH	x/m	c	log x/m	log c
0,5 M	0.0010	0.1327	-2.98	-0.88
0,75 M	0.0012	0.2780	-2.91	-0.56
1 M	0.0014	0.4764	-2.86	-0.32



$$k = 0,0016$$

$$n = 4,6296$$

## LAMPIRAN C

### C.1. Contoh pengolahan data HPLC

- **Data luas area dan konsentrasi standar**

Standar	Rute Alkohol			
	Zat	Luas Area	Konsentrasi mg/l	Konsentrasi mol/l
T		389772	1.0000	0.000980027
D		886988	1.0000	0.001408014
M		2693365	1.0000	0.002490908
F		496804	10.0000	0.029286007

Keterangan: Notasi T menyatakan Tri oelat, D menyatakan Di oelat, M menyatakan mono oelat, dan F menyatakan *Fatty Acid Methyl Ester* (Biodiesel).

- **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 secara sederhana dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Konsentrasi sampel (mol/L)} = \frac{\text{Luas area sampel}}{\text{Luas area standar}} \times \text{konsentrasi standar (mol/L)} \quad [\text{C.1}]$$

- **Contoh perhitungan interpolasi**

Data percobaan yang diperoleh setelah diinterpolasi dengan data standar yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Konsentrasi sampel yang diperoleh setelah di-interpolasi dengan data standar

zat	Minyak Goreng murni	
	Luas Area	Konsentrasi mol/l
T	5785935	0.0145
D	625804	0.0010
M	0	0.0000
F	0	0.0000

- **Rumus perhitungan % mol balance**

Setelah mendapatkan konsentrasi sampel menggunakan interpolasi terhadap data standar yang digunakan, maka konsentrasi biodiesel yang terbentuk saat  $t$  tertentu dihitung menggunakan % mol balance.

$$\% \text{ mol balance} = \frac{3 \times C_{T,t=t} + 2 \times C_{D,t=t} + C_{M,t=t} + C_{B,t=t}}{3 \times C_{T,t=0} + 2 \times C_{D,t=0} + C_{M,t=0} + C_{B,t=0}} \times 100\% \quad [\text{C. 2}]$$

Dari persamaan [C.1] juga diperoleh konsentrasi biodiesel saat  $t = t$ . Untuk mendapatkan % yield biodiesel yang terbentuk maka konsentrasi biodiesel yang terbentuk dibandingkan dengan konsentrasi awal substrat. Pengertian % *yield* konsentrasi disini merupakan perbandingan konsentrasi produk terhadap konsentrasi awal substrat.

Untuk mengetahui % konversi tri oelat dan % yield untuk masing-masing komponen dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\% \text{ konversi Tri oelat} = \frac{C_{T,t=0} - C_{T,t=t}}{C_{T,t=0}} \times 100\% \quad [\text{C. 3}]$$

$$\% \text{ yield di oelat} = \frac{C_{D,t=t} \times 2}{(C_{T,t=0}) \times 3} \times 100\% \quad [\text{C. 4}]$$

$$\% \text{ yield mono oleat} = \frac{C_{M,t=t}}{(C_{T,t=0})} \times 100\% \quad [\text{C. 5}]$$

$$\% \text{ yield Biodiesel} = \frac{C_{B,t=t}}{C_{T,t=0}} \times 100\% \quad [\text{C. 6}]$$



## LAMPIRAN D

D.1 Data % yield biodiesel menggunakan 5% wt katalis Zeolit/NaOH dengan perbedaan variasi konsentrasi larutan NaOH pada proses impregnasi.

