STUDI KINETIKA REAKSI INTERESTERIFIKASI MINYAK JARAK PAGAR (*Jatropha curcas L.*) DENGAN KATALIS SODIUM METOKSIDA UNTUK SINTESIS BIODIESEL

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana

Jurusan Teknik Kimia

Disusun oleh :

Ririn Mahmudati NIM.5213412043

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2016

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Studi Kinetika Reaksi Interesterifikasi Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas L.*) dengan Katalis Sodium Metoksida untuk Sintesis Biodiesel telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 02 bulan Agustus tahun 2016.

Oleh

Nama	: Ririn Mahmudati	NIM	: 5213412043
Nama	: Indah Purnamasari	NIM	: 5213412046
Program Studi	: S-1 Teknik Kimia		

Panitia

Ketua Panitia	Sekretaris
Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.	Dr. Megawati, S.T.,M.T.
NIP. 197405191999032001	NIP. 197211062006042001

Penguji I	Penguji II	Pembimbing
Dr. Megawati, S.T.,M.T.	Catur Rini W., S.T., M.Sc.	Dr. Ratna Dewi K., S.T., M.T.
NIP. 197211062006042001	NIP. 198601172012122003	NIP. 197603112000122001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Nur Qudus, M.T.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.

2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Pembimbing dan masukkan Tim Penguji.

3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 01 Juni 2016
yang membuat pernyataan,

METERAI TEMPEL
6000
ENAM RIBU RUPIAH

Ririn Mahmudati
NIM. 5213412043

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

"Allah menyukai pekerjaan yang apabila bekerja ia menyelesaikannya dengan baik."
(HR. Thabrani)

"Sesuatu akan terlihat tidak mungkin sampai semuanya selesai."
(Nelson Mandela)

PERSEMBAHAN

Karya ini kami persembahkan untuk :

1. Alloh SWT.
2. Ayah dan Ibu kami.
3. Keluarga kami.
4. Dosen Pembimbing kami, Dr. Ratna Dewi Kusumaningtyas, S.T., M.T.
5. Sahabat-sahabat kami.
6. Teman-teman seperjuangan, Teknik Kimia S1 2012.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

ABSTRAK

Pemakaian bahan bakar yang tinggi tidak sebanding dengan ketersediaan sumber bahan bakar fosil yang semakin menipis. Pengembangan bahan bakar alternatif berbahan baku nabati atau bahan bakar nabati seperti biodiesel dapat digunakan untuk pemecahan masalah energi pada saat ini. Biodiesel telah diproduksi secara komersial melalui reaksi transesterifikasi minyak nabati dengan metanol menggunakan katalis alkali yang menghasilkan ester dan gliserol. Terbentuknya gliserol yang merupakan produk samping dapat mengurangi nilai ekonominya, sehingga perlu dilakukan separasi. Pada penelitian ini, dilakukan reaksi interesterifikasi (rute nonalkohol) menggunakan metil asetat sebagai penyuplai gugus alkil dan katalis sodium metoksida karena sifatnya yang hampir bebas air menyebabkan hasil yang lebih tinggi, biaya pemurnian lebih rendah, dan kualitas biodiesel lebih konsisten. Keunggulan produk yang dihasilkan oleh reaksi interesterifikasi adalah biodiesel dengan kandungan triasetil gliserol (triasetin) yang merupakan produk samping yang dapat digunakan sebagai aditif bahan bakar untuk mengurangi *knocking* pada mesin sehingga tidak diperlukan proses separasi.

Metode sintesis yang digunakan terdiri dari dua tahap reaksi, yaitu netralisasi dan interesterifikasi. Reaksi interesterifikasi bertujuan untuk mengkonversi trigliserida menjadi metil ester. Reaksi ini dilakukan dengan variasi konsentrasi katalis sodium metoksida 0,25%, 0,5%, 0,75%, dan 1% katalis/berat minyak. Rasio mol etil asetat : minyak jarak dipelajari pada variasi 6:1, 9:1, 12:1, dan 15:1. Reaksi interesterifikasi dilakukan dengan variasi suhu 40°C, 50°C, dan 60°C dengan lama reaksi 8 jam. Setelah diperoleh data hasil eksperimen, kemudian dilakukan studi kinetika untuk mengetahui nilai konstanta reaksi interesterifikasi minyak jarak pagar.

Konversi biodiesel meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi katalis. Konversi 88,1% didapatkan pada konsentrasi katalis 1%. Konversi biodiesel menurun seiring dengan peningkatan rasio molar minyak dengan metil asetat yang didapatkan konversi biodiesel terbaik sebesar 87,42% pada rasio molar 1:6. Konversi biodiesel menurun dengan semakin tingginya suhu reaksi dengan hasil konversi 73,96% pada suhu 40°C menjadi 11,52% pada suhu 60°C. Pada penelitian ini, konstanta kecepatan reaksi turun dengan naiknya suhu reaksi. Nilai k pada suhu 40°C sebesar 1,5728 L/menit, turun menjadi 0,6753 L/menit pada suhu 50°C, dan 0,2151 L/menit pada 60°C, sehingga didapatkan energi aktivasi sebesar -86.116,41 Jmol^{-1}menit^{-1}.

Kata kunci : biodiesel, interesterifikasi, kinetika reaksi.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul "Studi Kinetika Reaksi Interesterifikasi Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas L.*) dengan Katalis Sodium Metoksida untuk Sintesis Biodiesel". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Jurusan Strata I untuk memperoleh gelar Sarjana Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Dalam penyusunan Skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Ibu Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T., Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
3. Ibu Dr. Ratna Dewi Kusumaningtyas, S.T., M.T., Dosen Pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, motivasi dan pengarahan dalam penyusunan Skripsi.
4. Ibu Dr. Megawati, S.T., M.T., dan Ibu Catur Rini Widyastuti, S.T., M.T., Dosen Penguji yang telah memberi masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan Skripsi.
5. Bapak Danang yang telah memberikan pengarahan dalam penelitian Skripsi.
6. Orang tua penulis yang telah memberikan dukungan baik secara moral maupun material.
7. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penyusunan Skripsi.

Akhir kata penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Semarang, 01 Juni 2016

Penulis

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL..... i
PERSETUJUAN PEMBIMBING..... ii
PENGESAHAN..... iii
LEMBAR KEASLIAN KARYA ILMIAH..... iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN..... v
ABSTRAK..... vi
KATA PENGANTAR..... vii
DAFTAR ISI..... viii
DAFTAR TABEL..... xi
DAFTAR GAMBAR..... xii
DAFTAR LAMPIRAN..... xiv
BAB I PENDAHULUAN..... 1
I.1 Latar Belakang..... 1
I.2 Identifikasi Masalah..... 3
I.3 Pembatasan Masalah..... 4
I.4 Rumusan Masalah..... 4
I.5 Tujuan Penelitian..... 5
BAB II LANDASAN TEORI..... 6
II.1 Biodiesel..... 6
II.2 Minyak Jarak Pagar..... 8
II.3 Metode Pembuatan Biodiesel..... 11
II.3.1 Pirolisis..... 11
II.3.2 Mikroemulsifikasi..... 12
II.3.3. Esterifikasi..... 12
II.4 Interesterifikasi..... 16
II.5 Katalis..... 22
II.6 Katalis Sodium Metoksida..... 23
II.7 Kinetika Reaksi..... 25
BAB III PROSEDUR KERJA..... 30

III.1 Metode Penelitian..... 30
III.2 Lokasi Penelitian..... 30
III.3 Teknik Pengumpulan Data..... 30
III.4 Alat..... 30
III.5 Bahan..... 31
III.6 Variabel..... 33
III.7 Rangkaian Alat..... 33
III.8 Prosedur Kerja..... 36
III.8.1 Analisis Bahan Baku..... 36
III.8.2 Pemurnian Minyak Jarak Pagar Melalui Netralisasi Menggunakan Larutan Na_2CO_3 jenuh..... 38
III.8.3 Sintesis biodiesel dan Triasetin dengan Reaksi Interesterifikasi Minyak Jarak Pagar..... 39
III.9 Teknik Analisis Data..... 40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 41
IV.1 Analisis Bahan Baku..... 41
IV.1.1 Densitas..... 42
IV.1.2 Viskositas..... 43
IV.1.3 Bilangan Asam..... 44
IV.2 Netralisasi Minyak Jarak Pagar Menggunakan Larutan Na_2CO_3 Jenuh.. 45
IV.3 Penelitian Interesterifikasi Minyak Jarak Pagar dengan Metil Asetat.... 46
IV.3.1 Pengaruh Konsentrasi Katalis terhadap Konversi Reaksi..... 46
IV.3.2 Pengaruh Rasio Mol Minyak Jarak Pagar dengan Metil Asetat terhadap Konversi Reaksi..... 49
IV.3.3 Pengaruh Suhu dan Waktu pada Reaksi Interesterifikasi terhadap Konversi Reaksi..... 51
IV.4 Kinetika Reaksi dari Interesterifikasi Biodiesel Minyak Jarak Pagar dengan Metil Asetat..... 55
BAB V SIMPULAN DAN SARAN..... 59
V.1 Simpulan..... 59
V.2 Saran..... 60

DAFTAR PUSTAKA..... 61
LAMPIRAN..... xv

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Perbandingan Biodiesel dengan Solar..... 7

Tabel II.2 Komposisi Kimia Biji Jarak Pagar..... 9

Tabel II.3 Kandungan Asam Lemak Minyak Biji Jarak Pagar..... 10

Tabel II.4 Karakteristik Minyak Jarak Pagar..... 10

Tabel II.5 Katalis dalam Interesterifikasi Kimia dari Trigliserida dengan Metil Asetat..... 20

Tabel II.6 Sifat Fisika dan Kimia Sodium Metoksida..... 24

Tabel IV.1 Hasil Uji Karakteristik Minyak Jarapk Pagar..... 41

Tabel IV.2 Senyawa Penyusun Minyak Jarak Pagar..... 42

Tabel IV.3 Senyawa Penyusun Biodiesel pada Konsentrasi Katalis 1%..... 48

Tabel IV.4 Senyawa Penyususn Biodiesel pada Suhu 40°C selama 4 Jam... 51

Tabel IV.5 Hubungan Suhu terhadap Konversi Reaksi pada Rasio Reaktan 1:6 dalam berbagai Variasi waktu Reaksi..... 53

Tabel IV.6 Senyawa Penyusun Biodiesel pada Suhu 40°C selama 8 jam..... 54

Tabel IV.7 Nilai Konstanta Kecepatan Reaksi..... 57

Tabel IV.8 Tabulasi Data ln k dan 1/T..... 57

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Reaksi transesterifikasi keseluruhan trigliserida dengan metanol (metanolisis) (R=rantai asam lemak)..... 15

Gambar II.2 Reaksi Reversibel Berturut-turut dalam Transesterifikasi Trigliserida dengan Metanol..... 15

Gambar II.3 Struktur khas molekul trigliserida yang mengandung stearat(1), oleat(2) dan asam palmitat(3) terikat pada *backbone* gliserol.... 16

Gambar II.4 Interesterifikasi dari Trigliserida dengan Metil Asetat..... 17

Gambar II.5 Tahapan Reaksi Interesterifikasi Trigliserida dengan Metil Asetat 18

Gambar II.6 Interesterifikasi merupakan Gabungan dari Dua Reaksi Transesterifikasi..... 18

Gambar II.7 Algoritma Reaksi Interesterifikasi Sintesis biodiesel dari Minyak Jarak Pagar..... 29

Gambar III.1 Rangkaian Alat Netralisasi Minyak Jarak Pagar..... 34

Gambar III.2 Rangkaian Alat Sintesis Biodiesel secara Batch Sistem Tertutup 35

Gambar III.3 Diagram Alir Netralisasi Asam Lemak Bebas pada Minyak Jarak Pagar..... 38

Gambar III.4 Diagram Alir Sintesis Biodiesel dan Triasetin Interesterifikasi Minyak Jarak Pagar..... 39