Katalis NaOH/Zeolit	t (Jam)	Luas Area	Konsentrasi (mol/l)	% mol Balance						
			T		D		M		F	
	0	5785935	0.0145	625804	0.0010	0	0.0000	0	0.0000	100.00
NaOH/Zeolit 0,5M	3.00	3628101	0.0091	222005	0.0004	0	0.0000	279879	0.0175	99.95
NaOH/Zeolit 0,75 M	3.00	2789601	0.0070	212495	0.0004	0	0.0000	242020	0.0238	99.98
NaOH/Zeolit 1 M	3.00	2086865	0.0052	308460	0.0005	0	0.0000	398579	0.0289	99.94

5% katalis	Perbandingan mol = 1:10		
t = 3 jam	variasi Konsentrasi katalis		
Komponen	NaOH 0,5 M	NaOH 0,75 M	NaOH 1 M
3*CT, t=0	0.04		
2*CD, t=0	0.00		
CM, t=0	0.00		
CB, t=0	0.00		
3*CT, t=t	0.0274	0.0210	0.0157
2*CD, t=t	0.0007	0.0008	0.0010
CM, t=t	0.0000	0.0000	0.0000
CB, t=t	0.0175	0.0238	0.0289

5% katalis	Perbandingan mol = 1:10		
t = 3 jam	variasi Konsentrasi katalis		
Komponen	NaOH 0,5 M	NaOH 0,75 M	NaOH 1 M
% konversi trigliserida	37.2945	51.7865	63.9321
% Yield Trigliserida	62.71	48.21	36.07
% Yield digliserida	1.6150	1.8920	2.2439
% Yield monogliserida	0.0000	0.0000	0.0000
% Yield biodiesel	40.1813	54.4310	66.1805

D.2. Data % yield biodiesel menggunakan 5% wt; 10% wt; 12 wt dan 15 wt katalis Zeolit/NaOH yang menggunakan larutan NaOH 1M pada saat jenuh pada proses impregnasi.

% wt Katalis NaOH/Zeolit	t (Jam)	Luas Area	Konsentrasi (mol/l)	% mol Balance						
			T		D		M		F	
	0	5785935	0.0145	625804	0.0010	0	0.0000	0	0.0000	100.00
5% wt katalis NaOH 1M	3.00	2086865	0.0052	308460	0.0005	0	0.0000	398579	0.0289	99.94
10% wt katalis NaOH 1M	3.00	2328646	0.0059	429134	0.0007	0	0.0000	357511	0.0267	99.99
12% wt katalis NaOH 1M	3.00	2085430	0.0060	1174554	0.0007	0	0.0000	241888	0.0263	99.98
15% wt katalis NaOH 1M	3.00	2445564	0.0061	404910	0.0006	0	0.0000	310607	0.0259	99.98

5% katalis	Perbandingan mol = 1:10			
t = 3 jam	variasi Konsentrasi katalis			
Komponen	5%	10%	12%	15%
3*CT, t=0	0.04			
2*CD, t=0	0.00			
CM, t=0	0.00			
CB, t=0	0.00			
3*CT, t=t	0.015741	0.017565	0.017993	0.018447
2*CD, t=t	0.00	0.00	0.00	0.00
CM, t=t	0.00	0.00	0.00	0.00
CB, t=t	0.03	0.03	0.03	0.03
% konversi trigliserida	63.93	59.75	58.77	57.73
% Yield Trigliserida	36.07	40.25	41.23	42.27
% Yield digliserida	2.24	3.12	3.11	2.95
% Yield monogliserida	0.00	0.00	0.00	0.00
% Yield biodiesel	<b>66.18</b>	<b>61.17</b>	<b>60.18</b>	<b>59.32</b>

## LAMPIRAN E

E.1 Data perhitungan nilai densitas produk biodiesel yang dihasilkan.