Gambar IV.1 Kromatogram Minyak Jarak Pagar..... 42

Gambar IV.2 Reaksi antara Asam Lemak Bebas dengan Na_2CO_3..... 45

Gambar IV.3 Pengaruh Konsentrasi Katalis terhadap Konversi Reaksi..... 47

Gambar IV.4 Kromatogram Biodiesel pada Konsentrasi Katalis 1%..... 48

Gambar IV.5 Pengaruh Rasio Molar terhadap Konversi Reaksi..... 49

Gambar IV.6 Kromatogram Biodiesel pada Rasio Molar 1:6..... 50

Gambar IV.7 Pengaruh Variasi suhu terhadap Konversi Reaksi..... 52

Gambar IV.8 Kromatogram Biodiesel pada Suhu 40°C selama 8 jam..... 54

Gambar IV.9 Hubungan antara C_{TG} data dan C_{TG} hitung dengan Waktu pada masing-masing Suhu..... 56

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I. Perhitungan Analisis Bahan Baku..... xv

Lampiran II. Perhitungan Bilangan Asam setelah Proses Netralisasi..... xviii

Lampiran III. Perhitungan Kebutuhan Bahan pada Proses Interesterifikasi xviii

Lampiran IV. Dokumentasi Proses Pembuatan Larutan Na_2CO_3 Jenuh..... xxii

Lampiran V. Dokumentasi Proses Netralisasi..... xxiii

Lampiran VI. Dokumentasi Proses Interesterifikasi..... xxiv

Lampiran VII. Hasil Analisis GC-MS Reaksi Interesterifikasi Konsentrasi Katalis 1%..... xxvi

Lampiran VIII. Hasil Analisis GC-MS Reaksi Interesterifikasi Rasio Mol Minyak Jarak Dengan Metil Asetat 1:6..... xxx

Lampiran IX. Hasil Analisis GC-MS Reaksi Interesterifikasi Suhu Reaksi 40^oC..... xiiv

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB I
PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Saat ini pemakaian bahan bakar yang tinggi tidak sebanding dengan ketersediaan sumber bahan bakar fosil yang semakin menipis. Cepat atau lambat cadangan minyak bumi dunia pasti akan habis. Hal ini disebabkan oleh depositnya yang terbatas dan tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, perlu adanya bahan alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Penelitian mengenai energi terbarukan terus dikembangkan, bahkan menjadi salah satu program pemerintah untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang ketersediaannya terus berkurang walaupun pelaksanaannya yang dirasa masih kurang.

Berbagai solusi ditawarkan pemerintah, salah satunya adalah pengembangan bahan bakar alternatif berbahan baku nabati atau bahan bakar nabati (*biofuel*). Pemerintah serius menggarap program ini secara menyeluruh. Hal itu ditunjukkan oleh terbitnya Peraturan Presiden No. 5/2006 tentang Kebijakan Energi Nasional dan Instruksi Presiden No. 1/2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati. Bioetanol dan biodiesel merupakan dua kandidat kuat pengganti bensin dan solar yang selama ini digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Salah satu produk yang berpeluang untuk dikembangkan adalah biodiesel yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pemecahan masalah energi pada saat ini (Murni, 2010).

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang diperoleh dari minyak tumbuhan, lemak binatang, atau minyak bekas yang terdiri dari monoalkil ester yang dapat terbakar dengan bersih, sehingga merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (Ulfiati dan Totok, 2010). Biodiesel memiliki efisiensi yang tinggi dan mempunyai sifat fisik serta kimia sama dengan petrodiesel, sehingga dapat dicampur dengan petroleum diesel dengan berbagai komposisi untuk meningkatkan kualitas pembakaran. Mesin diesel yang beroperasi dengan

menggunakan biodiesel menghasilkan emisi karbon monoksida, hidrokarbon yang tidak terbakar, partikulat, dan udara beracun yang lebih rendah dibandingkan dengan mesin diesel yang menggunakan bahan bakar petroleum.Oleh sebab itu, biodiesel memiliki tingkat polusi yang lebih rendah dari pada solar dan merupakan satu-satunya sumber energi alternatif yang dipakai langsung oleh mesin konvensional (mesin diesel) tanpa harus mengganti peralatan.

Pembuatan biodiesel dari minyak nabati telah banyak dikaji bahkan diproduksi secara komersial di luar negeri. Minyak nabati merupakan salah satu hasil tanaman yang berpotensi sebagai sumber hidrokarbon atau sumber energi. Namun minyak tersebut tidak bisa digunakan secara langsung karenamemiliki viskositas yang tinggi, *cetane number* yang rendah, adanya asam lemak bebas, volatilitas yang rendah, adanya *gum*, dan terbentuknya endapan yang tinggi bila digunakan sebagai bahan bakar secara langsung (Ma dan Hanna, 1999). Oleh karena itu, harus diubah ke bentuk lain yaitu menjadi alkil ester (biodiesel).

Salah satu pengganti bahan bakar konvensional minyak bumi dari minyak nabati diantaranya minyak jarak pagar (*Jatropha curcas oil*). Minyak jarak pagar bersifat *non-edible* sehingga penggunaannya sebagai bahan bakar tidak bersaing dengan minyak pangan. Dari hasil analisis proksimat biji jarak, diperoleh kadar air biji jarak sebesar 5,12% (bb), kadar protein 25% (bk), kadar lemak 48,5% (bk), kadar abu 4,2% (bk), karbohidrat 7,78% (bk), dan serat kasar 9,4% (bk). Berdasarkan hasil ini maka dapat disimpulkan bahwa biji jarak merupakan bahan yang sangat potensial untuk digunakan sebagai sumber minyak (Nzikou dkk., 2009).

Biodiesel telah diproduksi secara komersial melalui reaksi transesterifikasi minyak nabati dengan metanol menggunakan katalis alkali yang menghasilkan ester dan gliserol. Teknologi ini banyak digunakan karena proses ini relatif murah. Tetapi penggunaan alkohol memiliki beberapa kelemahan, diantaranya proses pemurnian produk yang bercampur homogen, sehingga relatif sulit dipisahkan. Selain itu, alkohol akan bereaksi dengan trigliserida sehingga terjadi reaksi samping yaitu saponifikasi atau reaksi penyabunan yang mengakibatkan proses pemisahan produk semakin sulit. Pada proses transesterifikasi, terbentuknya

gliserol yang merupakan produk samping dapat mengurangi nilai ekonominya (Casas dkk., 2013).

Salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah sintesis biodiesel menggunakan rute nonalkohol yaitu dengan metode reaksi interesterifikasi. Dalam sintesis biodiesel rute alkohol (transesterifikasi), alkohol (metanol) berfungsi sebagai penyuplai gugus alkil. Sementara itu, dalam sintesis biodiesel rute non-alkohol (interesterifikasi) digunakan metil asetat atau etil asetat sebagai penyuplai gugus alkil. Keunggulan produk yang dihasilkan oleh reaksi interesterifikasi adalah biodiesel dengan kandungan triasetil gliserol (triasetin). Triasetin merupakan produk samping dari reaksi interesterifikasi yang dapat digunakan sebagai aditif bahan bakar untuk mengurangi *knocking* pada mesin mobil (Hermansyah dkk., 2009).

Oleh karena itu, dengan metode reaksi interesterifikasi menggunakan metil asetat dapat dilakukan sintesis biodiesel dan triasetin secara serentak dalam satu unit proses tanpa dilakukan proses separasi. Hal ini sangat menguntungkan karena akan dihasilkan biodiesel dengan kualitas yang lebih baik (mengandung zat aditif triasetin) dengan konversi yang tinggi (Akbar, 2012). Pada penelitian ini, sintesis biodiesel dilakukan melalui dua tahap reaksi yaitu reaksi netralisasi untuk menurunkan kadar asam lemak bebas dan reaksi interesterifikasi menggunakan metil asetat sebagai penyuplai gugus alkil untuk mengkonversi trigliserida menjadi biodiesel. Reaksi interesterifikasi ini menggunakan katalis sodium metoksida karena sifatnya yang hampir bebas air. Hal ini menyebabkan hasil yang lebih tinggi, biaya pemurnian lebih rendah, dan kualitas biodiesel lebih konsisten. Sintesis biodiesel melalui reaksi interesterifikasi tidak menghasilkan gliserol sehingga prosesnya lebih ekonomis karena tidak perlu adanya proses separasi. Adapun keuntungan lain dari reaksi interesterifikasi adalah terbentuknya produk samping berupa triasetin yang dapat digunakan sebagai aditif pada bahan bakar.

I.2. Identifikasi Masalah

Pembuatan biodiesel dari minyak nabati telah diproduksi secara komersial melalui reaksi transesterifikasi minyak nabati dengan metanol menggunakan

katalis alkali yang menghasilkan ester dan gliserol. Metode ini banyak digunakan karena prosesnya yang relatif murah. Namun, metode ini juga memiliki beberapa kelemahan, diantaranya proses pemurnian produk yang bercampur menjadi homogen relatif sulit dipisahkan. Selain itu, alkohol akan bereaksi dengan trigliserida sehingga terjadi reaksi samping yaitu saponifikasi atau reaksi penyabunan yang mengakibatkan proses separasi produk semakin sulit. Pada proses transesterifikasi, terbentuknya gliserol yang merupakan produk samping juga dapat mengurangi nilai ekonominya. Salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah sintesis biodiesel menggunakan rute nonalkohol yaitu dengan metode reaksi interesterifikasi.

Sintesis biodiesel rute alkohol (transesterifikasi), alkohol (metanol) berfungsi sebagai penyuplai gugus alkil. Sementara itu, dalam sintesis biodiesel rute nonalkohol (interesterifikasi) digunakan metil asetat atau etil asetat sebagai penyuplai gugus alkil. Keunggulan produk yang dihasilkan oleh reaksi interesterifikasi adalah biodiesel dengan kandungan triasetil gliserol (triasetin). Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Pristiyani (2015) melaporkan bahwa reaksi interesterifikasi mengunakan katalis basa (NaOH) hanya menghasilkan *yield* tertinggi 13,79%. Oleh karena itu, pada reaksi interesterifikasi ini akan digunakan katalis sodium metoksida karena sifatnya yang hampir bebas air menyebabkan hasil yang lebih tinggi, biaya pemurnian lebih rendah, dan kualitas biodiesel lebih konsisten. Berdasarkan data hasil penelitian akan dipelajari studi kinetika reaksi interesterifikasi biodiesel dari minyak jarak pagar.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

I.3. Pembatasan Masalah

Berdasarkan hasil identifikasi masalah di atas, penetapan masalah yang akan diteliti adalah reaksi interesterifikasi dari minyak jarak menggunakan katalis sodium metoksida.

I.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan pembatasan masalah tersebut, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi katalis sodium metoksida pada reaksi interesterifikasi terhadap konversi biodiesel?
2. Bagaimana pengaruh suhu dan waktu pada reaksi interesterifikasi terhadap konversi biodiesel?
3. Bagaimana pengaruh rasio mol minyak jarak pagar dengan metil asetat pada reaksi interesterifikasi terhadap konversi biodiesel?
4. Bagaimana kinetika reaksi dari interesterifikasi biodiesel minyak jarak pagar dengan metil asetat?

I.5. Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi katalis sodium metoksida pada reaksi interesterifikasi terhadap konversi biodiesel.
2. Mengetahui pengaruh suhu dan waktu pada reaksi interesterifikasi terhadap konversi biodiesel.
3. Mengetahui pengaruh rasio mol minyak jarak pagar dengan metil asetat pada reaksi interesterifikasi terhadap konversi biodiesel.
4. Mengetahui kinetika reaksi dari interesterifikasi biodiesel minyak jarak pagar dengan metil asetat.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB II
LANDASAN TEORI

II.1. Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran monoalkil ester dari rantai panjang asam lemak yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel. Biodiesel memiliki kandungan enam sampai tujuh macam ester asam lemak. Senyawa ini didefinisikan sebagai metil ester dengan panjang rantai karbon antara 12 sampai 20 dari asam lemak turunan dari lipid. Komposisi dan sifat kimia dari biodiesel tergantung pada kemurnian, panjang pendek rantai karbon, derajat kejenuhan, dan struktur rantai alkil asam lemak penyusunnya (Karinda, 2011).

Biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar murni ataupun sebagai campuran untuk bahan bakar diesel (petrodiesel). Biodiesel lebih ramah lingkungan karena bersifat *biodegradable* dan *nontoxic*. Biodiesel itu sendiri terbuat dari bahan baku yang dapat diperbaharui, seperti minyak sayur atau lemak hewan. Bahan baku tersebut kemudian direaksikan dengan alkohol, umumnya metanol atau etanol bersama dengan katalis. Reaksi tersebut merupakan reaksi esterifikasi atau transesterifikasi yang menghasilkan senyawa ester biodiesel dan gliserin sebagai hasil samping. Umumnya bahan baku yang digunakan harus terlebih dahulu dilakukan *pretreatment* untuk memastikan biodiesel yang digunakan sesuai standar. Parameter bahan baku yang digunakan yakni memiliki kandungan FFA (*Free Fatty Acid*) maksimal 1%, *water content* 0,1%, *unsaponifiables* 0,8%, dan fosfor 10 ppm (*part per million*). Campuran biodiesel (BXX) adalah biodiesel sebanyak XX% yang telah dicampur dengan solar sejumlah 1-XX% (Karinda, 2011).

Biodiesel memiliki karakteristik seperti tidak mengandung nitrogen atau senyawa aromatik dan hanya mengandung kurang dari 155 ppm sulfur. Biodiesel mengandung 11% oksigen dalam persen berat yang keberadaannya mengakibatkan berkurangnya kandungan energi namun menurunkan kadar emisi

gas buang yang berupa karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), partikulat, dan jelaga. Kandungan energi biodiesel 10% lebih rendah bila dibandingkan dengan solar, sedangkan efisiensi bahan bakar biodiesel lebih kurang dapat dikatakan sama dengan solar, yang berarti daya dan torsi yang dihasilkan proporsional dengan kandungan nilai kalor pembakarannya. Kajian tentang karakteristik biodiesel, solar, dan minyak nabati dapat dilihat pada Tabel II.1 berikut.

Tabel II.1 Perbandingan Biodiesel dengan Solar

Fisika Kimia	Biodiesel	Petrodiesel	Minyak Nabati
Komposisi	Metil ester atau asam lemak	Hidrokarbon	Asam lemak
Densitas, g/ml	0,8624	0,830	0,912 – 0,965
Viskositas, cSt	3,2 – 10,7	4,7	20,5 – 48,5
Flash point, ^{o}C	120	60	214
Cetane number	48 – 53	45	31 – 51
Engine power	Energi yang dihasilkan 128.000 BTU	Energi yang dihasilkan 130.000 BTU	
Modifikasi mesin	Tidak diperlukan		Diperlukan
Lubrikasi	Lebih tinggi	Lebih rendah	Lebih rendah
Emisi	CO rendah	CO tinggi	
Lingkungan	Toksisitas rendah	Toksisitas 10 kali lebih tinggi	
Keberadaan	Terbarukan	Tak terbarukan	Terbarukan

Sumber : Sitorus, 2004 dan Kulkarni dan Bhopale, 2014

Tabel II.1 menunjukkan bahwa minyak nabati memiliki nilai viskositas yang terlalu tinggi jika digunakan langsung pada mesin diesel yang saat ini digunakan, sehingga dibutuhkan proses untuk menurunkan nilai viskositas tersebut. Oleh karena itu minyak nabati harus diubah menjadi biodiesel dengan viskositas yang berada dalam kisaran viskositas solar. Selain itu biodiesel juga tidak memerlukan modifikasi mesin jika digunakan pada mesin diesel saat ini.

Biodiesel dapat dibuat dari bahan baku berupa minyak nabati atau lemak hewan. Bahan baku yang yang sering digunakan yaitu minyak kelapa sawit, minyak kedelai, minyak bunga matahari, dan minyak pangan (*edible oil*) lainnya. Namun minyak pangan memiliki harga yang mahal, sehingga dipertimbangkan penggunaan minyak *non edible.* Penggunaan minyak *non edible* sebagai bahan bakar memiliki keuntungan seperti harga minyak yang murah dan keberadaannya tidak bersaing dengan minyak pangan. Minyak *non edible* yang biasa digunakan antara lain minyak jarak pagar, minyak biji kapuk, dan minyak nyamplung. (Romano dan Sorichetti, 2011) Dalam penelitian ini digunakan minyak jarak pagar sebagai bahan baku biodiesel.

II.2. Minyak Jarak Pagar

Menurut Ketaren (1986) minyak jarak adalah minyak nabati yang diperoleh dari biji tanaman jarak dengan cara pengepresan atau ekstraksi pelarut. Minyak jarak mempunyai sifat sangat beracun. Racun tersebut terdapat dalam bentuk risin (suatu protein), risinin (suatu alkaloid), dan *heat-stable allergen*yang dikenal dengan CB-IA. Kandungan asam lemak esensialnya juga sangat rendah sehingga tidak dapat digunakan sebagai minyak makan dan bahan pangan.

Tanaman jarak (*Jatropha curcas* L.) dikenal sebagai jarak pagar dan merupakan tanaman semak yang tumbuh dengan cepat hingga mencapai ketinggian tiga sampai lima meter. Tanaman ini tahan kekeringan dan dapat tumbuh di tempat-tempat dengan curah hujan 200 mm hingga 1500 mm per tahun. Daerah penyebaran tanaman terletak antara 40°LS sampai 50°LU dengan ketinggian optimal 0-800 meter di atas permukaan laut (Hamdi, 2005). Tanaman jarak pagar memerlukan iklim yang kering dan panas terutama pada saat berbuah. Suhu yang rendah pada saat penanaman dan pembungaan akan sangat merugikan karena mudah terserang jamur. Tanaman jarak pagar tumbuh di daerah tropis dan subtropis, dengan suhu optimum 20-35°C. Kelembaban yang tinggi akan mendorong perkembangan jamur sehingga dapat menurunkan produktivitas. Tanaman jarak pagar tergolong tanaman hari panjang, yaitu tanaman yang memerlukan sinar matahari langsung dan terus menerus sepanjang hari. Tanaman

tidak boleh terlindung dari tanaman lainnya, yang berakibat akan menghambat pertumbuhannya (Hamdi, 2005).

Faktor utama yang berpengaruh terhadap tanaman adalah intensitas hujan, hari hujan perbulan, dan panjang bulan basah. Intensitas hujan yang tinggi dalam bulan-bulan basah akan mengakibatkan timbulnya serangan cendawan dan bakteri, baik di bagian atas maupun bagian dalam tanah. Pada saat berbunga dan berbuah membutuhkan bulan kering minimal 3 bulan (Hamdi, 2005). Tanaman jarak pagar tidak memerlukan tanah subur, tetapi lebih sesuai bila struktur tanahnya ringan. Umumnya produksi maksimum dicapai pada tanaman yang tumbuh di tanah lempung berpasir dengan pH 5-6.5. Tanaman jarak pagar tidak tahan terhadap genangan air, sehingga *drainase* harus dilakukan dengan baik. Tanah yang ditanami harus bebas dari naungan sehingga mendapatkan sinar matahari yang cukup (Hamdi, 2005).

Bagian tanaman jarak pagar yang dapat dimanfaatkan adalah biji, akar, daun, dan minyak dari bijinya. Bagian daun digunakan sebagai obat untuk penyakit koreng, eksema, gatal (pruritus), batuk sesak, dan hernia. Bagian akar digunakan untuk rematik sendi, tetanus, epilepsi, bronchitis pada anak-anak, luka terpukul, TBC kelenjar, dan *schizophrenia* (gangguan jiwa). Bagian biji digunakan untuk mengurangi kesulitan buang air besar (konstipasi), kanker mulut rahim dan kulit (*carcinoma of cervix and skin*), *visceroptosis/gastroptosis*, kesulitan melahirkan dan retensi plasenta/ari-ari, kelumpuhan otot muka, TBC kelenjar, bisul, koreng, *scabies*,infeksi jamur, dan bengkak. Komposisi kimia biji jarak pagar dapat dilihat pada Tabel II.2 dan kandungan asam lemak minyak biji jarak pagar dapat dilihat pada Tabel II.3 berikut.

Tabel II.2 Komposisi Kimia Biji Jarak Pagar

Komponen	Jumlah (%)
Minyak	48,5
Karbohidrat	7,78
Serat	9,4
Abu	4,2
Protein	25

Sumber : Nzikou, 2009

Tabel II.3 Kandungan Asam Lemak Minyak Biji Jarak Pagar

Asam Lemak	Jumlah (%)
Asam Oleat	44,69
Asam Linoleat	29,57
Asam Stearat	17,11

Sumber : Pristiyani., 2015

Minyak jarak pagar mempunyai rasa asam dan dapat dibedakan dengan trigliserida lainnya dilihat dari bobot jenisnya. Kekentalan (viskositas) dan bilangan asetil serta kelarutan minyak jarak pagar dalam alkohol nilainya relatif tinggi. Minyak jarak pagar larut dalam etil alkohol 95% pada suhu kamar serta pelarut organik yang polar, dan sedikit larut dalam golongan hidrokarbon alifatis. Nilai kelarutan dalam petroleum eter relatif rendah dan dapat dipakai untuk membedakannya dengan golongan trigliserida lainnya. Kandungan tokoferol relatif kecil (0,05%), serta kandungan asam lemak esensial yang sangat rendah menyebabkan minyak jarak tersebut berbeda dengan minyak nabati lainnya (Ketaren, 1986). Berikut merupakan sifat fisik dan kimia minyak jarak pagar yang dapat dilihat pada Tabel II.4.

Tabel II.4 Karakteristik Minyak Jarak Pagar

Karakteristik	Nilai
Viskositas (Gardner-Hold),25°C	u-v (6,38-8,8 st)
Bobot Jenis 20/20°C	0,957 – 0,963
Bilangan Asam	0,4 – 4,0
Bilangan Penyabunan	176 – 181
Warna (penampakan)	Bening
Warna Gardner (maks)	Tidak lebih gelap dari 3’
Indeks Bias	1,47 – 1,478
Kelarutan dalam Alkohol (20°C)	Jernih (tidak keruh)
Bilangan Asetil	145 – 154
Titik Nyala (*tag close cup*)	230°C
Titik Nyala (*cleveland open cup*)	285 ^{o}C
Titik Api	322 ^{o}C
Titik Didih	Dec
Koefisien Muai per ^{o}C	0,00066
Pour point	-33 ^{o}C
Tegangan Permukaan pada 20 ^{o}C	39,9 dyne/cm

Sumber : Bailey (1950) di dalam Ketaren (1986)

Salah satu karakteristik penting minyak nabati untuk dijadikan biodiesel adalah bilangan iod. Nilai bilangan iod yang tinggi menunjukkan bahwa minyak mempunyai kualitas yang baik dan tingkat kerusakannya rendah (Ketaren, 1986). Bilangan iod yang tinggi menunjukkan ketidakjenuhan minyak atau lemak yang tinggi pula. Besarnya iodin yang diserap minyak jarak pagar menunjukkan banyaknya ikatan rangkap atau tak jenuh. (Carolina, 2008)

Minyak dengan bilangan iod yang lebih dari 130 dapat digolongkan sebagai *drying oil* yang mempunyai sifat mengering jika terkena oksidasi, dan akan berubah menjadi lapisan tebal, bersifat kental, serta membentuk sejenis selaput jika dibiarkan di udara terbuka. Bilangan iod 100 - 130 bersifat *semi drying oil* yaitu minyak yang mempunyai daya mengering lebih lambat, dan apabila bilangan iod kurang dari 100 maka minyak bersifat *non drying oil* (Ketaren, 1986). Akbar dkk. (2009) menyebutkan bahwa minyak jarak pagar memiliki bilangan iod sebesar 103. Hal ini menunjukkan bahwa minyak jarak pagar termasuk dalam *semi drying oil*, sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel.

Tanaman jarak pagar sebagai bahan baku biodiesel mempunyai potensi yang besar karena dapat menghasilkan minyak dengan produktivitas tinggi. Daya tarik tanaman jarak pagar digunakan sebagai bahan baku energi terbarukan karena tersebar luas di kawasan tropis dan subtropis, serta minyak yang dihasilkan tidak dapat dikonsumsi sehingga tidak mengalami persaingan dengan minyak pangan (Syah, 2006). Namun karena alasan viskositas yang masih terlalu tinggi, minyak jarak pagar harus diturunkan viskositasnya dengan proses seperti pirolisis, mikroemulsifikasi, dan esterifikasi.

II.3. Metode Pembuatan Biodiesel

Biodiesel dapat diproduksi melalui berbagai metode seperti :

II.3.1. Pirolisis

Pirolisis merupakan reaksi dekomposisi termal yang biasanya berlangsung tanpa oksigen. Pirolisis minyak nabati merupakan pilihan akibat adanya garam logam sebagai katalis. Metode ini menghasilkan campuran dari alkana, alkena,

alkadiena, aromatik, dan asam karboksilik yang sama dengan bahan bakar diesel hidrokarbon. *Cetane number* dari minyak nabati dapat ditingkatkan melalui pirolisis asalkan konsentrasi belerang, air, dan endapan dari produknya masih dalam toleransi yang dapat diterima. Namun, menurut standar bahan bakar modern, viskositas bahan bakar tersebut dianggap terlalu tinggi. Abu dan residu karbonnya jauh melebihi nilai diesel fosil. Selain itu, sifat aliran dingin dari minyak nabatinya juga buruk (Syah, 2006).

II.3.2. Mikroemulsifikasi

Mikroemulsifikasi merupakan pembentukan dispersi stabil secara termodinamis dari dua cairan yang biasanya tidak mudah larut. Proses ini berlangsung dengan satu atau lebih banyak surfaktan. Penurunan diameter dalam mikroemulsifikasi berkisar 100-1000 Å. Berbagai penelitian dilakukan untuk mengkaji proses mikroemulsifikasi minyak nabati dengan menggunakan pelarut metanol, etanol, atau 1-butanol. Hasil yang diperoleh menyebutkan bahwa mikroemulsifikasi minyak nabati dan alkohol tidak dapat direkomendasikan untuk jangka panjang, terutama untuk mesin diesel dengan alasan yang sama seperti bila diterapkan pada minyak nabati. Bahan bakar dari proses mikroemulsifikasi menghasilkan tingkat pembakaran yang tidak sempurna, membentuk deposit karbon dan meningkatkan kekentalan minyak pelumas. Selain itu, mikroemulsifikasi menunjukkan nilai pemanasan volumetrik yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar diesel hidrokarbon akibat kandungan alkoholnya yang tinggi dan juga kurang cukup dalam hal jumlah serta perilaku pada suhu dingin (Syah, 2006).

II.3.3. Esterifikasi

Ester merupakan suatu senyawa turunan asam karboksilat dengan gugus hidroksil dari asam karboksilat yang digantikan oleh gugus alkoksi. Esterifikasi merupakan reaksi antara asam karboksilat dengan alkohol membentuk senyawa ester dan air. Reaksi esterifikasi pada dasarnya adalah penggantian hidrogen pada gugus karbonil dengan suatu hidrokarbon atau alkil. Reaksi esterifikasi dapat berlangsung dengan katalis asam maupun basa (Nugroho dan Prasetyo, 2013). Reaksi esterifikasi dapat dibagi atas dua jenis, diantaranya sebagai berikut:

1. Esterifikasi langsung, yang merupakan reaksi antara alkohol dengan asam lemak, dengan reaksi :

$$RCOOH + R`OH \rightarrow RCOOR` + H_2O \quad (1)$$

Reaksi ini merupakan reaksi substitusi nukleofilik gugus asil. Reaksinya tidak langsung secara substitusi, tetapi melalui dua tahap. Tahap pertama adalah adisi nukleofilik dan diikuti tahap kedua yaitu eliminasi (Nugroho dan Prasetyo, 2013).

Jika bahan baku yang digunakan adalah minyak mentah yang memiliki kadar FFA tinggi (<5%), seperti minyak jelantah, PFAD (*Palm Fatty Acid Distillate*), CPO (*Crude Plant Oil*)*low grade*, dan minyak jarak harus dilakukan proses praesterifikasi terlebih dahulu sebelum dikonversi menjadi biodiesel untuk menurunkan kadar FFA (Hambali, 2007). Rafinasi (*refining*) adalah metode praesterifikasi yang bertujuan untuk menghilangkan kotoran, warna, bau, dan rasa tidak enak akibat adanya komponen nongliserida, asam lemak bebas, dan partikel protein. Netralisasi adalah salah satu rafinasi yang bertujuan untuk menghilangkan asam lemak bebas yang dapat menimbulkan bau tengik. Cara yang dapat dilakukan antara lain:

a. Dengan menambah soda kaustik (proses penyabunan).

Reaksi penyabunan antara asam lemak bebas dengan larutan alkali soda kaustik.

$$R – COOH + NaOH \rightarrow R – COONa + H_2O \quad (2)$$

Sabun yang terbentuk dipisahkan dengan cara pengendapan dan sentrifugasi.

b. Dengan distilasi uap

Distilasi uap dapat mereduksi asam lemak bebas sampai tersisa hanya 0,01–0,03%. Asam lemak bebas yang lebih volatil dari gliserida akan menguap. Proses ini dilakukan pada suhu tinggi dan tekanan rendah (vakum). Umumnya proses esterifikasi menggunakan katalis asam. Asam pekat seperti asam sulfat (H_2SO_4) dan asam klorida (HCl) adalah jenis asam yang banyak digunakan sebagai katalis. Pada tahap ini akan diperoleh minyak dengan campuran metil ester kasar dan

metanol sisa yang kemudian dipisahkan. Proses esterifikasi dilanjutkan dengan proses transesterifikasi terhadap produk tahap pertama dari esterifikasi dengan menggunakan katalis alkali (Hambali, 2007).

2. Transesterifikasi, yang meliputi reaksi:

a. Alkoholisis, merupakan reaksi antara ester dengan alkohol membentuk ester yang baru.

$$RCOOR` + R``OH \rightarrow RCOOR`` + R`OH \quad (3)$$

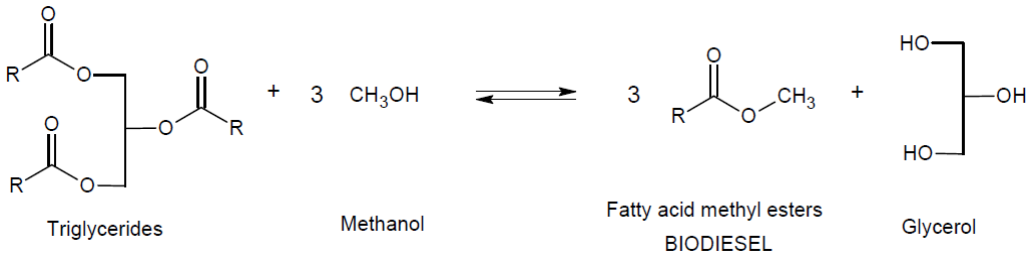
b. Asidolisis, merupakan reaksi antara ester dengan asam karboksilat membentuk ester yang baru.

$$RCOOR` + R``COOH \rightarrow R``COOR` + RCOOH \quad (4)$$

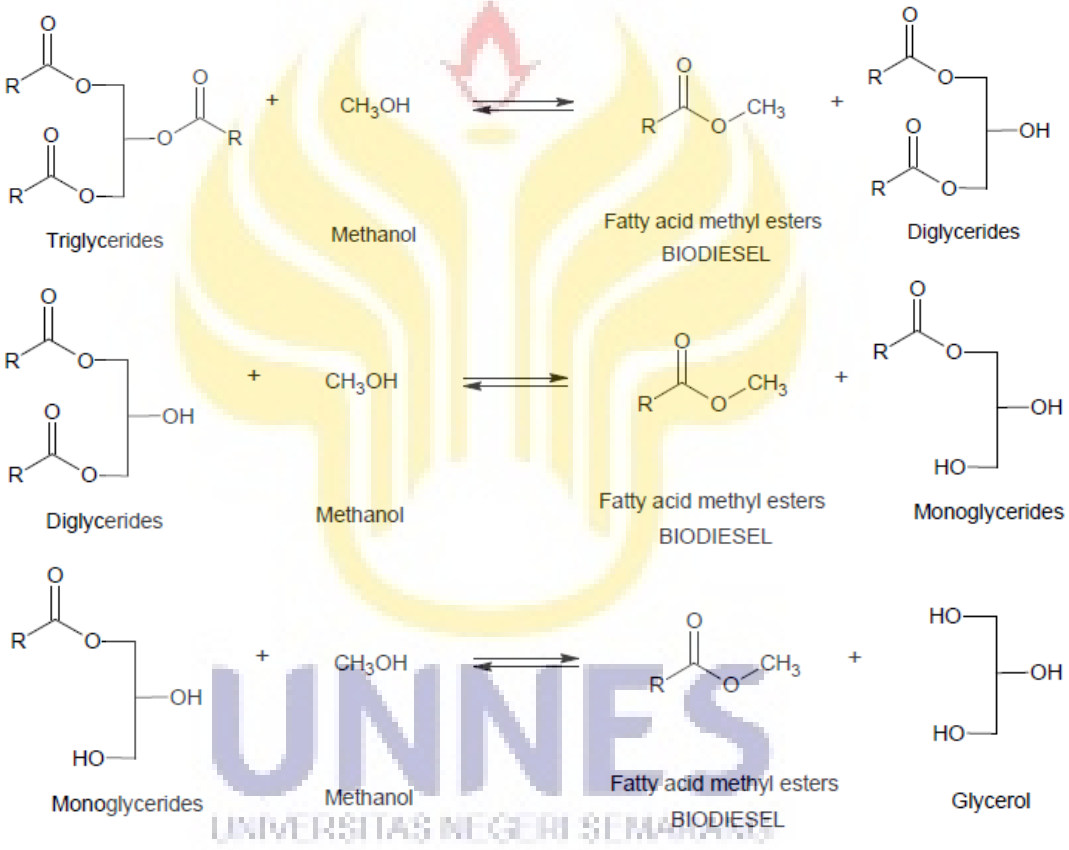
c. Interesterifikasi merupakan suatu reaksi ester dengan ester lainnya atau disebut *ester interchange* (Nugroho dan Prasetyo, 2013).

Transesterifikasi adalah reaksi antara trigliserida dan alkohol yang lebih rendah menghasilkan gliserol bebas dan ester asam lemak. Teknologi konversi minyak nabati menjadi biodiesel yang umum digunakan adalah transesterifikasi antara minyak nabati dan metanol menggunakan katalis basa NaOH atau KOH. Bahan baku minyak nabati yang digunakan berkadar asam lemak bebas <2% (Hambali, 2007). Transesterifikasi dapat menghasilkan biodiesel yang lebih baik dari proses mikroemulsifikasi, pencampuran dengan petrodiesel, atau pirolisis (Ma dan Hanna, 1999).

Pada reaksi transesterifikasi (atau alkoholisis), satu mol trigliserida bereaksi dengan tiga mol alkohol untuk membentuk satu mol gliserol dan tiga mol alkil ester asam lemak. Pada penggunaan metanol, trigliserida dikonversi menjadi asam lemak metil ester, seperti yang terlihat pada Gambar II.1. Proses ini merupakan tiga reaksi reversibel yang berurutan, dengan molekul trigliserida diubah bertahap menjadi digliserida, monogliserida, dan akhirnya gliserol. Pada setiap langkah, molekul metanol dikonsumsi dan satu molekul asam lemak metil ester dilepaskan (Casas dkk., 2013). Urutan ini ditampilkan pada Gambar II.2 dan Gambar II.3.