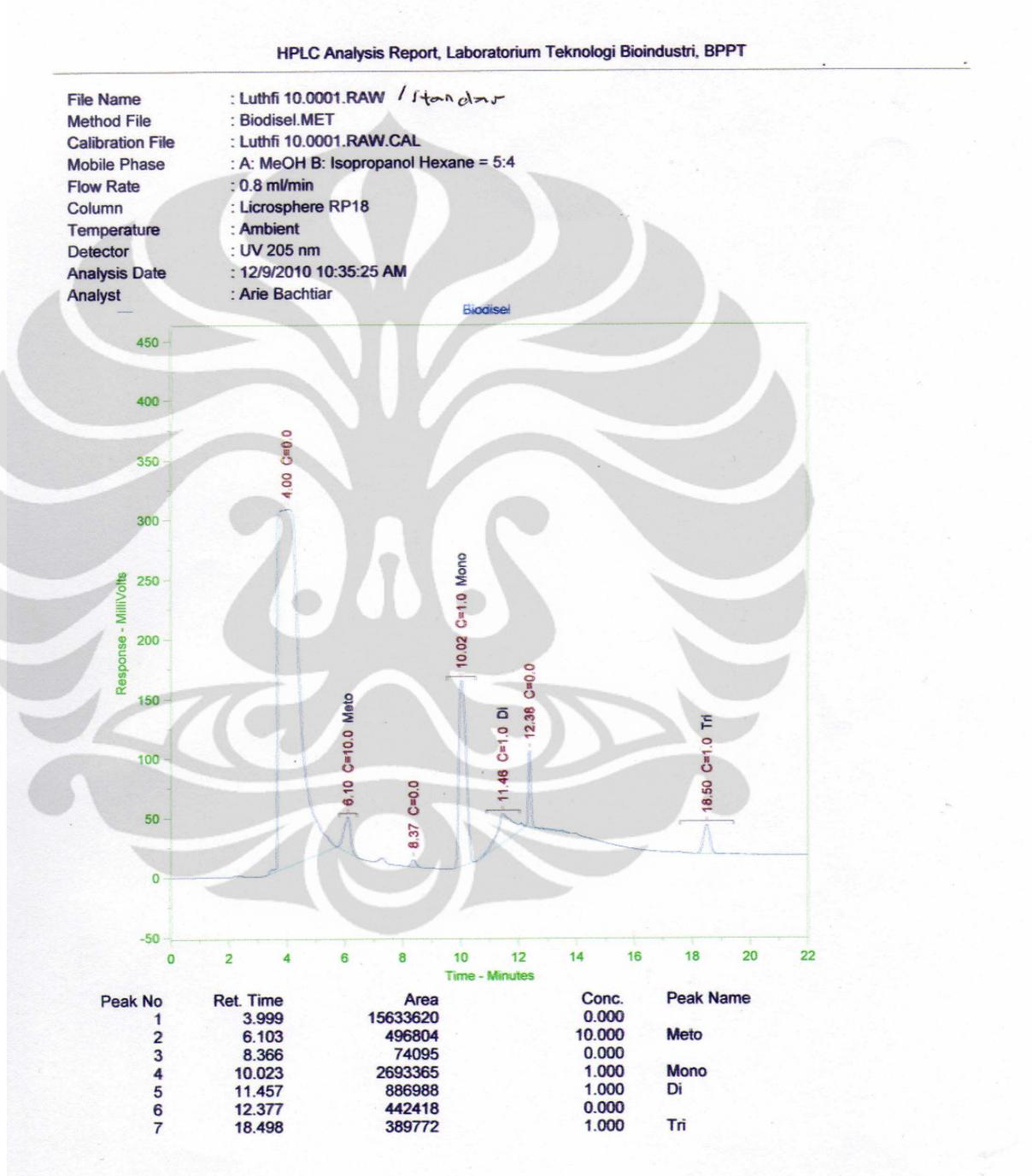
hari	densitas biodiesel gr/ml		
	0,5 M	0,75 M	1 M
0	0,91816	0,91816	0,91816
1	0,91737	0,91011	0,908
2	0,91178	0,90611	0,90315
3	0,91103	0,91015	0,90696
4	0,91231	0,91032	0,90471
5	0,91226	0,90419	0,90471

E.2. Data perhitungan nilai viskositas produk biodiesel yang dihasilkan

hari	densitas (cSt)		
	variasi konsentrasi larutan NaOH		
	0,5 M	0,75 M	1 M
0	115,74	115,74	115,74
1	88,50	80,88	53,56
2	73,32	47,91	40,60
3	67,43	60,20	53,51
4	72,60	62,10	48,85
5	75,96	43,08	