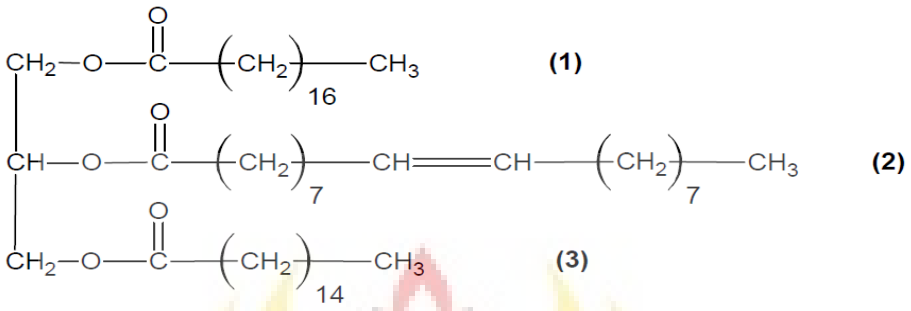
Gambar II.1. Reaksi transesterifikasi keseluruhan trigliserida dengan metanol (metanolisis) (R=rantai asam lemak) (Casas dkk., 2013)



Gambar II.2. Reaksi reversibel berturut-turut dalam transesterifikasi trigliserida dengan metanol (Casas dkk., 2013).

Reaksi ini melibatkan transformasi dari molekul trigliserida, yang merupakan molekul besar dan bercabang menjadi asam lemak metil ester, yang linier, tak bercabang, kecil, dan memiliki kesamaan ukuran dengan komponen fosil diesel. Oleh karena reversibilitas dari reaksi ini, kelebihan alkohol diperlukan untuk menggeser kesetimbangan ke arah pembentukan produk. Selanjutnya,

gliserol akan bercampur dengan asam lemak metil ester, dan meninggalkan campuran reaksi. Trigliserida adalah ester dari asam lemak dan gliserol (Casas dkk., 2013). Contoh trigliserida ditunjukkan pada Gambar II.4.



Gambar II.3. Struktur khas molekul trigliserida yang mengandung stearat(1), oleat(2) dan asam palmitat(3) terikat pada *backbone* gliserol (Casas dkk., 2013).

II.4. Interesterifikasi

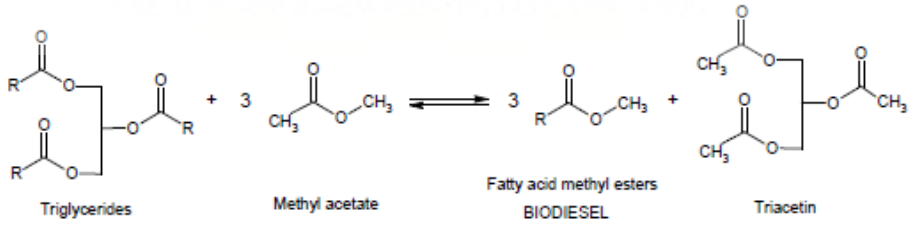
Interesterifikasi digunakan untuk memodifikasi sifat fisik campuran minyak atau lemak dengan menyusun ulang gugus asam lemak di dalam dan diantara trigliserida yang berbeda (Faiz,2012). Di sisi lain, hidrogenasi melibatkan penambahan hidrogen pada ikatan rangkap dari asam lemak tak jenuh. Akibat adanya implikasi kesehatan dari asam lemak trans yang terbentuk selama hidrogenasi, industri perlu mencari alternatif untuk lemak yang terhidrogenasi. Oleh karena itu dilakukan interesterifikasi dengan tujuan khusus untuk interesterifikasi produk sawit, sebagai alternatif hidrogenasi yang dapat digunakan untuk kesehatan (Nor dan Noor, 2005).

Reaksi interesterifikasi terbagi ke dalam dua jenis yaitu secara kimia dan enzimatis. Interesterifikasi menghasilkan kelompok asil ke dalam bentuk triasilgliserol jika menggunakan katalis kimia. Secara enzimatis reaksi interesterifikasi menggunakan lipase sebagai katalis. Reaksi secara kimia lebih banyak dipilih dalam perkembangan proses interesterifikasi minyak karena lebih sederhana, lebih murah, dan lebih mudah digunakan dibandingkan secara enzimatis (Screenivasan, 1976).

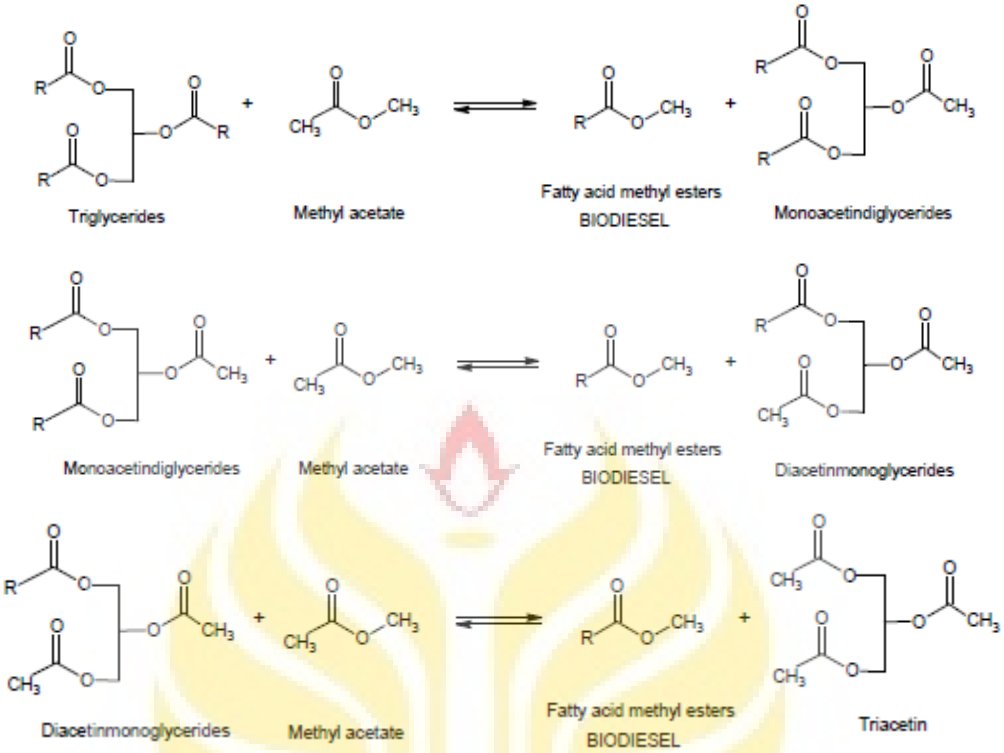
Reaksi interesterifikasi merupakan salah satu alternatif proses pembuatan biodiesel selain proses komersial transesterifikasi. Transesterifikasi lebih murah

dibanding proses lain tetapi menghasilkan produk samping gliserol yang membutuhkan separasi dengan biaya lebih tinggi. Berdasarkan alasan tersebut, Interseterifikasi lebih menguntungkan karena tidak menghasilkan gliserol namun *triacetyleglycerol* sebagai produk samping. Budiman dkk. (2014) dalam Pristiyani (2015) menjelaskan bahwa *triacetyleglycerol* (TAG) atau *glycerin triacetate* atau biasa disebut triasetin merupakan salah satu produk turunan gliserol yang banyak dikembangkan. Triasetin banyak digunakan dalam industri kosmetik dan sebagai aditif pada bahan bakar untuk meningkatkan performa bahan bakar pada suhu dan viskositas rendah serta digunakan sebagai *antiknocking* untuk bensin. Oleh karena itu proses interesterifikasi tidak membutuhkan proses separasi produk samping.

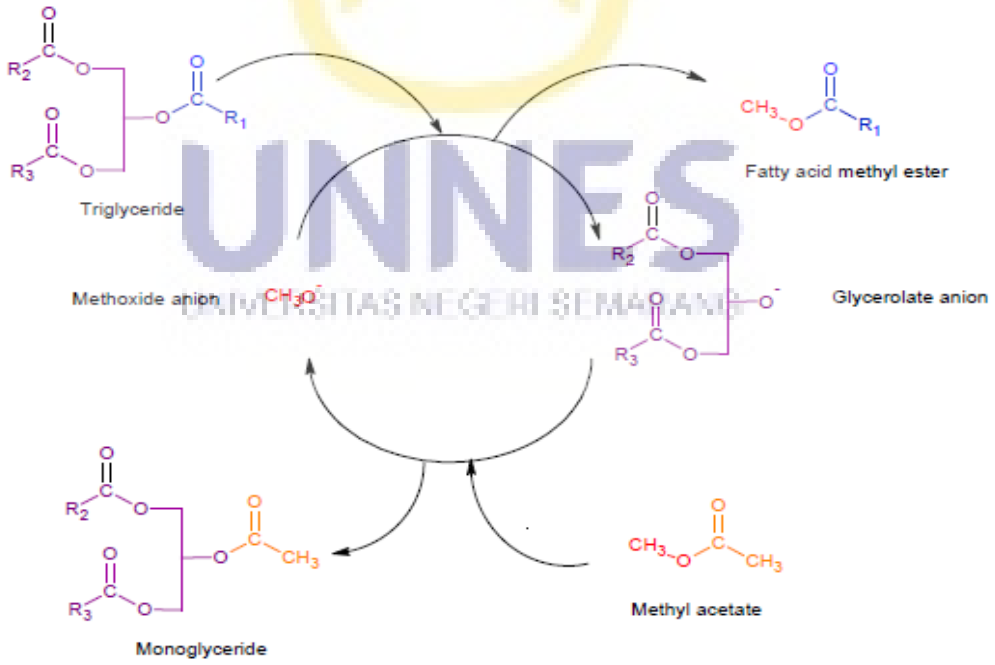
Pada interesterifikasi dengan metil asetat, trigliserida akan dikonversi menjadi metil ester dan triasetin seperti pada gambar Gambar II.4. Interesterifikasi terdiri dari tigareaksi reversibel berturut-turut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.5. Trigliserida diubah menjadi *monoacetindiglycerides*, *diacetinmonoglycerides*, dan triasetin, melepaskan molekul asam lemak metil ester pada setiap tahapnya. Berbeda dengan transesterifikasi, selama interesterifikasi, satu molekul ester mengubah molekul alkohol dengan kelompok esterlain. Tidak adanya alkohol sebagai zat reaktif mensyaratkan bahwa katalis itu sebagian larut dalam campuran reaksi. Selain itu, reaktan dan produk yang benar-benar larut mengakibatkan reaksi menjadi sangat reversibel (Casas dkk., 2013). Stanton(1998) dalam Casas dkk. (2013) mempelajari bahwa interesterifikasi merupakan dua reaksi transesterifikasi yang digabungkan. Gambar II.6 menunjukkan interesterifikasi katalis dasar dari trigliserida dan metil asetat.



Gambar II.4. Interesterifikasi dari trigliserida dengan metil asetat (Casas dkk., 2013)



Gambar II.5. Tahapan reaksi interesterifikasi trigliserida dengan metil asetat (Casas dkk., 2013)



Gambar II.6. Interesterifikasi merupakan gabungan dari dua reaksi transesterifikasi (Casas dkk., 2013).

Metil asetat, juga dikenal sebagai MeOAc (metil ester asam asetat atau metil etanoat) adalah ester karboksilat dengan rumus CH_3COOCH_3. Cairan ini mudah terbakar dengan bau khas yang menyenangkan seperti pada beberapa lem dan cat kuku. Metil asetat dapat digunakan sebagai pelarut, dengan kepolaran yang lemah dan lipofilik, seperti halnya etil asetat yang relatif umum digunakan sebagai pelarut karena tidak beracun dan kurang larut dalam air. Metil asetat memiliki kelarutan 25% dalam air pada suhu kamar. Pada suhu tinggi kelarutannya dalam air jauh lebih tinggi.

Berdasarkan katalis yang digunakan, terdapat dua jenis interesterifikasi, yaitu :

a. Interesterifikasi kimia

Interesterifikasi kimia berlangsung dengan katalis kimia, termasuk alkali metal seperti sodium dan potasium beserta campurannya, juga alkoksida seperti sodium metilat atau sodium metoksida (CH_3ONa) (Shapero, 2005 dalam Faiz, 2012). Katalis basa dan asam telah digunakan dalam berbagai penelitian terkait interesterifikasi kimia trigliserida dengan metil asetat. Tabel II.5. merupakan kumpulan katalis berbeda yang dipelajari oleh Casas dkk., 2013. Konversi total trigliserida menjadi FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) dan triasetin dengan fraksi massa masing-masing 80,2% dan 19,8%, sesuai dengan stoikiometri reaksi. Berikut merupakan katalis dalam interesterifikasi kimia dari trigliserida dengan metil asetat yang dapat dilihat di Tabel II.5 berikut.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Tabel II.5. Katalis dalam interesterifikasi kimia dari trigliserida dengan metil asetat

Katalis	Sumber lipid	Kondisi reaksi	Kandungan FAME
KOH	Minyak bunga matahari	Perbandingan molar metil asetat : minyak = 12:1	0 %
CH_3OK	Minyak bunga matahari	Perbandingan katalis : minyak + 0,2:1 T=50^oC	55 % (padatan) 73% (campuran minyak) 60% (PEG200) 78% (larutan metanol)
KPEG	Minyak bunga matahari	T=15-30 min	73%*
$NaOCH_3$	Tributirin	Perbandingan molar metil asetat : tributin = 21:1 Perbandingan katalis : minyak = 0,05:1-0,1:1 T=80-140^oC T=8-20 jam	93%*
Mixed oxide MgAl 3:1	Tributirin		24%*
Sulphuric acid	Tributirin		29%*
Trifluoromethanesulphonic Acid	Tributirin		93%*
Nafion SAC13	Tributirin		83%*
Zirkonia (SO_3)	Tributirin		42%*

*Produk metil butiren (%)

Sumber : Casas dkk., 2013

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Reaksi katalisasi kalium hidroksida tidak menunjukkan adanya pembentukan FAME. Pada reaksi transesterifikasi, hidroksida bereaksi dengan alkohol untuk membentuk masing-masing alkoksida, yang merupakan katalis sebenarnya dari reaksi ini. Namun, dalam media ester yang kekurangan alkohol, alkoksida ini tidak diproduksi. Sebaliknya, kalium hidroksida bereaksi ireversibel dengan ester, menghasilkan kalium sabun dan kalium asetat. Selama interesterifikasi minyak dan lemak, ketika air terbentuk, hidroksida berfungsi sebagai katalis. Interesterifikasi hidroksida khusus terjadi karena reaksi antara

gliserol yang dihasilkan dari reaksi samping saponifikasi trigliserida dan hidroksida yang mengarah ke pembentukan *anionglycerolate*, alkoksida (Burgers dkk., 1965). Alkali metoksida adalah pilihan terbaik untuk interesterifikasi kimia (Casas dkk., 2011).

Interesterifikasi kimia merupakan proses modifikasi yang paling sering diterapkan pada interesterifikasi minyak dan lemak karena alasan sederhana, murah, dan lebih mudah untuk dilakukan jika dibandingkan dengan interesterifikasi enzim. Meskipun terdapat beberapa kelemahan seperti kualitas yang bervariasi, membutuhkan periode induksi sebelum reaksi dimulai, dan hilangnya minyak karena pembentukan sabun dan metil ester pada penghilangan katalis dengan pencucian air (Sreenivasan, 1976).

b. Interesterifikasi enzimatis

Interesterifikasi enzimatis merupakan metode interesterifikasi dengan menggunakan enzim sebagai katalis (Shapero, 2005 dalam Faiz, 2012). Katalis yang sering digunakan adalah lipase. Secara umum, lipase mampu melakukan aktivitas katalitik dalam kondisi ringan dan dengan berbagai substrat trigliserida, termasuk minyak dan lemak dengan nilai-nilai asam lemak bebas yang tinggi. Lipase dapat dibagi menjadi tiga kelas menurut karakteristik atau selektivitas mereka: lipase spesifik posisi, lipase spesifik asam lemak, dan lipase spesifik untuk kelas akilgliserida tertentu (mono-, di-, atau trigliserida). Beberapa contoh antara lain *Pseudomonas fluorescens lipase*, *P. cepacia*, *Candida. rugosa*, *C. antartika*, *C. cylindracea*, *Rhizopus oryzae* dan *Mucor miehei* (Goh dkk., 1993, Ban dkk., 2002).

Transesterifikasi enzimatis biasanya dilakukan pada suhu lebih rendah dari transesterifikasi kimia untuk menghindari hilangnya aktivitas lipase (Watanabe dkk., 2001 dalam Casas dkk, 2013). Suhu optimum ditentukan untuk berbagai jenis lipase berkisar dari 30 sampai 55°C (Iso dkk., 2001 dalam Casas dkk., 2013) untuk mencari hubungan antara stabilitas operasional lipase dan laju reaksi transesterifikasi. Berbeda dengan proses konvensional dengan katalis homogen, enzim dapat dipulihkan setelah selesainya reaksi, biodiesel dan gliserol yang dihasilkan dengan kemurnian tinggi.

Reaksi transesterifikasi dengan lipase berbagai jenis akseptor asil seperti alkohol (primer, sekunder, linier, dan bercabang) atau ester dapat digunakan. Hal ini dikarenakan harga dan ketersediaan metanol telah banyak digunakan untuk produksi biodiesel secara enzimatik. Penggunaan pelarut organik adalah alternatif yang menarik untuk mengatasi deaktivasi lipase, tetapi kesulitan dalam memulihkan pelarut membuat metode ini kurang kompetitif diskala industri (Iso dkk., 2001 dalam Casas dkk., 2013).

II.5. Katalis

Dalam industri biodiesel terdapat empat kelompok katalis yang digunakan maupun dikembangkan yaitu :

1. katalis basa seperti natrium (NaOH), kalium hidroksida (KOH), dan natrium metilat ($NaOCH_3$);
2. katalis asam seperti asam sulfat (H_2SO4), asam fosfat (H_3PO_4), dan kalsium karbonat ($CaCO_3$);
3. katalis padat; dan
4. enzim.

Disamping itu juga terdapat sistem nonkatalis seperti teknologi superkritis dan *co*-pelarut, namun katalis yang sering digunakan dalam produksi biodiesel adalah katalis basa yang juga dikenal sebagai metoksida, yang dilarutkan dalam alkohol (biasanya metanol). Katalis alkali dan asam adalah katalis yang paling sering digunakan untuk produksi biodiesel karena memiliki kecepatan dan kinerja yang baik (Sagiroglu dkk., 2011).

Produksi biodiesel dengan katalis alkali seperti KOH dan NaOH membutuhkan kondisi anhidrat. Keberadaan air menyebabkan pembentukan sabun yang mengurangi hasil dan menyebabkan kesulitan dalam separasi produk (Sagiroglu dkk., 2011). NaOH merupakan katalis basa yang umum dipilih oleh produsen kecil karena murah dan tersedia dalam jumlah banyak. Sementara KOH banyak digunakan dalam pabrik biodiesel komersial karena lebih mudah larut daripada NaOH, dan lebih toleran terhadap asam lemak bebas dalam minyak. Namun dibutuhkan dalam jumlah yang lebih tinggi dan lebih mahal.

Transesterifikasi katalis alkali jauh lebih cepat daripada katalis asam (Freedman dkk., 1984). Namun, jika gliserida memiliki kandungan asam lemak bebas lebih tinggi dan lebih banyak mengandung air, transesterifikasi katalis asam cocok (Sprules dan Harga, 1950; Freedman dkk., 1984.). Natrium metoksida lebih efektif daripada sodium hidroksida (Freedman dkk., 1984) karena asumsi bahwa sedikit air yang diproduksi pada pencampuran NaOH dan MeOH (Ma dkk.,1999).

Hasil serupa diamati oleh Ma dkk. (1998a), dengan hasil NaOH dan $NaOCH_3$ masing-masing mencapai aktifitas maksimal sebesar 0,3 dan 0,5% b/b dari lemak sapi. Natrium hidroksida juga dipilih untuk mengkatalisis transesterifikasi karena lebih murah dan digunakan secara luas dalam skala besar. Konversi ester pada 6:1 rasio untuk 1% NaOH dan 0,5% $NaOCH_3$ hampir sama setelah 60 menit (Freedman dkk., 1984

II.6. Katalis Sodium Metoksida

Sodium metoksida (metilat) adalah salah satu dari kelompok bahan kimia yang dikenal sebagai senyawa turunan alkohol atau alkoksida. Logam alkali seperti natrium bereaksi dengan alkohol dalam banyak cara sebagai logam yang lebih umum bereaksi dengan asam menghasilkan alkoksida dan hidrogen (Thane, 2008). Rumus untuk sodium metoksida adalah:

$$2CH_3OH + 2Na \rightarrow 2NaOCH_3 + H_2 \quad (5)$$

Sodium metoksida biasanya disiapkan oleh spesialis seperti BASF, Interstate Kimia dan Evonic (sebelumnya Degussa) serta dapat diberikan baik sebagai bubuk atau dalam larutan metanol biasanya sekitar 25% volume (Thane, 2008). Pada Tabel II.6 berikut dapat dilihat sifat fisika dan kimia sodium metoksida.

Tabel II.6. Sifat Fisika dan Kimia Sodium Metoksida

Sifat Fisika		Sifat Kimia
Fase	: Padat	Mudah meledak
Bentuk	: Bubuk	Tidak larut dalam air
Warna	: Putih	Reaktif
Bau	: Tidak berbau	
Densitas	: 1,3 g/cm^3	
Titik didih	: 350°C dekomposisi	
Berat molekul	: 54,02 g/mol	

Sumber : corporate.evonik.de

Sodium metoksida disebut dengan banyak nama termasuk alkoholat, dan natrium metilat. Senyawa ini merupakan pereaksi kimia yang digunakan selama beberapa dekade di berbagai industri untuk menghasilkan produk bernilai tinggi seperti obat-obatan, bahan makanan, pigmen, dan agen pelindung tanaman. Beberapa tahun terakhir, produksi biodiesel telah menjadi hal yang menarik, terbarukan dan tumbuh cepat sebagai aplikasi dari katalis sodium metoksida. Senyawa ini biasanya tersedia baik dalam bentuk padatan (kristal) atau sebagai larutan dalam metanol. Pada produksi biodiesel, larutan dalam berbagai konsentrasi 25% sampai 30% telah terbukti paling menguntungkan. (Jackson, 2006).

Fungsi sodium metoksida sebagai katalis untuk mempercepat proses reaksi kimia biodiesel dengan mengurangi energi yang dibutuhkan saat memulai reaksi. Hal ini berhasil digunakan pada produksi skala besar untuk semua bahan baku utama seperti minyak nabati murni, lemak hewan, dan/atau lemak kuning. Keuntungan utama dari sodium metoksida adalah sifatnya yang hampir bebas air. Hal ini menyebabkan hasil yang lebih tinggi, biaya pemurnian lebih rendah, dan kualitas biodiesel lebih konsisten (Jackson, 2006).

Ion metoksida ($^-OCH_3$) adalah katalis aktif untuk produksi metil ester. Senyawa tersebut bereaksi dengan molekul trigliserida dan menghasilkan metil ester. Regenerasi terjadi pada setiap akhir tahap reaksi ketika ion hidrogen dilepaskan dari molekul metanol terdekatnya (van Gerpen, 2012). Jika etanol yang digunakan, maka katalis ini disebut etoksida ($^-OCH_2CH_3$). Kebanyakan produsen

kecil membuat ion metoksida dengan melarutkan natrium hidroksida atau kalium hidroksida dalam metanol (van Gerpen, 2012). Namun cara ini menyebabkan terlepasnya hidroksida dan kemudian mengalami reaksi berikut :

$$CH_3OH + Na^+ + OH \rightarrow Na^+ + H_2O + {}^-OCH_3 \quad (6)$$

Dari reaksi tersebut dihasilkan ion metoksida yang dibutuhkan untuk produksi biodiesel, akan tetapi reaksi ini juga menghasilkan molekul air. Air menyebabkan pembentukan sabun melalui reaksi kimia yang disebut saponifikasi. Produsen komersial lebih memilih untuk mendapatkan metoksida dari larutan natrium (atau kalium) metoksida yang sudah dilarutkan dalam metanol. Sodium metoksida juga dikenal sebagai natrium metilat, dapat dibeli sebagai 25% atau 30% konsentrat dan dibuat dengan proses bebas air sehingga katalis tidak berkontribusi untuk pembentukan sabun (van Gerpen, 2012).