LAMPIRAN F

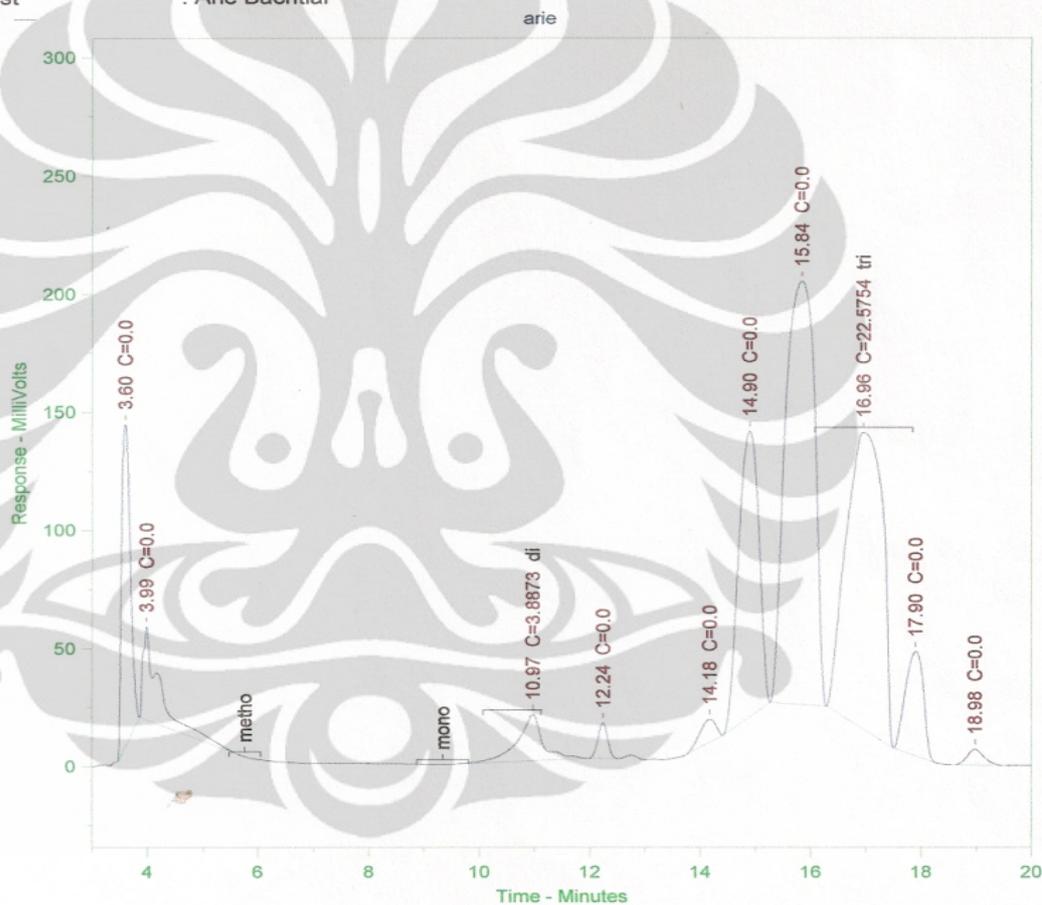
F.1 Cromatogram HPLC untuk standar biodiesel rute alkohol



## F.2 Cromatogram HPLC untuk minyak goreng murni

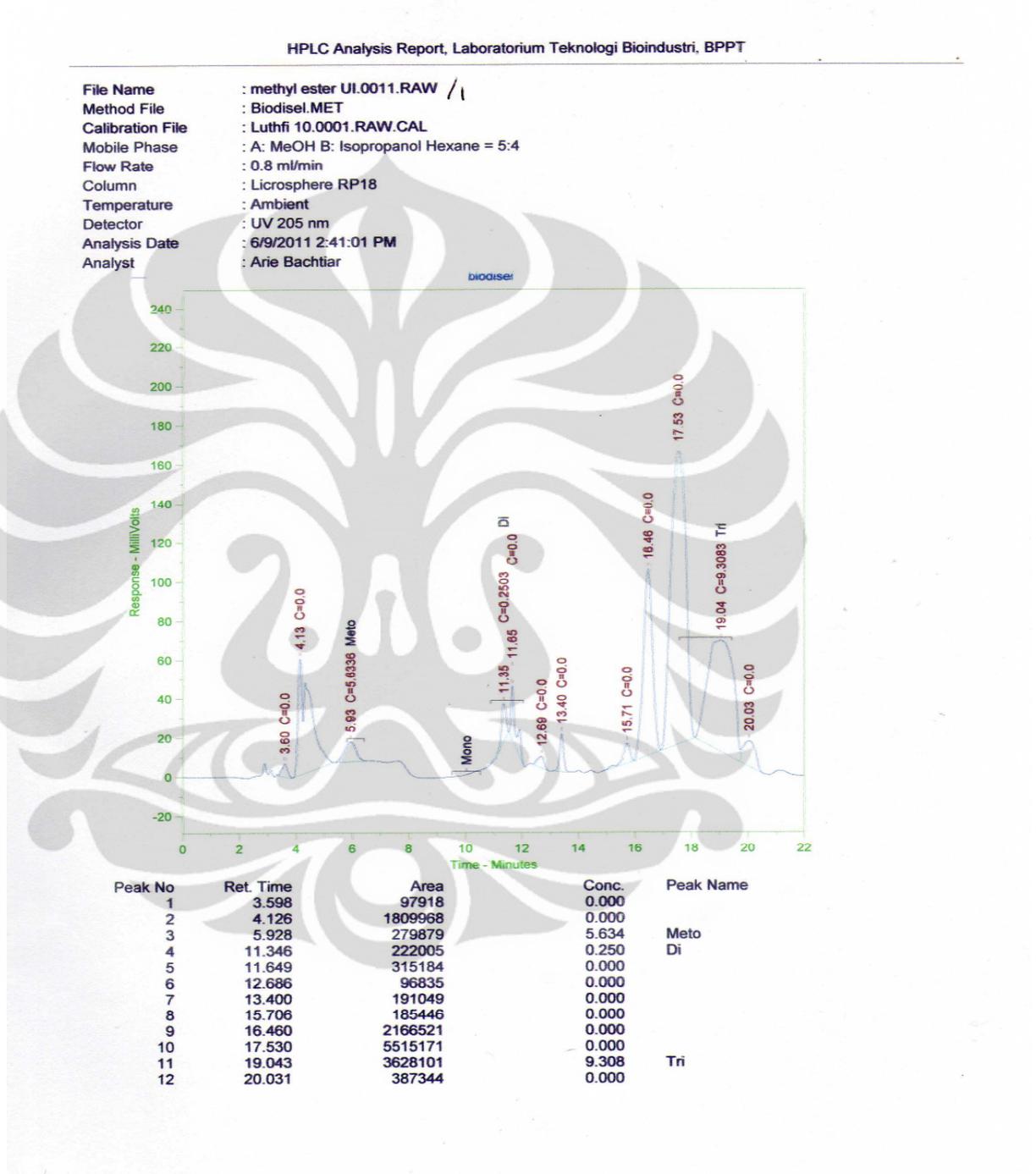
### HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

File Name : UI.0002.RAW / 0  
 Method File : Biodisel.MET  
 Calibration File : UI.0001.BND.CAL  
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4  
 Flow Rate : 0.8 ml/min  
 Column : Licrosphere RP18  
 Temperature : Ambient  
 Detector : UV 205 nm  
 Analysis Date : 7/17/2010 10:26:06 AM  
 Analyst : Arie Bachtiar



Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.600	1490254	0.000	
2	3.987	812835	0.000	
3	10.973	625804	3.887	di
4	12.244	181509	0.000	
5	14.176	199136	0.000	
6	14.898	3085523	0.000	
7	15.843	6567435	0.000	
8	16.962	5785935	22.575	tri
9	17.903	997379	0.000	
10	18.976	143965	0.000	

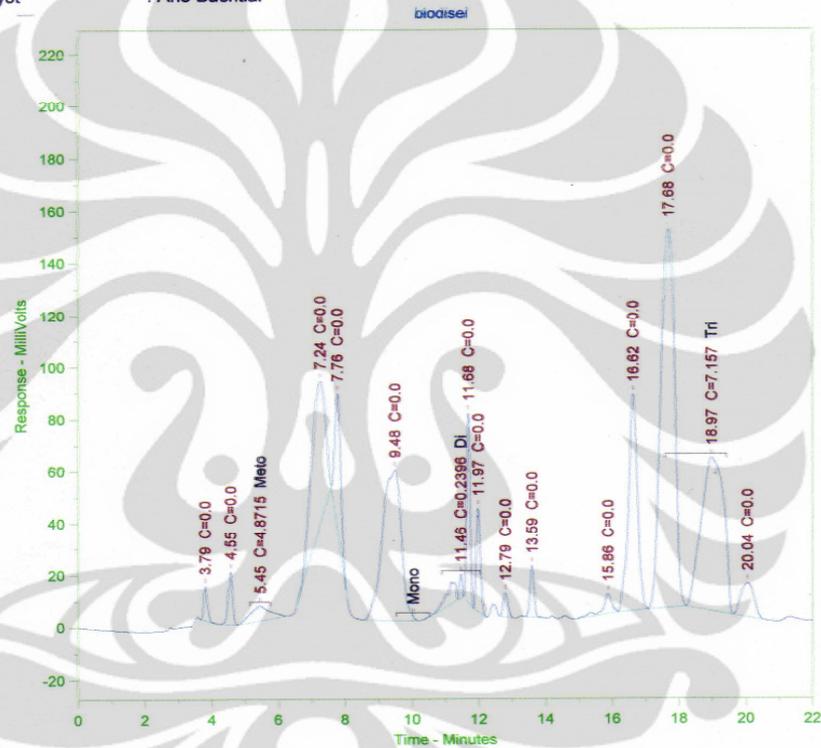
F.3 Cromatogram HPLC untuk sampel 5% wt katalis jenuh NaOH/Zeolit 0,5 M



F.4 Cromatogram HPLC untuk sampel 5% wt katalis jenuh NaOH/Zeolit 0,75 M

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

File Name : methyl ester UI.0012.RAW /2  
 Method File : Biodisel.MET  
 Calibration File : Luthfi 10.0001.RAW.CAL  
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4  
 Flow Rate : 0.8 ml/min  
 Column : Licosphere RP18  
 Temperature : Ambient  
 Detector : UV 205 nm  
 Analysis Date : 6/9/2011 3:07:37 PM  
 Analyst : Arie Bachtiar



Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.788	104441	0.000	
2	4.554	183991	0.000	
3	5.446	242020	4.872	Meto
4	7.244	1668642	0.000	
5	7.763	634533	0.000	
6	9.482	2263340	0.000	
7	11.458	212495	0.240	Di
8	11.682	539241	0.000	
9	11.972	343165	0.000	
10	12.785	93817	0.000	
11	13.588	167308	0.000	
12	15.862	140515	0.000	
13	16.618	1552440	0.000	
14	17.677	4167677	0.000	
15	18.971	2789601	7.157	Tri
16	20.045	357889	0.000	

F.5 Cromatogram HPLC untuk sampel 5% wt katalis jenuh NaOH/Zeolit  
1 M

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

File Name : mhetyl ester UI.0015.RAW /3  
 Method File : Biodisel.MET  
 Calibration File : Luthfi 10.0001.RAW.CAL  
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4  
 Flow Rate : 0.8 ml/min  
 Column : Licrosphere RP18  
 Temperature : Ambient  
 Detector : UV 205 nm  
 Analysis Date : 6/9/2011 4:16:41 PM  
 Analyst : Arie Bachtiar

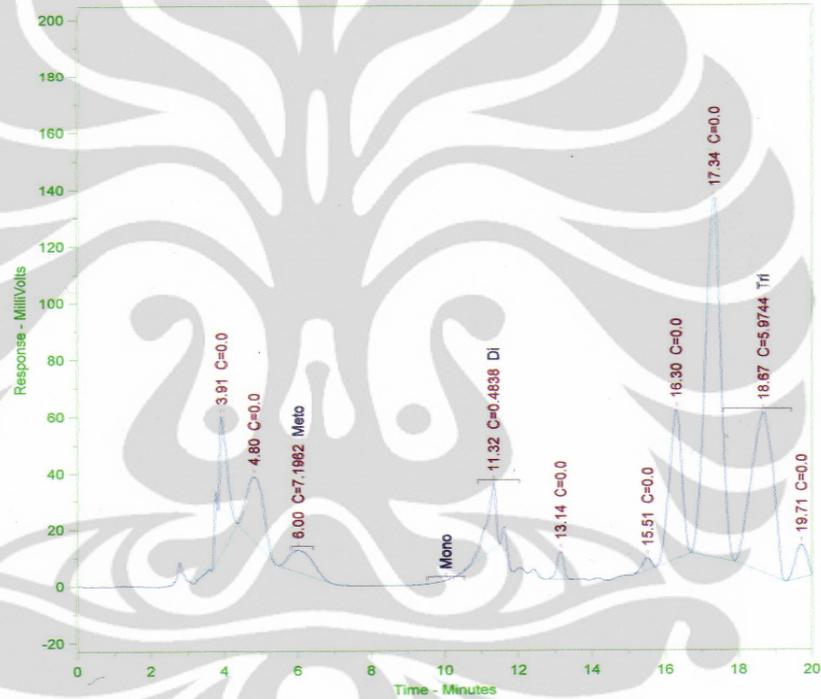


Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.688	1075666	0.000	
2	4.612	854606	0.000	
3	5.620	398579	8.023	Meto
4	11.182	308460	0.348	Di
5	13.046	122067	0.000	
6	16.196	937897	0.000	
7	17.213	3249537	0.000	
8	18.551	2086865	5.354	Tri
9	19.646	289415	0.000	

F.6. Cromatogram HPLC untuk sampel 10% wt katalis jenuh NaOH/Zeolit 1M

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

File Name : mhetyl ester UI.0014.RAW / 4  
 Method File : Biodisel.MET  
 Calibration File : Luthfi 10.0001.RAW.CAL  
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4  
 Flow Rate : 0.8 ml/min  
 Column : Licrosphere RP18  
 Temperature : Ambient  
 Detector : UV 205 nm  
 Analysis Date : 6/9/2011 3:52:58 PM  
 Analyst : Arie Bachtiar

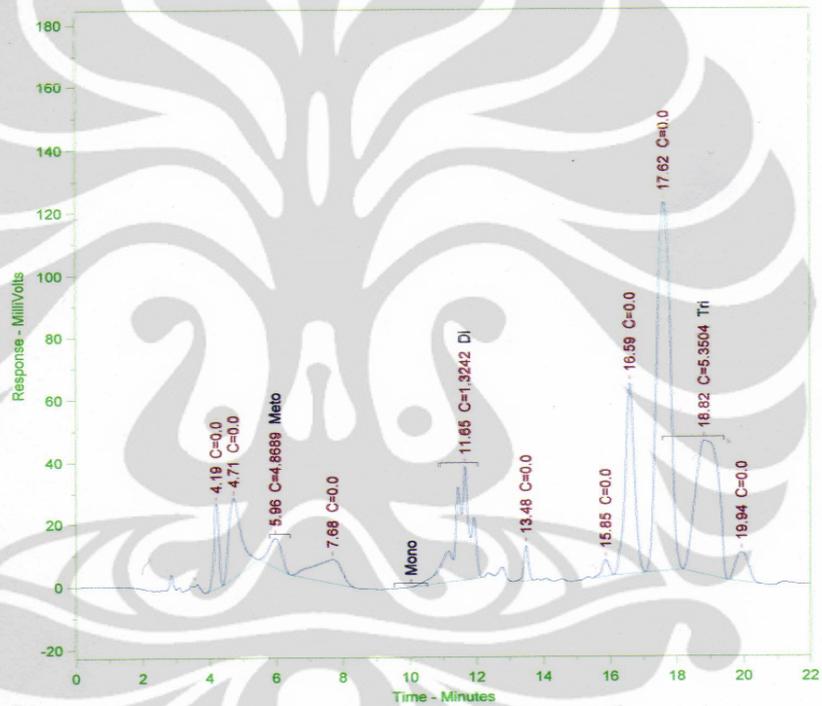


Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.909	879783	0.000	
2	4.803	738366	0.000	
3	5.996	357511	7.196	Meto
4	11.323	429134	0.484	Di
5	13.144	125264	0.000	
6	15.512	73084	0.000	
7	16.299	1245225	0.000	
8	17.340	3692671	0.000	
9	18.673	2328646	5.974	Tri
10	19.705	263663	0.000	

F.7 Cromatogram HPLC untuk sampel 12% wt katalis jenuh NaOH/Zeolit 1M

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

File Name : methyl ester UI.0008.RAW / 5  
 Method File : Biodisel.MET  
 Calibration File : Luthfi 10.0001.RAW.CAL  
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4  
 Flow Rate : 0.8 ml/min  
 Column : Licrosphere RP18  
 Temperature : Ambient  
 Detector : UV 205 nm  
 Analysis Date : 6/9/2011 1:28:05 PM  
 Analyst : Arie Bachtiar

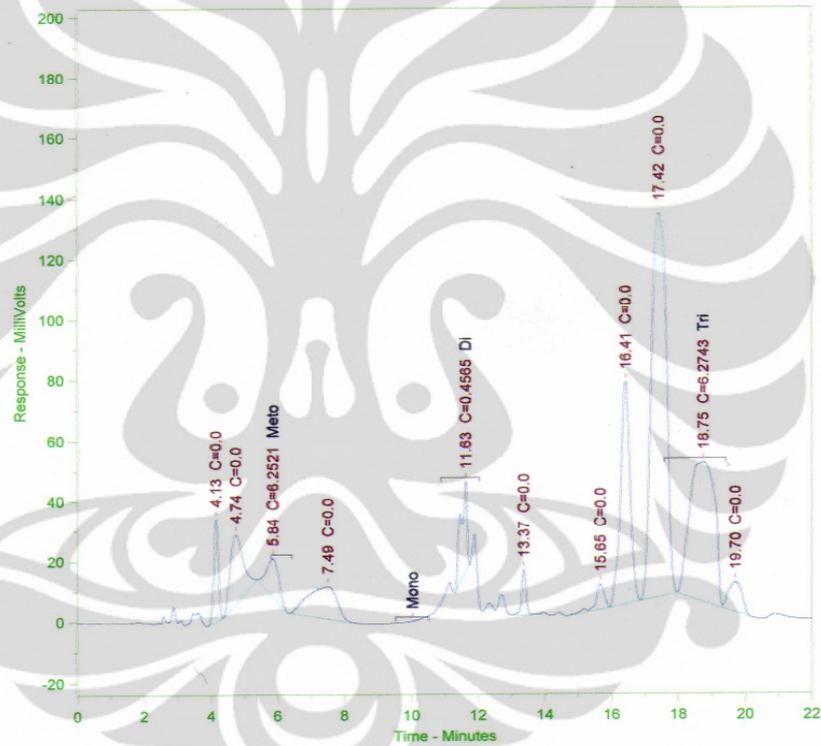


Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	4.189	277898	0.000	
2	4.708	663820	0.000	
3	5.965	241888	4.869	Meto
4	7.683	446203	0.000	
5	11.653	1174554	1.324	Di
6	13.475	105376	0.000	
7	15.852	80331	0.000	
8	16.593	1184308	0.000	
9	17.618	3308299	0.000	
10	18.820	2085430	5.350	Tri
11	19.939	253662	0.000	

F.4 Cromatogram HPLC untuk sampel 15% wt katalis jenuh NaOH/Zeolit 1M

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

File Name : methyl ester UI.0009.RAW / 6  
 Method File : Biodisel.MET  
 Calibration File : Luthfi 10.0001.RAW.CAL  
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4  
 Flow Rate : 0.8 ml/min  
 Column : Licrosphere RP18  
 Temperature : Ambient  
 Detector : UV 205 nm  
 Analysis Date : 6/9/2011 1:52:04 PM  
 Analyst : Arie Bachtiar



Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	4.134	328473	0.000	
2	4.735	611333	0.000	
3	5.841	310607	6.252	Meto
4	7.491	644697	0.000	
5	11.627	404910	0.457	Di
6	13.366	133116	0.000	
7	15.652	149665	0.000	
8	16.411	1459416	0.000	
9	17.417	3910095	0.000	
10	18.748	2445564	6.274	Tri
11	19.705	275460	0.000	

LAMPIRAN G

G.1. Dokumentasi Penelitian



Reaktor Batch



Water Bath



Kondensor



Pompa



Agitator



Piknometer 10 mL



HPLC



Viskometer Oswald



Zeolit Alam Lampung



Subtrat Minyak goreng