Di sisi lain, larutan sodium metoksida lebih mahal dibandingkan natrium hidroksida atau kalium hidroksida. Cara mengatasinya yaitu pertama, dengan mengurangi jumlah metanol yang harus ditambahkan ke reaksi karena larutan sodium metoksida mengandung metanol. Kedua, dengan menggunakan sodium metoksida yang lebih sedikit dibandingan jumlah natrium hidroksida yang diperlukan untuk mendapatkan tingkat yang sama dari reaksi. Hal ini karena hilangnya natrium hidroksida berkaitan dengan pembentukan sabun. Oleh karena itu, meningkatnya pembentukan sabun dari penggunaan katalis hidroksida menyebabkan kehilangan produk sehingga sebagian besar bahan baku minyak terbuang. Tidak hanya minyak yang berubah menjadi sabun, tetapi juga kehilangan beberapa produk biodiesel yang baik ketika gliserin dihilangkan pada akhir reaksi. Hal ini karena sabun meningkatkan kelarutan biodiesel dalam fase gliserin (van Gerpen, 2012).

II.8. Kinetika Reaksi

Reaksi interesterifikasi merupakan reaksi *reversible* yang terdiri dari tiga reaksi yang berurutan. Model yang diajukan Noureddini dan Zhu (1997)

berdasarkan interesterifikasi dengan metil asetat sebagai tiga reaksi *reversible* yang berurutan.

Interesterifikasi (reaksi dasar) :

$$TG + MA \underset{k_2}{\overset{k_1}{\rightleftarrows}} MADG + E \tag{7}$$

$$MAGD + MA \underset{k_4}{\overset{k_3}{\rightleftarrows}} DAMG + E \tag{8}$$

$$DAMG + MA \underset{k_6}{\overset{k_5}{\rightleftarrows}} TA + E \tag{9}$$

Reaksi total :

$$TG + 3MA \underset{k_8}{\overset{k_7}{\rightleftarrows}} TA + 3FAME \tag{10}$$

Laju reaksi masing-masing senyawa :

$$\frac{d\,[TG]}{dt} = -\,k_1[TG][MA] + k_2[MADG][E] - k_7[TG][MA]^3 + k_8[TA][E]^3$$

$$\frac{d\,[MADG]}{dt} = k_1[TG][MA] - k_2[MADG][E] - k_3[MADG][MA] + k_4[DAMG][E]$$

$$\frac{d\,[DAMG]}{dt} = k_3[MADG][MA] - k_4[DAMG][E] - k_5[DAMG][MA] + k_6[TA][E]$$

$$\frac{d\,[E]}{dt} = k_1[TG][MA] - k_2[MADG][E] + k_3[MADG][MA] - k_4[DAMG][E]$$

$$+\,k_5[DAMG][MA] - k_6[TA][E] + k_7[TG][MA]^3 - k_8[TA][E]^3$$

$$\frac{d\,[MA]}{dt} = -\,\frac{d\,[E]}{dt}$$

$$\frac{d\,[TA]}{dt} = k_5[DAMG][MA] - k_6[TA][E] + k_7[TG][MA]^3 - k_8[TA][E]^3 \tag{11}$$

TG = trigliserida, MADG = monoasetin gliserida, DAMG = diasetin monogliserida, TA = triasetin, MA = metil asetat dan E = FAME (biodiesel).

Persamaan tersebut dapat diselesaikan untuk memperoleh nilai k_1 hingga k_6 jika masing-masing konsentrasi zat diketahui sebagai fungsi waktu. Namun karena adanya keterbatasan untuk mendapatkan konsentrasi MADG dan DAMG, padahal keduanya ada dalam campuran selama reaksi masih berlangsung, maka persamaan-persamaan tersebut sulit diselesaikan. Menurut Budhijanto (1999) dalam Setyawardhani (2003), nilai konstanta kecepatan reaksi pada gugus sekunder sedikit lebih besar dibandingkan dengan gugus primer (0,061% - 3,115%). Dengan perbedaan nilai konstanta yang tidak terlampau signifikan ini, maka dapat disusun pendekatan terhadap persamaan reaksi di atas dengan mengasumsikan bahwa reaksi pada tiap gugus berjalan secara serentak. Adapun persamaan reaksi total yang terjadi adalah :

$$TG + 3MA \underset{k_2'}{\overset{k_1'}{\rightleftarrows}} TA + 3E \qquad (12)$$

Sehingga laju reaksi menjadi :

$$\frac{d\,[TG]}{dt} = -\,k_1'[TG][MA]^3 + k_2'[TA][E]^3 \qquad (13)$$

k_1' merupakan konstanta kecepatan reaksi untuk *forward reaction* dan k_2' merupakan konstanta kecepatan reaksi untuk *reverse reaction*.

Konstanta kecepatan reaksi dari persamaan di atas secara umum didefinisikan sebagai fungsi Arrhenius yang dirumuskan sebagai berikut :

$$k(T) = Ae^{-E/RT} \qquad (14)$$

$k(T)$ merupakan faktor eksponensial bebas (mol/L), A adalah bilangan Arrhenius, E adalah energi aktivasi (mol/J), R adalah konstanta gas ideal (8,314 J/K.mol), dan T adalah suhu reaksi (K). Model tersebut masih kompleks, sehingga perlu diajukan model yang lebih mudah diselesaikan secara persamaan matematis.

Casas dkk. (2011) mengajukan model kinetika untuk menggambarkan kinetika reaksi interesterifikasi trigliserida dengan metil asetat secara *irreversible*. Melalui pendekatan Casas dkk. (2011) yang mengacu pada Freedman (1986) menyebutkan bahwa jika digunakan komposisi metil asetat berlebihan, maka

dapat dianggap bahwa *forward reaction* pada persamaan (13) mengikuti kinetika *psedo-first order* dan *reverse reaction* mengikuti kinetika order dua. Narvaez (2007) menyebutkan apabila digunakan metil asetat berlebih dalam suatu reaksi interesterifikasi, maka nilai k untuk reverse reaction dianggap sama dengan nol. Sehingga reaksi interesterifikasi yang merupakan reaksi reversible dianggap sebagai reaksi irreversible.

Berikut merupakan model yang diajukan mengikuti persamaan reaksi order dua sebagaimana dinyatakan dalam persamaan di bawah ini :

$$-\frac{dC_{TG}}{dt} = r_{TG} = k'.C_{TG}^2 \qquad (15)$$

C_{TG} merupakan konsentrasi molar trigliserida (mol/L), t adalah waktu reaksi (menit), r_{TG} adalah laju reaksi trigliserida (mol/L.menit), dan k' adalah konstanta kinetika (L/mol.menit).Nilai k'tersebut tergantung pada konsentrasi katalis.

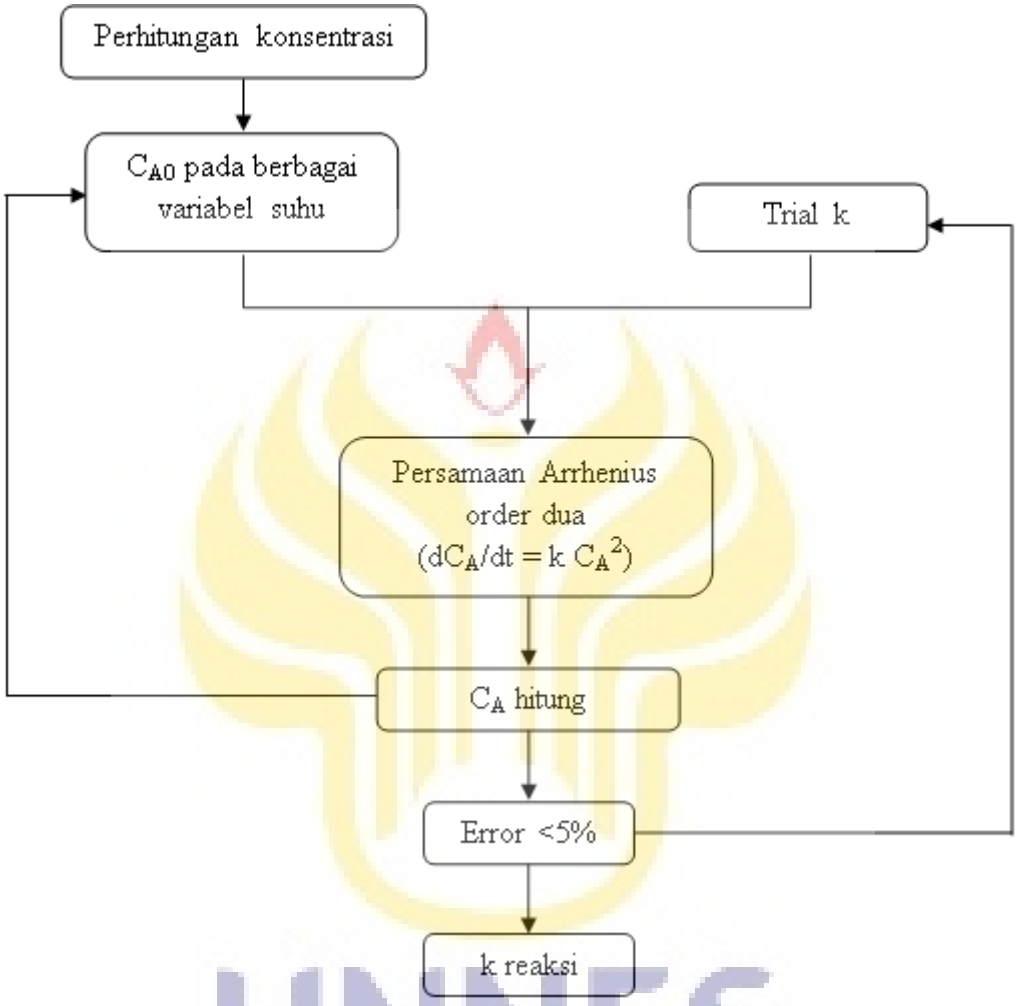
Adapun model kinetika yang diajukan adalah sebagai berikut :

$$\frac{1}{C_{TG}} = k'.t + \frac{1}{C_{TG_o}} \qquad (16)$$

C_{TG_o} merupakan konsentrasi molar awal trigliserida (mol/L). Pemetaan dari $\frac{1}{C_{TG}}$ terhadap t akan membentuk garis lurus jika model tersebut tepat. Adapun k'akan menjadi nilai dari slope.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Diagram Alir Kerangka Pikir Penentuan Kinetika Reaksi



Gambar II.8 Algoritma Reaksi Interesterifikasi Sintesis Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

V.1. SIMPULAN

1. Konversi biodiesel meningkat dengan kenaikan konsentrasi katalis. Konversi naik dari 0% pada konsentrasi katalis 0,25% menjadi 29,75% pada konsentrasi katalis 0,5%, selanjutnya naik menjadi 43,08% pada konsentrasi katalis 0,75%, dan naik menjadi 88,1% pada konsentrasi katalis 1%.
2. Konversi biodiesel menurun seiring dengan peningkatan rasio molar minyak dengan metil asetat. Konversi biodiesel sebesar 29,76% pada rasio molar 1:6, turun menjadi 3,88% pada rasio molar 1:9, selanjutnya turun menjadi 6,91% pada rasio molar 1:12, dan turun menjadi 2,12% pada rasio molar 1:15.
3. Konversi biodiesel menurun dengan semakin tingginya suhu reaksi. Konversi turun dari 73,96% pada suhu 40°C menjadi 34,34% pada suhu 50°C, selanjutnya turun menjadi 11,52% pada suhu 60°C. Konversi biodisel meningkat dengan semakin lama waktu reaksi. Konversi naik dari 9,4% dengan lama reaksi 30 menit, 18,63% dengan lama reaksi 60 menit, naik menjadi 33,56% pada 120%, selanjutnya naik menjadi 44,49% pada 240 menit, dan naik menjadi 73,96% dengan lama reaksi 480 menit.
4. Konstanta kecepatan reaksi turun dengan naiknya suhu reaksi. Nilai k pada suhu 40°C sebesar 1,5728 L/menit, turun menjadi 0,6753 L/menit pada suhu 50°C, dan 0,2151 L/menit pada 60°C, sehingga didapatkan energi aktivasi sebesar 86.116,41 Jmol^{-1}menit^{-1}.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

V.2. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disarankan bahwa:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh dari katalis sodium metoksida dalam sintesis biodiesel menggunakan metode interesterifikasi menggunakan metil asetat.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui jenis katalis yang sesuai dengan metode interesterifikasi.
3. Perlu dilakukan dilakukan pendekatan studi kinetika reaksi secara *reversible*.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR PUSTAKA

Akbar, Emil., Z. Yaakob, S. K. Kamarudin, M. Ismail, dan J. Salimon. 2009. Characteristic and Composition of *Jatropha Curcas* Oil Seed from Malaysia and its Potential as Biodiesel Feedstock Feedstock. *European Journal of Scientific Research*. ISSN 1450-216X Vol.29 No.3.

Akbar, R. 2012. Karakteristik Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Menggunakan Metil Asetat Sebagai Pensuplai Gugus Metil. *Skripsi*. Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Ban, K., S. Hama., K. Nishizuka., M. Kaieda., T. Matsumoto., A. Kondo., H. Noda., dan H. Fukuda. 2002. Repeated Use of Whole-Cell Biocatalysts Immobilized within Biomass Support Particles for Biodiesel Fuel Production. *Jurnal Molecular Catalysis B: Enzym* 17 : 157-165.

Burgers, J., C.W. Mott., dan P, Seiden. 1965. Interesterification process. *Jurnal*. The Protect & Gamble Company. United State.

Casas, A., M. J. Ramos., A. Perez. 2011. Kinetics of Chemical Interesterification of Sunflower Oil with Methyl Acetate for Biodiesel and Triacetin Production. Elsevier. *Jurnal Teknik Kimia* 171 : 1324-1332.

_____ , _____ , _____ . 2013. *Production of Biodiesel Through Interesterification of Triglycerides with Metyl Acetate.* Editor David A.Sander. Nova Science Publisher ISBN : 978-1-62808-565-5.

Dewi, M. T. I., dan Hidajati, Nurul. 2012. Peningkatan Mutu Minyak Goreng Curah Menggunakan Adsorben Bentonit Teraktivasi. UNESA Journal of Chemistry Vol. 1, No. 2.

Evonik Industries. 2010. *GPS Safety Summary*. http://www.corporate.evonik.com. 25 Agustus 2015 (16.01).

Faiz, M. B. 2012. Sintesis *Human Milk Fat Substitute* (HMFS) melalui Selektif Interesterifikasi Oleat Susu Sapi dengan Tripalmitin Minyak Sawit menggunakan Biokatalis. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.

Fajrin, E. 2012. Penggunaan Enzim Bromelin pada Pembuatan Minyak Kelapa (*Cocos nucifera*) secara Enzimatis. *Skripsi*. Universitas Hasanuddin. Makassar.

Ferrari, Roseli Ap., A. L. M. T. Pighinelli, dan K. J. Park. 2011. *Biodiesel Production and Quality*. Biofuel's Engineering Process Technology, Editor Dr. Marco Aurelio Dos Santos Bernardes (Ed.), ISBN: 978-953-307-480-1.

Freedman, B., E. H. Pryde dan T. L. Mounts. 1984. Variables Affecting the Konversis of Fatty Ester from Transesterified Vegetables Oils. *Jurnal Agriculture* 60(10) : 1638-1643.

Goh, S. H., S. K. Yeong., C. W. Wang. 1993. Transesterification of cocoa butter by fungal lipases : Effect of solvent on 1,3-specificity. *Jurnal American Oil Chemists' Society* 70 : 567-570.

Hambali, E., S. Mujdalipah., A. H. Tambunan., A. W. Pattiwiri dan R. Hendroko. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Edisi Pertama. Cetakan Pertama. Agromedia Pustaka ISBN : 979-006-113-7. Jakarta

Hermansyah, H., S. Marno., R. Arbianti., T. S. Utami., dan A. Wijanarko. 2009. Interesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dengan Metil Asetat untuk Sintesis Biodiesel Menggunakan Candida Rugosa Lipase Terimobilisasi. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. Universitas Indonesia. Depok.

Hikmah, M. N., dan Zuliyana. 2010. Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Dedak dan Metanol dengan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi. Skripsi. Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro. Semarang.

Huang, K.H., dan C.C. Akoh. 1996. Enzymatic Synthesis of Structured Lipids: Transesterification of Triolein and Caprylic Acid Ethyl Ester. *Jurnal Ibid* 73 :245–250.

Jackson, S. 2006. *Standar For Good Reason*. Artikel Majalah Biodiesel. 01 Februari 2006. California.

Karinda, E. A. 2011. Evaluasi dan Analisis Alat Pemisah Kontinyu Biodiesel-Gliserol. *Skripsi*. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.

Ketaren, S. 1986. *Minyak dan Lemak Pangan*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.

Keith, S. 1971. *Mechanics*. 3rd ed. Addison-Wesley. ISBN 0-201-07392-7.

Knothe, G dan Steidley, K. R. 2005. Kinematic Viscosity of Biodiesel fuel Components and Related Compounds. Influence of Compound Stucture and Comparison to Petrodiesel Fuel Components. *Jurnal Fuel Elsevier* 84 : 1059-1065.

Kusumaningtyas, R.D., P.A. Handayani., Rochmadi, S. Purwono., dan A. Budiman. 2014. Tin (II) Chloride Catalyzed Esterification of High FFA Jatropha Oil:Experimental and Kinetics Study. *Int. Journal of Renewable Energy Development*3(2) : 75-81.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Komintarachat, C., R. Sawangkeaw., dan S. Ngamprasertsith. 2015. Continuous Production of Palm Biofuel Under Supercritical Ethyl Acetate. *Jurnal Energy Conversion and Management* 93 : 332-338.

Ma, F dan M. A. Hanna. 1999. Biodiesel Production : A review. *Jurnal Bioresource Technology Elsevier* 70 : 1-15.

Maddikeri, G.L., A.B. Pandit., dan P.R. Gogate. 2013. Ultrasound Assisted Interesterification of Waste Cooking Oil and Methyl Acetate for Biodiesel and Triacetin Production. *Journal Fuel Processing Technology Elsevier* 16(1) : 241-249.

Masduki, Sutijan, A. Budiman. 2013. Kinetika Reaksi Esterifikasi *Palm FattyAcid Distilate* (PFAD) menjadi Biodiesel dengan Katalis Zeolit-Zirconia Tersulfatasi. *Jurnal Reakayas Proses* 7(2): 59-64.

Mittlebach, M., dan C. Remschmidt. 2004. Biodiesel *The Comprehensive Handbook*. 1st ed. Boersedruck Ges.m.b.H. Vienna. ISBN 3-200-00249-2.

Murni. 2010. Kaji Eksperimental Pengaruh Temperatur Biodiesel Minyak Sawit Terhadap Performansi Mesin Diesel Direct Injection Putaran Konstan.*Tesis*. Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Semarang.

Nor, A.I. dan L.H.M.D. Noor. 2005. Interesterified Palm Products as Alternatives to Hydrogenation. *Jurnal Asia Pac. J. Clin. Nutr* 14:396-401.

Noureddini, H dan D. Zhu. 1997. Kinetics of Transesterification of Soybean Oil. *JurnalAmerican Oil Chemists' Society* 74 : 1457-1463.

Nugroho, T.S., dan S.A. Prasetyo 2013. Pembuatan dan Pengujian Katalis Padat Heterogen Basa NH_4/CaO-ZnO untuk Produksi Biodiesel dari Minyak Kedelai (*Soybean Oil*). *Skripsi*. Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro. Semarang.

Nzikou, J. M. 2009. Characteristics and Composition of Jatropha curcas Oils, Variety Congo-Brazzaville. *Journal Applied Sciences, Engineering and Technology* 1(3): 154-159 ISSN : 2040-7467

Prasetyo, Ari Eko., Anggra Widhi, dan Widayat. 2012. Potensi Gliserol dalam Pembuatan Turunan Gliserol Melalui Proses Esterifikasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro 10(1) : 26-31.

Pristiyani, R. 2015. Sintesis Biodiesel dan Fuel Bioadditive Triasetin secara Simultan dengan Metode Interesterifikasi Minyak Jarak (Jatropha curcas). *Tugas Akhir*. Program Studi Teknik Kimia, Universitas Negeri Semarang. Semarang.

Rachimoellah, H. M., D. A. Resti., A. Zibbeni., dan I. W. Susila. 2009. Production of Biodiesel through Transesterification of Avocado (*Persea gratissima*) Seed Oil using Base Catalyst. Jurnal Teknik Mesin 11(2) : 85-90.

Rasyid, R. 2009. Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Katalis pada Proses Esterifikasi Distilat Asam Lemak Minyak Sawit (DALMs) menjadi Biodiesel. *Skripsi*. Jurusan Teknik Kimia, Universitas Muslim Indonesia. Makassar.

Sagiroglu, A., S. S. Isbilir., H. M. Ozcan., H. Paluzar dan N. M. Toprakkiran. 2011. Comparison of Biodiesel Productivities of Different Vegetable Oils by Acidic Catalysis. *Jurnal Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly* 17(1) : 53-58.

Said, M., W. Septiarty., T. Tutiwi. 2010. Studi Kinetika Reaksi pada Metanolisis Minyak Jarak Pagar. *Jurnal Teknik Kimia* 17(1) : 15-22.

Setyawardhani, Dwi Ardiana. 2003. Metanolisis Asam Lemak dari Minyak Kacang Tanah untuk Pembuatan Biodiesel. *Disertasi*. Program Studi Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Sitorus, T. B. 2004. Kaji Eksperimental Performansi Motor Diesel dengan Bahan Bakar Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas. *Skripsi*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Mesin Universitas Sumatera Utara. Medan.

Sreenivasan, B. 1978. Interesterification of Fats. *Jurnal American Oil Chemists' Society* 55 : 796-805.

Sudradjat, R., E. Pawoko., D. Hendra., dan D. Setiawan. 2010. Pembuatan Biodiesel dari Biji Kesambi (*Schleichera oleosa L.*). Departemen Teknologi Industri Pertanian Institut Pertanian Bogor. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 28(4) : 358-379.

Sumangat, D dan T. Hidayat. 2008. Karakteristik Metil Ester Minyak Jarak Pagar Hasil Proses Transesterifikasi Satu dan Dua Tahap. *Jurnal Pascapanen* 5(2) : 18-26.

Sustere, Z., dan V. Kampars. 2015. Chemical Interesterification of the Rapeseed Oil with Methyl Acetate in the Presence of Potassium *tert*-Butoxide in *tert*-Butanol. *Jurnal International Journal of Engineering and Technical Research* (IJETR) 3(10) : 226-232 ISSN : 2321-0869.

Sutiah., K. S. Firdausi., dan W. S. Budi. 2008. Studi Kualitas Minyak Goreng dengan Parameter Viskositas dan Indeks Bias. *Jurnal berkala Fisika* 11(2) : 53-58 ISSN : 1410-9662.

Syah, A. 2006. *Biodiesel Jarak Pagar : Bahan Bakar Alternatif yang Ramah Lingkungan*. Edisi Pertama. Cetakan Pertama. AgroMedia Pustaka ISBN : 979-3702-83-4. Jakarta.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Tesser, R., M. D. Serio., M. Guida., M. Nastasi., dan E. Santacesaria. 2005. Kinetics of Oleic Acid Esterification with Methanol in the Presence of Triglycerides. *Jurnal Ind. Eng. Chem. Res*. 44: 7978-7982.

Thane, P. 2008. *Breaking Away from Potassium Hydroxide.* Artikel Majalah Biofuels Internasional. November. Halaman 53. Carolina.

Van Gerpen, J. 2012. *Methoxide Catalyst in Biodiesel Production.* Artikel Department of Biological and Agricultural Engineering University of Idaho. Amerika.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG