

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur atas segala nikmat yang telah Allah SWT berikan hingga penulis mampu menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan lancar. Sholawat dan salam semoga tetap tercurah kepada qudwah hasanah kita, Rasulullah SAW, keluarga, sahabat dan orang-orang yang senantiasa istiqomah di jalanNya.

Penulis menyadari tanpa bantuan serta dukungan dari semua pihak, laporan ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. Adi Susilo, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika MIPA Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Dr. Rer. Nat. M. Nurhuda selaku pembimbing I, atas ilmu, waktu, dan nasehat yang diberikan kepada penulis selama penyelesaian Skripsi.
3. Ibu Istiroyah.S.si.,MT. selaku pembimbing II, atas ilmu, waktu dan nasehat yang diberikan.
4. Bapak dan Ibu Dosen yang telah mengajar selama ini, atas ilmu dan bimbingannya.
5. Umi, Babe, Bang Ayep, Ica yang telah memberikan semangat baik moril maupun materiil serta doanya selama ini.
6. Istri tercinta, R.M.Faris Dambaan Jiwa, yang telah memberi semangat pada jiwa yang telah gersang.
7. Seluruh Karyawan dan Laboran Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.
8. Teman-teman Fisika'02 atas doa, semangat, kekompakan, dan kebersamaannya selama ini. Kita ada di sini bukan untuk saling bersaing. Kita ada di sini untuk saling melengkapi.
9. Sahabat terbaik syafri yang rutin kerumah tiap hari menanyakan skripsi. Terus berjuang akhi.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, terimakasih atas dukungan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa laporan Skripsi ini masih jauh dari sempurna, namun penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Amin.

Malang, Mei 2009

Penulis

PROSES PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SIFAT FISIS BIODIESEL BERBAHAN BAKU MINYAK GORENG CURAH MENGGUNAKAN REAKTOR TRANSESTERIFIKASI KOMPAK

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk membuat minyak biodiesel dengan proses transesterifikasi dengan memanfaatkan gelombang mikro dan mengetahui pengaruh intensitas proses transesterifikasi terhadap sifat fisis (endapan, massa jenis, viskositas, titik kabut) dari minyak biodiesel yang dihasilkan.

Hasil dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pembuatan minyak biodiesel dengan proses transesterifikasi dilakukan melalui tahap pemaparan gelombang mikro pada suhu dari 30°C sampai 60°C, pencucian minyak biodiesel dengan air dengan perbandingan 3:1, pengeringan minyak biodiesel dengan dipanaskan pada suhu 40°C kemudian menghasilkan bahan bakar diesel yang siap pakai..

Adapun pengaruh intensitas proses transesterifikasi terhadap sifat fisis menunjukkan Besarnya nilai massa jenis hasil minyak biodiesel dalam penelitian ini sebesar 858 – 861 kg/m³. Nilai viskositas minyak biodiesel sebesar 3,1 – 3,3 poise. Nilai titik kabut hasil minyak biodiesel sebesar 9,4 – 11°C dan nilai endapan hasil minyak biodiesel dari tidak terukur sampai 0,176%. Nilai hasil minyak biodiesel diatas semuanya memenuhi syarat sebagai bahan bakar pengganti solar karena nilai-nilai hasil minyak biodiesel berdasarkan penelitian sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) biodiesel.

MAKING PROCESS AND CHARACTERIZE OF BIODIESEL PHYSICAL CHARACTERISTIC MADE VEGETABLE OIL USING REACTOR TRANSESTERIFIKASI COMPAC

ABSTRACT

This research is conducted to make biodiesel oil by processing transesterification with using microwave and knowing the influence of transesterification process intensity toward physical characteristics (sediment, density, viscosity, cloud point) from resulted biodiesel oil.

The result of this research shows that the making biodiesel oil by using transesterification process is conducted through explanation stage of microwave on 30°C to 60°C, biodiesel oil washing with water with rate of exchange 3:1. biodiesel oil praining by heating on 40°C and than it result diesel fuel which is already used.

The influence of transesterification process intensity toward physical characteristics shows the density value of biodiesel oil result in this research is 858 – 861 kg/m³. The viscosity value of biodiesel oil result is 3,1 – 3,3 poise. The cloud point value of biodiesel oil result is 9,4 – 11 °C and the sediment value of biodiesel oil result is from unmeasured to 0,176 %. The result of biodiesel oil about fulfills the terms as diesel fuel of the solar successor. It is because the value of biodiesel oil result in this research appropriate to Indonesia National Standard of biodiesel.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodiesel	5
2.2 Proses Transesterifikasi	8
2.3 Metanol	10
2.4 Katalis KOH	11
2.5 Minyak Goreng dan Gliserin	12
2.6 Viskositas	14
2.7 Titi Kabut	17
2.8 Massa Jenis	18
2.9 Gelombang Elektromagnetik	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	23
	3.2.1 Alat-alat yang Dipergunakan	23
	3.2.2 Bahan-bahan yang Dipergunakan	23
3.3	Rancangan Penelitian	23
	3.3.1 Pencampuran Bahan Biodiesel	24
	3.3.2 Pemaparan (Proses Transesterifikasi).....	25
	3.3.3 Pencucian	26
	3.3.4 Pengeringan	26
	3.3.5 Pengukuran Densitas dan Viskositas	26
	3.3.6 Pengukuran Endapan	27
	3.3.7 Titik Kabut.....	27
	3.3.8 Analisa Data	28

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Proses Transesterifikasi	31
	4.1.1 Hasil Pencucian	34
	4.1.2 Hasil Pengeringan	35
4.2	Hasil Karakterisasi	36
	4.2.1 Hasil Uji Endapan	36
	4.2.2 Pengukuran Densitas	38
	4.2.3 Viskositas	40
	4.2.4 Titik Kabut	42
4.3	Kualitas Biodiesel	43

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	47

DAFTAR PUSTAKA.....	49
----------------------------	-----------

LAMPIRAN	53
-----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Perangkat Reaktor Transesterifikasi	2
Gambar 2.1 Persamaan Reaksi Kimia dari Proses transesterifikasi	8
Gambar 2.2 Skema Untuk Produksi Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi	9
Gambar 2.4 Spektrum Elektromagnetik	20
Gambar 2.5 Reaktor Transesterifikasi Kompak	22
Gambar 3.1 Skema Produksi Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi	24
Gambar 3.2 Perangkat Transesterifikasi	25
Gambar 3.3 (a) Viskometer oswald (b) Arhoemeter	27
Gambar 4.1 (a) Minyak Goreng Curah (b) Metanol dan KOH.....	32
Gambar 4.2 Endapan gliserin pada biodiesel	32
Gambar 4.3 (a) Gliserin (b) Biodiesel	33
Gambar 4.4 (a) Biodiesel I (b) Biodiesel II (c) Biodiesel III (d) Biodiesel IV (e) Biodiesel V	33
Gambar 4.5 (a) Minyak Biodiesel dan Sabun, (b) Minyak biodiesel, (c) Sabun	34
Gambar 4.6 Proses pengeringan	35
Gambar 4.7 Biodiesel hasil Pengeringan	36
Gambar 4.8 Grafik Nilai Endapan Biodiesel	37

Gambar 4.9 Grafik Nilai Densitas Biodiesel39

Gambar 4.10 Grafik Nilai Viskositas Minyak Biodiesel41

Gambar 4.11 Persamaan reaksi kimia dari proses Transesterifikasi Biodiesel42

Gambar 4.12 Grafik Nilai Rata-rata Titik Kabut Minyak Biodiesel43

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 4.1	Nilai Endapan Setelah Proses Transesterifikasi	36
Tabel 4.2	Nilai Densitas Biodiesel 25°C	38
Tabel 4.3	Nilai Densitas Biodiesel 40°C	38
Tabel 4.4	Nilai Viskositas Biodiesel 25°C	40
Tabel 4.5	Nilai Viskositas Biodiesel 40°C	40
Tabel 4.6	Nilai Titik Kabut Minyak Biodiesel	42
Tabel 4.7	Nilai Minyak Biodiesel dan Solar	44



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu faktor penentu kelangsungan hidup suatu bangsa, salah satu syarat penting dalam menjaga keberlangsungan hidup dan pembangunan suatu bangsa adalah dengan mempertahankan pasokan energi. Pasokan energi bisa berasal dari jenis energi fosil (energi yang tidak bisa diperbaharui) seperti batu bara, BBM, dan jenis energi hayati non fosil (energi yang bisa diperbaharui) seperti sumber energi biofuel (bioetanol dan biodiesel).

Indonesia saat ini sedang menggalakkan eksplorasi sumber bahan bakar energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak (BBM). Kebijakan pengalihan konsumsi bahan bakar tersebut cukup aman, karena jenis energi terbarukan ini memiliki sumber daya energi yang secara alamiah tidak akan habis dan dapat berkelanjutan jika dikelola dengan baik, misalnya: panas bumi, biofuel, aliran sungai, panas surya, angin, ombak laut, dan suhu kedalaman laut.. Dan sekarang Pertamina bergerak lagi ke energi yang terbarukan jenis yang lain, yaitu biofuel.

Salah satu biofuel yang digarap Pertamina adalah biodiesel, yaitu bahan bakar diesel yang terbuat dari unsur hayati-nabati non fosil. Biodiesel dapat menjadi substitusi yang unggul. Teknologi produksi biodiesel relatif tak rumit, mudah dikembangkan dan dikuasai bangsa Indonesia. Berbagai sumber minyak nabati yang dapat dijadikan bahan baku biodiesel diantaranya : minyak sawit, minyak kelapa, minyak jarak pagar, minyak kedelai, minyak bunga matahari, minyak kemiri. Pemanfaatan minyak nabati ini mulai banyak dilakukan berbagai kalangan.

Salah satu tahapan pembuatan biodiesel adalah proses transesterifikasi yaitu pemisahan trigliserida menjadi metil ester melalui reaksi pemutusan ikatan kimia, proses ini merupakan proses yang mereaksikan minyak nabati dengan metanol atau etanol dengan katalis soda api (NaOH atau KOH). Untuk mempercepat proses dilakukan pemanasan. Pemanasan yang dilakukan pada umumnya secara konvensional atau pemanasan biasa dan belum banyak yang menggunakan gelombang mikro yang juga merupakan pembangkit panas. Pemanfaatan gelombang mikro diharapkan dapat

mempercepat reaksi transesterifikasi karena interaksi antara gelombang mikro dengan minyak nabati berlangsung dalam skala molekuler sehingga diharapkan dapat menaikkan suhu bahan dan membuat waktu reaksi berjalan lebih cepat.

Pada penelitian ini menggunakan reaktor kompak yang menggunakan microwave sebagai sumber panas. Reaksi transesterifikasi bahan biodiesel dilakukan dalam sebuah ruang sempit dengan tampang lintang yang merupakan pandu gelombang mikro. Dengan cara demikian, seluruh energi gelombang mikro terserap bahan biodiesel sehingga reaksi berlangsung sangat efisien.

Pada umumnya bahan bakar biodiesel yang digunakan harus sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) biodiesel. Dari latar belakang di atas maka penelitian ini bertujuan untuk membuat biodiesel menggunakan gelombang mikro dan menganalisa sifat fisis yang beracuan pada Standart Nasional Indonesia (SNI) biodiesel.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, permasalahan yang akan diteliti adalah :

- Bagaimana membuat Biodiesel dengan proses transesterifikasi dengan memanfaatkan gelombang mikro?
- Bagaimana pengaruh intensitas proses transesterifikasi gelombang mikro terhadap sifat fisis dari biodiesel yang dihasilkan?

1.3 Batasan Masalah

Ruang Lingkup masalah dalam pembahasan supaya tidak terjadi perluasan, maka penelitian ini dibatasi pada :

- Jenis minyak nabati yang digunakan adalah minyak goreng curah. Minyak goreng yang tidak ada merk, BPOM dan Depkes.
- Katalis yang digunakan dalam proses transesterifikasi biodiesel adalah KOH dengan jumlah 1% dari massa minyak goreng.
- Perbandingan antara minyak goreng curah dengan metanol adalah 4:1
- Pengukuran viskositas dan densitas dilakukan pada suhu 25⁰ C dan 40⁰C.
- Sifat fisis lain yang diuji adalah endapan dan titik kabut.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

- Membuat biodiesel dengan memanfaatkan gelombang mikro.
- Menganalisa sifat fisis biodiesel

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

- Mendukung pengembangan penelitian minyak biodiesel terutama metode transesterifikasi memanfaatkan gelombang mikro.
- Dihasilkan minyak biodiesel sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodiesel

Biodiesel secara umum adalah bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari bahan terbarukan atau secara khusus merupakan bahan bakar mesin diesel yang terdiri atas ester alkil dari asam-asam lemak. Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati, minyak hewani atau dari minyak goreng bekas/daur ulang. Bahan baku biodiesel yang berpotensi besar di Indonesia untuk saat ini adalah minyak mentah kelapa sawit (*Crude Palm Oil* atau CPO), dimana produksi kelapa sawit sangat tinggi di Indonesia (Mescha, 2007).

Biodiesel sebagai salah satu bahan bakar minyak dikenal sebagai produk yang ramah lingkungan, tidak mencemari udara, mudah terbiodegradasi, dan berasal dari bahan baku yang dapat diperbaharui. Pada umumnya biodiesel disintesis dari ester asam lemak dengan rantai karbon antara C6-C22. Minyak sawit merupakan salah satu jenis minyak nabati yang mengandung asam lemak dengan rantai karbon C14-C20, (Lukman dan Bambang, 2006).

Biodiesel terbuat dari 80-90 % minyak nabati, 10-20 % alkohol, dan 0,35-1,5 % katalis. Konsep penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar bukan konsep baru Dr. Rudolf Diesel pertama kali membuat motor diesel pada tahun 1895 dengan maksud menggunakannya pada berbagai macam bahan bakar termasuk minyak nabati (Anonimus(a), 2008).

Biodiesel didefinisikan sebagai metil ester yang diproduksi dari minyak tumbuhan atau hewan dan memenuhi kualitas untuk digunakan sebagai bahan bakar alternatif di dalam mesin diesel. Secara kimiawi biodiesel merupakan campuran metil ester dari hasil reaksi kimia antara minyak tumbuhan dengan alkohol dan menghasilkan gliserin sebagai produk sampingan yang bernilai tinggi. Biodiesel berasal dari campuran trigliserida (minyak tumbuhan atau lemak) dan alkohol (metanol atau etanol) ditambah KOH sebagai katalis dengan menggunakan proses transesterifikasi. Sedangkan minyak lemak mentah didapatkan langsung dari pemerahan atau pengempaan biji sumber minyak (*oilseed*), yang kemudian disaring dan dikeringkan (untuk mengurangi kadar air). Minyak lemak mentah akan diproses lanjut untuk menghilangkan kadar fosfor dan asam-asam lemak bebas (dengan netralisasi dan

steam refining) sehingga menjadi *refined fatty oil* atau *straight vegetable oil* (SVO). SVO didominasi oleh trigliserida sehingga memiliki viskositas dinamik yang sangat tinggi dibandingkan dengan solar (bisa mencapai 100 kali lipat, misalkan pada Castor Oil. Oleh karena itu, penggunaan SVO secara langsung di dalam mesin diesel umumnya memerlukan modifikasi/tambahan peralatan khusus pada mesin, misalnya penambahan pemanas bahan bakar sebelum sistem pompa dan injektor bahan bakar untuk menurunkan harga viskositas. Viskositas (atau kekentalan) bahan bakar yang sangat tinggi akan menyulitkan pemompaan bahan bakar. Aliran bahan bakar yang rendah akan menyulitkan terjadinya atomisasi bahan bakar yang baik. Buruknya atomisasi berkorelasi langsung dengan kualitas pembakaran, daya mesin, dan emisi gas buang (Indartono, Y. Setyo. 2006).

Pemanasan bahan bakar sebelum memasuki sistem pompa dan injeksi bahan bakar merupakan satu solusi yang paling dominan untuk mengatasi permasalahan yang mungkin timbul pada penggunaan SVO secara langsung pada mesin diesel. Pada umumnya, orang lebih memilih untuk melakukan proses kimiawi pada minyak mentah atau *refined fatty oil*/SVO untuk menghasilkan metil ester asam lemak (*fatty acid methyl ester* - FAME) yang memiliki berat molekul lebih kecil dan viskositas setara dengan solar sehingga bisa langsung digunakan dalam mesin diesel konvensional. Biodiesel umumnya diproduksi dari penyulingan minyak nabati menggunakan proses transesterifikasi. Proses ini pada dasarnya bertujuan mengubah [tri, di, mono] gliserida berberat molekul dan berviskositas tinggi yang mendominasi komposisi penyulingan lemak minyak menjadi asam lemak metil ester (FAME).

Biodiesel tergolong bahan bakar yang dapat diperbaharui karena diproduksi dari hasil pertanian, antara lain : jarak pagar, kelapa, sawit, kedele, jagung, *rape seed* (lobak), kapas, kacang tanah. Selain itu biodiesel juga bisa dihasilkan dari lemak hewan dan minyak ikan. Penggunaan biodiesel cukup sederhana, dapat terurai (biodegradable), tidak beracun dan pada dasarnya bebas kandungan belerang (sulfur). Keuntungan lain dari biodiesel antara lain :

1. Termasuk bahan bakar yang dapat diperbaharui.
2. Tidak memerlukan modifikasi mesin diesel yang telah ada.
3. Tidak memperparah efek rumah kaca karena siklus karbon yang terlibat pendek.

4. Kandungan energi yang hampir sama dengan kandungan energi petroleum diesel.
5. Penggunaan biodiesel dapat memperpanjang usia mesin diesel karena memberikan lubrikasi lebih daripada bahan bakar petroleum.
6. Memiliki flash point yang tinggi, yaitu sekitar 200°C, sedangkan bahan bakar petroleum diesel flash pointnya hanya 70°C sehingga lebih aman ketika disimpan.
7. Bilangan setana (cetane number) yang lebih tinggi daripada petroleum diesel
8. Biodiesel secara nyata dapat mengurangi pencemaran, mengurangi hidrokarbon yang tidak terbakar, karbon monoksida, sulfat, polisiklikaromatik hidrokarbon, dan hujan asam (Johan Nasiri,2006).

Setiap molekul dari biodiesel terdiri hampir 10 oksigen, sehingga biodiesel dapat melakukan pembakaran yang lebih sempurna, Biodiesel dapat memperpanjang umur motor diesel karena efek pelumasannya yang sangat baik. Biodiesel mempunyai angka setana 10-15 lebih tinggi dari solar, menyebabkan pembakaran yang cepat, motor bekerja lebih halus dan tidak berisik. Angka setana yang tinggi juga akan mengurangi terjadinya detonasi pada motor diesel. Biodiesel tidak beracun, tidak mudah terbakar (Rondang Tambun,2006).

Proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati disebut transesterifikasi. Transesterifikasi adalah 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. Minyak nabati biasa disebut *glycerolesters*, sekitar 20% dari minyak nabati adalah gliserin. Gliserin pada minyak nabati yang menyebabkan minyak nabati mempunyai viskositas yang tinggi dan berubah-ubah terhadap temperatur. Ester merupakan komponen utama dari biodiesel. Pada proses gliserin digantikan kedudukannya oleh alkohol, alkohol yang dapat digunakan adalah *metanol* dan *etanol*. Untuk membuat biodiesel diperlukan tiga komponen utama, yaitu (Anonimous(a).2008) :

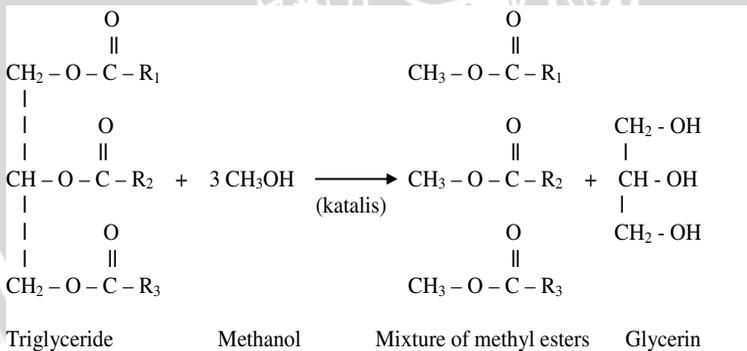
1. Minyaknabati.
2. Alkohol.
3. Katalis.

2.2 Proses Transesterifikasi

Transesterifikasi merupakan metode yang saat ini paling umum digunakan untuk memproduksi biodiesel dari refined fatty oil. Metode ini bisa menghasilkan biodiesel (FAME) hingga 98% dari bahan baku minyak tumbuhan. Bila bahan baku yang digunakan adalah minyak mentah yang mengandung kadar asam lemak bebas (free fatty acid - FFA).

Transesterifikasi (biasa disebut dengan alkoholis) adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi alkil ester melalui reaksi dengan alkohol dan menghasilkan produk samping yaitu gliserin, di antara alkohol-alkohol monohidrik yang menjadi kandidat sumber/ pemasok gugus alkil, metanol adalah yang paling umum digunakan, karena harganya murah dan reaktifitasnya paling tinggi (sehingga reaksi disebut metanolisis). Jadi, di sebagian besar dunia ini, biodiesel praktis identik dengan ester metil asam-asam lemak (Fatty Acids Metil Ester, FAME).

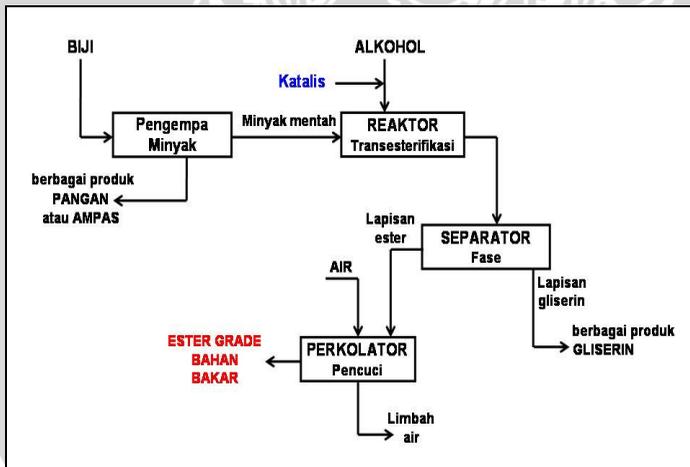
Transesterifikasi merupakan suatu reaksi kesetimbangan. Untuk mendorong reaksi agar bergerak ke kanan sehingga dihasilkan metil ester (biodiesel) maka perlu digunakan alkohol dalam jumlah berlebih atau salah satu produk yang dihasilkan harus dipisahkan. Persamaan reaksi kimia dari proses transesterifikasi trigliserida dengan metanol untuk menghasilkan metil ester (biodiesel) adalah sebagai berikut (Erliza, 2007) :



Gambar 2.1 Persamaan Reaksi Kimia Dari Proses Transesterifikasi (Erliza, 2007)

Transesterifikasi juga menggunakan katalis dalam reaksinya. Tanpa adanya katalis konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi berjalan lambat (Mittlebatch,2004). Katalis yang biasa digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah katalis basa, karena katalis ini dapat mempercepat reaksi.

Proses transesterifikasi merupakan proses kimiawi yang mempertukarkan grup alkoksi pada senyawa ester dengan alkohol, yang bertujuan untuk memisahkan antara metil ester dan gliserin dengan cara pemanasan. Untuk mempercepat reaksi ini diperlukan bantuan katalisator berupa asam atau basa. Asam mengkatalis reaksi dengan mendonorkan proton yang dimilikinya kepada grup alkoksi sehingga lebih reaktif. Pada tanaman penghasil minyak banyak mengandung asam lemak. Secara kimiawi, asam lemak ini merupakan senyawa gliserida. Pada proses transesterifikasi senyawa gliserida ini dipecah menjadi monomer senyawa ester dan gliserin, dengan penambahan alkohol dalam jumlah yang banyak dan bantuan katalisator. Senyawa ester pada tingkat (*grade*) tertentu inilah yang menjadi biodiesel.



Gambar 2.2 Skema Untuk Produksi Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi (Sopian. T. 2005)

Proses transesterifikasi minyak dilakukan dengan menggunakan alkohol, proses ini akan mengubah trigliserida menjadi metil ester (biodiesel) dan gliserin. Penggantian gugus alkohol dari ester dengan

alkohol lain dalam suatu proses yang mirip dengan hidrolisis. Namun berbeda dengan hidrolisis, pada proses transesterifikasi bahan yang digunakan bukan air melainkan alkohol. Umumnya katalis yang digunakan adalah NaOH atau KOH. Tujuan transesterifikasi untuk menurunkan viskositas atau kekentalan minyak sehingga dapat digunakan sesuai standar minyak diesel untuk kendaraan bermotor (Erliza, 2007).

2.3 Metanol

Alkohol yang biasa digunakan adalah metanol dan etanol. Metanol mempunyai keuntungan lebih mudah bereaksi atau lebih stabil dibandingkan dengan etanol. Kerugian dari metanol adalah metanol merupakan zat yang beracun dan berbahaya, jika terminum dalam jumlah yang sangat kecil maupun melalui pernafasan kronis dapat menyebabkan kebutaan (Ralph dan Joan, 1997).

Metanol sangat mudah terbakar, bahkan lebih mudah terbakar dibandingkan dengan bensin. Metanol biasa juga disebut metil alkohol sedangkan etanol biasa juga disebut etil alkohol. Metanol berwarna bening seperti air, mudah menguap, mudah terbakar dan mudah bercampur dengan air. Metanol dan etanol yang dapat digunakan hanya yang murni. Metanol merupakan alkohol yang paling banyak digunakan untuk pembuatan biodiesel. Metanol lebih disukai karena hanya memiliki satu ikatan karbon sedangkan etanol memiliki dua ikatan karbon. Metanol lebih murah dan lebih mudah memperoleh pemisahan gliserin dibandingkan etanol. Etanol lebih aman, tidak beracun dan terbuat dari hasil pertanian, sedangkan metanol mengandung uap yang berbahaya bagi makhluk hidup dan terbuat dari batubara. Etanol memiliki sifat yang sama dengan metanol, yaitu berwarna bening seperti air, mudah menguap, mudah terbakar dan mudah bercampur dengan air. Pemisahan gliserin dengan menggunakan etanol lebih sulit dari metanol dan jika tidak berhati-hati akan berakhir dengan emulsi. Metanol memiliki massa jenis $0,7915 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan etanol memiliki massa jenis $0,7900 \text{ gr/cm}^3$ (Anonymous(b). 2008).

Proses transesterifikasi dalam penelitian ini menggunakan metanol sebagai bahan pereaksi. Metanol lebih umum digunakan untuk proses transesterifikasi karena harganya lebih murah dan lebih mudah direkoveri (dapat diproses kembali), walaupun tidak menutup kemungkinan untuk menggunakan jenis alkohol lainnya seperti

etanol. Metanol merupakan cairan polar yang dapat bercampur dengan air, alkohol-alkohol lain, ester, keton, eter, dan sebagian besar pelarut organik. Metanol sedikit larut dalam lemak dan minyak. Metanol memiliki angka oktan yang tinggi dan mudah didapat dan penggunaannya sebagai aditif bensin tidak menimbulkan pencemaran udara. Metanol merupakan cairan alkohol yang tak berwarna dan bersifat toksik. Metanol dapat menyebabkan iritasi ringan pada mata, kulit dan selaput lendir dalam tubuh manusia. Efek lain jika keracunan metanol adalah meningkatnya keasaman darah yang dapat mengganggu kesadaran. Namun perbedaan struktur molekul metanol yang sangat berbeda dari struktur hidrokarbon bensin menimbulkan permasalahan dalam penggunaannya, antara lain kandungan oksigen yang sangat tinggi dan rasio stoikiometri udara per bahan bakar. Nilai bakarnya pun hanya 45% dari bensin (Anonimous(b), 2008).

Secara fisika metanol mempunyai afinitas khusus terhadap karbon dioksida dan hidrogen sulfida. Titik didih metanol berada pada $64,70^{\circ}\text{C}$ dengan panas pembentukan sebesar $-239,03 \text{ kJ/mol}$ pada suhu 250°C . Metanol mempunyai panas fusi 103 J/g dan panas pembakaran pada 250°C sebesar $22,662 \text{ J/g}$. Tegangan permukaan metanol adalah $22,1 \text{ dyne/cm}$ sedangkan panas jenis uapnya pada 250°C sebesar $1,370 \text{ J/(gK)}$ dan panas jenis cairannya pada suhu yang sama adalah $2,533 \text{ J/(gK)}$. Sebagai alkohol yang paling sederhana dengan rumus kimia CH_3OH , reaktifitas metanol ditentukan oleh golongan hidroksil fungsional. Metanol bereaksi melalui pemutusan ikatan C-O atau O-H yang dikarakterisasi dengan penggantian golongan $-\text{H}$ atau $-\text{OH}$ (Anonimous(c), 2008).

Metanol dapat diproduksi dari dua macam metoda yaitu metoda alamiah dengan cara ekstraksi atau fermentasi, dan metoda sintesis dengan cara sintesis gas hidrogen dan karbon dioksida atau oksidasi hidrokarbon atau dengan cara elektro atau radiasi sintesis gas karbon dioksida. Metanol dapat diproduksi dari berbagai macam bahan baku seperti gas alam, dan batu bara. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa metanol paling ekonomis diproduksi dari gas alam dibanding dari batu bara (Anonimous(c), 2008).

2.4 Katalis KOH

Untuk memecahkan minyak nabati perlu ditambahkan katalis. Katalis adalah zat yang akan mempercepat reaksi antar zat-zat lain. Katalis yang mungkin dipakai adalah Sodium Hydroxide (NaOH)

dan Potassium Hydroxide (KOH). NaOH biasa juga disebut dengan caustic soda atau natrium hidroksida. KOH biasa juga disebut dengan caustic potash atau kalium hidroksida, baik NaOH maupun KOH berupa flake atau granule. NaOH dan KOH juga sangat berbahaya dan dapat melukai kulit, mata, paru-paru dan berbahaya bila tertelan. KOH merupakan alkali kuat yang korosif. KOH menyerap air dan CO dari udara dan berubah menjadi KOH larut dalam air dengan perbandingan 1 : 1, alkohol dengan perbandingan 1 :3 dan gliserin dengan perbandingan 1:2,5, sangat larut dalam alkohol dan larut dalam gliserin. Katalis akan memecahkan minyak nabati dan melepaskan ester. Begitu ester bebas, mereka akan menempel pada alkohol. Sedangkan katalis dan gliserin akan mengendap. Jumlah katalis yang digunakan harus tepat. Pemakaian katalis yang terlalu banyak akan menyebabkan campuran mengemulsi, sedangkan pemakaian katalis yang terlalu sedikit akan mengakibatkan minyak nabati dan alkohol tidak bereaksi. NaOH dan KOH yang dapat digunakan hanya yang belum terbuka dan masih tersegel dengan baik. NaOH dan KOH mudah bereaksi dengan udara (Anonymous(a), 2008).

Bahan pereaksi katalis yang digunakan dalam proses transesterifikasi selain metanol adalah kalium hidroksida (KOH). Dalam proses pembuatan biodiesel, KOH lebih mudah digunakan dan waktu reaksi yang diperlukan 1,4 kali lebih cepat dibanding penggunaan NaOH (Susilo, 2006).

Kalium hidroksida diproduksi dari bahan baku yang mengandung unsur kalium. Kalium adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang K dan nomor atom 19. Kalium berbentuk logam lunak berwarna putih keperakan dan termasuk golongan alkali tanah. Secara alami kalium ditemukan sebagai senyawa dengan unsur lain dalam air laut atau mineral lainnya. Kalium teroksidasi dengan sangat cepat dengan udara, sangat reaktif terutama dalam air, dan secara kimiawi memiliki sifat yang mirip dengan natrium. Dalam bahasa Inggris kalium sering disebut potassium (Anonymous(d), 2008).

2.5 Minyak Goreng dan gliserin

Minyak goreng adalah minyak yang berasal dari lemak tumbuhan atau hewan yang dimurnikan dan berbentuk cair dalam suhu kamar dan biasanya digunakan untuk menggoreng makanan.

Minyak goreng dari tumbuhan biasanya dihasilkan dari tanaman seperti kelapa, biji-bijian, kacang-kacangan, jagung, kedelai, dan kanola. Minyak goreng biasanya bisa digunakan hingga 3 - 4 kali penggorengan. Jika digunakan berulang kali, minyak akan berubah warna (Anonymous(e),2008).

Minyak nabati biasa disebut atau asam lemak (Fatty Acids). Minyak nabati berwarna kuning, tidak mempunyai bau dan tidak mempunyai rasa. Minyak nabati tidak dapat bercampur dengan air. Minyak nabati yang telah digunakan untuk menggoreng akan menjadi lebih asam dan akan menghasilkan asam lemak bebas. Asam lemak bebas dapat menempel pada apapun yang bersifat basa. Ketika membuat biodiesel, asam lemak bebas harus dihilangkan. Untuk menghilangkan asam lemak bebas digunakan lebih banyak katalis pada reaksi pembuatan biodiesel. Banyak katalis yang digunakan tergantung seberapa asam minyak nabati tersebut. Minyak nabati memiliki massa jenis $0,94 \text{ gr/cm}^3$ pada 20° C .

Kelapa sawit menghasilkan dua macam minyak yang sangat berlainan sifatnya, yaitu :

1. Minyak sawit (CPO), yaitu minyak yang berasal dari sabut kelapa sawit
2. Minyak inti sawit (CPKO), yaitu minyak yang berasal dari inti kelapa sawit

Pada umumnya minyak sawit mengandung lebih banyak asam-asam palmitat, oleat dan linoleat jika dibandingkan dengan minyak inti sawit. Minyak sawit merupakan gliserida yang terdiri dari berbagai asam lemak, sehingga titik lebur dari gliserida tersebut tergantung pada kejenuhan asam lemaknya. Semakin jenuh asam lemaknya semakin tinggi titik lebur dari minyak sawit tersebut.

Minyak goreng yang dihasilkan dari bahan yang berbeda, mempunyai stabilitas yang berbeda pula karena stabilitas minyak goreng ditentukan atau dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain : derajat ketidakjenuhan asam lemak yang dikandungnya, penyebaran ikatan rangkap bahan-bahan pembantu yang dapat mempercepat proses kerusakan (rosnala, 2003).

Gliserin adalah larutan yang berwarna jernih, tidak memiliki bau, kental dan menyerap air. Gliserin memiliki rasa manis, hampir 0,6 kali manis sukrosa. Gliserin mudah bercampur dengan air dan alkohol. Gliserin memiliki titik nyala 176° C dan titik didih 290° C . Gliserin memiliki berat molekul 92,09 gr/mol. Gliserin yang

dihasilkan pada reaksi pembuatan biodiesel dapat digunakan sebagai bahan dasar sabun. Gliserin dapat langsung dibuang ke tanah dan akan diserap oleh bakteri dan mikroba. Gliserin tidak beracun, mudah terurai dan tidak akan membahayakan binatang dan tanaman. Gliserin murni 100% dapat dibuat untuk berbagai macam produk dan harganya sangat mahal. Tetapi gliserin hasil pembuatan biodiesel mengandung berbagai kotoran seperti katalis, alkohol, air dan sisa-sisa makanan. Untuk menghilangkan alkohol dari gliserin dilakukan dengan cara pemanasan agar alkohol dapat menguap. Jika memakai metanol, gliserin harus dipanaskan sampai 338°K (65°C). Jika memakai etanol, gliserin harus dipanaskan sampai 352°K (79°C). Untuk menghilangkan air dari gliserin, gliserin harus dipanaskan sampai mendidih selama kurang lebih 10 menit. Pada industri biodiesel, alkohol dapat diambil kembali dengan cara distilasi, sehingga gliserin dapat dimurnikan dan dijual (Rondang Tambun, 2006).

2.6 Viskositas

Fluida yang riil memiliki gesekan internal yang besarnya tertentu yang disebut viskositas. Viskositas ada pada zat cair maupun gas dan pada intinya merupakan gesekan antara lapisan-lapisan yang bersisian pada fluida pada waktu lapisan-lapisan tersebut bergerak satu melewati yang lainnya. Pada zat cair, viskositas terutama disebabkan oleh gaya kohesi antara molekul. Pada gas, viskositas muncul dari tumbukan molekul (Giancoli, 2001).

Viskositas atau kekentalan dapat dianggap sebagai gesekan zat alir. Akibat kekentalan ini harus dikerjakan gaya supaya suatu lapisan zat alir dapat meluncur diatas lapisan lainnya bila diantara keduanya terdapat zat alir. Baik zat cair maupun gas mempunyai kekentalan, meskipun zat cair kekentalannya lebih besar dari pada gas (Sears dan Zemasky, 1990).

Viskositas fluida yang berbeda dapat dinyatakan secara kuantitatif oleh koefisien viskositas, η (huruf kecil dari abjad Yunani eta), yang didefinisikan sebagai berikut. Satu lapisan tipis fluida ditempatkan antara dua lempeng yang rata. Satu lempeng diam dan yang lainnya bergerak dengan laju konstan, fluida yang langsung bersentuhan dengan setiap lempeng ditahan pada permukaan oleh gaya adhesi antara molekul zat cair dan lempeng. Dengan demikian, permukaan atas fluida bergerak dengan laju v yang sama seperti

lempeng yang atas, sementara fluida yang bersentuhan dengan lempeng yang diam tetap diam. Lapisan fluida yang diam menahan aliran lapisan yang persis di atasnya, yang juga menahan lapisan berikutnya dan seterusnya. Berarti kecepatan bervariasi secara kontinu dari 0 sampai v , perubahan kecepatan dibagi dengan jarak terjadinya perubahan ini – sama dengan v/l – disebut gradient kecepatan. Untuk menggerakkan lempeng yang atas dibutuhkan gaya, yang bisa dibuktikan dengan menggerakkan lempeng rata di atas tumpahan sirup di atas meja. Untuk fluida tertentu, ternyata gaya yang dibutuhkan, F , sebanding dengan luas fluida yang bersentuhan dengan lempeng, A , dan dengan laju, v , dan berbanding terbalik dengan jarak l , anatar lempeng : $F \propto vA/l$. Untuk fluida yang berbeda, makin kental fluida tersebut, makin besar gaya yang diperlukan. Konstanta pembandingan untuk persamaan ini didefinisikan sebagai koefisien viskositas, η :

$$\eta = \frac{F/A}{v/l} = \frac{F \cdot l}{A \cdot v} \quad (2.1)$$

Dimana : F adalah besarnya gaya yang bekerja pada zat alir (N)

A adalah luasan zat alir terhadap gaya yang bekerja (m^2)

v adalah kecepatan aliran zat (m/s)

l adalah jarak yang ditempuh zat alir (m)

Dengan menyelesaikan untuk η , didapatkan $\eta = Fl/vA$. Satuan SI

untuk η adalah $Ns / m^2 = \text{pascal.sekon}$ pada system cgs satuan

tersebut $\text{dyne.s} / \text{cm}^2$ dan satuan ini disebut poise (P). (Giancoli, 2001).

Secara umum koefisien viskositas di ukur dengan 2 metode, yaitu (Dogra, 1990) :

1. Viskometer *Ostwald* (metode *Ostwald*)

Waktu yang dibutuhkan cairan untuk mengalir dalam jumlah tertentu dan jarak tertentu dicatat, dan dihitung nilai viskositasnya (η) dengan hubungan :

$$\eta = \frac{\pi(\Delta p)R^4 t}{8Vl} \quad (2.2)$$

Dimana : η adalah nilai viskositas yang di ukur (poise)

Δp adalah penurunan tekanan (N/m²)

R adalah jari-jari tabung viskometer (m)

t adalah waktu yang dibutuhkan cairan untuk mengalir (s)

V adalah volume cairan yang di ukur (m³)

l adalah jarak yang ditempuh cairan (m)

2. Metode bola jatuh

Metode bola jatuh menyangkut gaya gravitasi yang seimbang dengan gerakan aliran pekat (kekentalan) dan hubungannya :

$$\eta = \frac{2r_b^2 (d_b - d)g}{9v} \quad (2.3)$$

Dimana : η adalah nilai viskositas yang di ukur (poise)

r_b dan d_b adalah jari-jari dan diameter bola (m)

d adalah diameter viskometer (m)

g adalah konstanta gravitasi (m/s²)

v adalah kecepatan alir cairan (m/s)

Nilai viskositas dalam viskositas *Ostwald* juga dapat dihitung dengan menggunakan rumus perbandingan, yaitu waktu yang diperlukan oleh larutan (cairan) untuk melewati pipa kapiler dicatat dan dibandingkan dengan sampel standar. Metode ini cocok untuk penentuan nilai viskositas (η), karena perbandingan viskositas larutan (cairan) yang akan dicari nilai viskositasnya dan larutan (cairan) yang sudah diketahui nilai viskositasnya, sebanding dengan waktu aliran setelah dikoreksi untuk perbedaan kerapatan jenis (massa jenis). Biasanya sampel standar yang digunakan adalah air. Hubungannya (Atkins, 1996) :

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{t * \rho}{t_0 * \rho_0} \quad (2.4)$$

Dimana : η adalah nilai viskositas yang di ukur (poise)

η_0 adalah nilai viskositas air (poise)

t dan t_0 adalah waktu alir biodiesel dan air (s)

ρ dan ρ_0 adalah massa jenis biodiesel dan air (kg/m^3)

Viskositas yang relatif rendah Harus dimiliki pada bahan bakar pada umumnya agar dapat mudah teratomisasi dan mengalir. Hal ini dikarenakan putaran mesin yang cepat membutuhkan injeksi bahan bakar yang cepat pula. Namun tetap ada batas minimal karena diperlukan sifat pelumasan yang cukup baik untuk mencegah terjadinya keausan akibat gerakan piston yang cepat. Pertimbangan lain kenapa bahan bakar harus memiliki nilai viskositas yang relatif rendah adalah proses panas (*thermal*) di dalam mesin diesel akan menyebabkan minyak nabati sebagai bahan bakar nabati (BBN) akan terurai menjadi gliserin dan asam lemak. Asam lemak dapat teroksidasi atau terbakar relatif sempurna, tetapi pada gliserin akan terbentuk akrolein dan terpolimerisasi menjadi senyawa plastik yang agak padat. Senyawa ini akan membentuk deposit pada pompa injektor yang akan berdampak pada kerusakan mesin diesel. Untuk mencegah pembentukan deposit tersebut, maka gliserin harus dibuang dari bahan bakar nabati (BBN). Pembuangan gliserin akan berdampak terhadap penurunan berat molekul bahan bakar nabati BBN sebesar 30% dan penurunan viskositas sebesar 5-10%. Dengan demikian, bahan bakar nabati BBN akan menghasilkan kinerja yang mirip dengan petrosolar (Prihandana, 2006).

2.7 Titik Kabut

Dalam kamus umum bahasa Indonesia, embun diartikan titik-titik air yang jatuh dari udara (pada malam hari). Secara umum embun adalah nama yang diberikan untuk bintik-bintik air yang sering dijumpai menempel pada daun-daunan, dinding kaca dan rumput. Embun adalah uap air yang mengalami proses pengembunan, proses berubahnya gas menjadi cairan. Embun biasanya muncul dipagi hari, dan dapat dijumpai pada mesin pendingin (freezer) pada kulkas (Anonimous(f), 2008).

Embun terbentuk ketika udara yang berada di dekat permukaan benda menjadi dingin mendekati titik dimana udara tidak dapat lagi menahan uap air. Kelebihan uap air itu kemudian berubah menjadi embun diatas benda-benda tersebut. Sepanjang hari benda-benda menyerap panas. Sedangkan di malam hari benda-benda kehilangan panas melalui proses yang disebut radiasi termal. ketika suhu udara

lingkungan menjadi dingin, suhu benda-benda disekitarnya juga menjadi berkurang. Udara yang lebih dingin tidak dapat menahan uap air sebanyak udara yang lebih hangat. Jika suhu udara bertambah semakin dingin, maka akhirnya akan mencapai titik embun. Titik embun adalah suhu dimana udara masih sanggup menahan uap air sebanyak mungkin, bila suhu udara semakin bertambah dingin, sebagian uap air akan mengembun di atas permukaan benda yang terdekat. Embun terbentuk dengan baik pada malam hari yang cerah dan tenang. Ketika angin bertiup, udara tidak cukup waktu untuk bersentuhan dengan benda-benda dingin, sehingga membutuhkan lebih banyak waktu untuk menjadi dingin mendekati titik embun. Embun terbentuk dengan baik ketika kelembaban tinggi. Embun yang terbentuk pada titik embun dan kemudian membeku disebut embun beku atau embun putih. Embun beku terbentuk ketika titik embun berada dibawah titik beku, sehingga mengakibatkan uap air yang lebih langsung membeku di atas benda-benda. Embun beku adalah sebuah pola dari kristal-kristal es yang terbentuk dari uap air di atas benda. Embun beku terbentuk terutama pada malam yang dingin dan tak berawan ketika suhu udara turun di bawah 0°C yakni suhu titik beku air.

Titik beku pada minyak biodiesel pada saat pertama kali terjadi titik air pada minyak biodiesel, minyak biodiesel yang telah membeku tidak dapat digunakan sebagai bahan bakar.

Temperatur pada saat udara menjadi jenuh dengan uap, artinya temperatur ketika kelembaban relative sama dengan 100 persen, dinamakan titik embun, bila permukaan benda menjadi dingin dibawah titik embun di malam hari karena radiasi maka embun terbentuk jika titik embun diatas 0°C dan bunga es terbentuk jika titik embun dibawah 0°C (Tipler, 1998).

2.8 Massa jenis

Sebuah sifat penting dari suatu zat adalah rasio massa terhadap volumenya yang dinamakan kerapatan, yang lebih dikenal dengan massa jenis. Massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya (Anonimous(g),2008).

Massa jenis rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis lebih tinggi (misalnya besi) akan memiliki volume yang lebih

rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah (misalnya air). Massa jenis berfungsi untuk menentukan zat. Setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda.

Karakteristik massa jenis berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan volume bahan bakar. Satuan SI massa jenis adalah kilogram per meter kubik (kg/m^3).

Rumus untuk menentukan massa jenis adalah :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.5)$$

Dimana : ρ adalah massa jenis

m adalah massa (kg)

V adalah volume (m^3)

Satuan massa jenis adalah: gram per sentimeter kubik (g/cm^3) dimana $1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$ (Tipler, 1998).

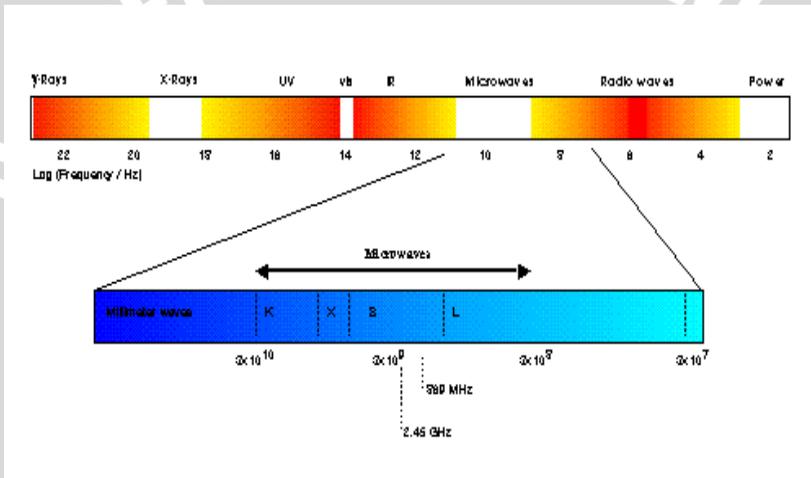
Massa jenis berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan volume bahan bakar. Massa jenis juga berkaitan dengan viskositas. Apabila biodiesel memiliki massa jenis melebihi ketentuan, maka akan terjadi reaksi yang tidak sempurna pada konversi minyak nabati, dan juga akan meningkatkan keausan mesin, emisi, dan menyebabkan kerusakan pada mesin (Prihandana, 2006).

2.9 Gelombang Elektromagnet

Ada bermacam-macam jenis gelombang, ada gelombang yang hadir di muka bumi yaitu gelombang elektromagnet. Gelombang elektromagnet mempunyai frekuensi yang sangat besar yaitu dari 10^1 sampai 10^{22} Hz. Dalam vakum, gelombang ini menjalar dengan laju sekitar 3×10^8 m/detik. Berbagai macam gelombang yang termasuk dalam kategori gelombang elektromagnet atau sering disebut gelombang E.M dapat digolongkan berdasarkan panjang gelombangnya yaitu gelombang radio, gelombang mikro, sinar infra merah, sinar tampak, sinar ultraviolet, sinar X, sinar gamma. Penggolongan ini tidaklah tajam, sebab panjang gelombang yang berlainan mungkin menghasilkan gelombang dengan daerah frekuensi yang sama, berbagai gelombang tersebut yang masing –

masing mempunyai daerah frekuensi tertentu dan gelombang elektromagnet ini menjalar tanpa harus melalui medium (sutrisno, 1984).

Gelombang mikro secara spesifik didefinisikan sebagai gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang antara 0,01 dan 1 meter dan batas frekuensinya adalah antara 300 MHz hingga 30 GHz untuk 1 panjang gelombang. Gelombang mikro berada pada daerah spektrum elektromagnetik diantara gelombang infra merah dan gelombang radio. Di bawah terdapat gambar dari spektrum gelombang elektromagnetik.



Gambar 2.4 Spektrum Elektromagnetik (Galawa. 2005)

Secara mendasar, gelombang mikro memiliki karakteristik seperti berikut:

1. Gelombang mikro dapat melewati beberapa bahan. Bahan-bahan seperti kaca, kertas, dan plastik adalah transparan bagi gelombang mikro dan pada dasarnya tidak dipengaruhi oleh gelombang mikro.
2. Gelombang mikro dipantulkan oleh permukaan logam, seperti sebuah bola yang memantul pada dinding. Dinding logam yang digunakan pada area memasak sebenarnya membentuk resonator berongga. Dengan kata lain, ruang tertutup didesain untuk

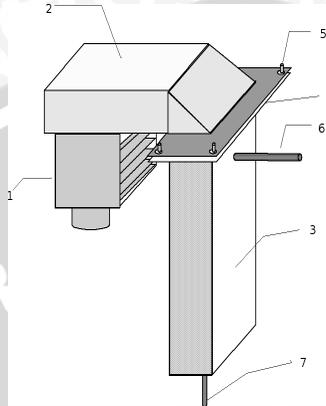
meresonansikan gelombang mikro seperti yang diradiasikan dari tabung magnetron. Rongga memasak dari sebuah oven microwave didesain dengan karakteristik resonan gelombang mikro.

3. Gelombang mikro menembus dan diserap oleh beberapa bahan, terutama bahan makanan.

Karakteristik gelombang mikro dapat digambarkan sebagai berikut. Gelombang dengan energi gelombang mikro berputar ke atas dan ke bawah menurut sumbu horizontal. Setengah siklus dibawah sumbu memiliki karakteristik negatif, dan setengah siklus diatas sumbu memiliki karakteristik positif. Pada dasarnya, efek dari gelombang ini seperti sebuah magnet berputar ke belakang dan ke depan.

Semua cairan dan produk makanan dibentuk oleh molekul-molekul. Molekul-molekul ini memiliki partikel-partikel positif dan negatif, jadi mereka cenderung seperti magnet dalam skala mikro. Seperti setengah siklus positif dari gelombang mikro menembus makanan, partikel-partikel negatif dari molekul-molekul tertarik dan menyekutkan dirinya dengan medan energi positif tersebut. Selanjutnya, saat energi gelombang mikro bergantian dengan setengah siklus negatif, pertentangan muncul, partikel-partikel negatif ditolak dan partikel positif ditarik, menyebabkan gerak bergantian, Sehingga terjadi vibrasi. Vibrasi itulah yang menyebabkan gesekan yang sangat hebat di dalam makanan, dan gesekan itulah yang menyebabkan timbulnya panas (Gallawa,2005).

Reaktor transesterifikasi didesain dengan konstruksi kompak dan portable. Pada prinsipnya tabung reaktor mempunyai penampang lintang yang secara geometris sama dengan penampang pandu gelombang. Tabung reaktor tersebut dipasang pada posisi yang merupakan perpanjangan pandu gelombang dengan demikian dalam kondisi tidak ada beban maka tabung reaktor berfungsi sebagai pandu gelombang. Gelombang yang merambat dalam tabung reaksi bebas dari difraksi dan dispersi. Jika pada tabung reaksi tersebut diisikan bahan yang akan direaksikan maka seluruh energi gelombang mikro akan diserap oleh bahan. Sehingga reaksi berlangsung sangat efisien. Skema reaktor transesterifikasi kompak dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.5 Reaktor Transesterifikasi kompak
(Nurhuda, 2007)

Gambar 2.5 diatas skema reaktor transesterifikasi kompak dengan konfigurasi dimana gelombang dibelokkan 90°. Secara umum desain terdiri atas generator gelombang mikro (1), pandu gelombang (2) dan tabung reaktor (3) yang dihubungkan dengan bantuan baut pengeras (5). Tabung reaktor mempunyai penampang lintang tepat sama dengan penampang lintang pandu gelombang, sehingga dalam keadaan kosong, tabung reaktor adalah pandu gelombang belaka. Diantara pandu gelombang dan tabung reaksi terdapat diafragma (4) yang membatasi bahan biodiesel agar tak masuk ke ruang pandu gelombang. Diafragma terbuat dari bahan yang transparant terhadap gelombang mikro. Bahan biodiesel masuk ke dalam tabung reaksi melalui pipa (6) dan keluar melalui pipa (7).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2008 sampai dengan bulan Agustus 2008.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat-alat yang dipergunakan

Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah : blender, kompor listrik, panci, gelas beker, termostat, pipet, gelas ukur, tabung elemeyer, perangkat transesterifikasi biodiesel, timbangan, spatula, viskometer oswald, arhoemeter, stopwatch, tabung reaksi (ukur), rak tabung, statis, penjepit, kapas, corong, kertas sticker, kertas tissue, kain pel, termometer, kulkas, kipas angin.

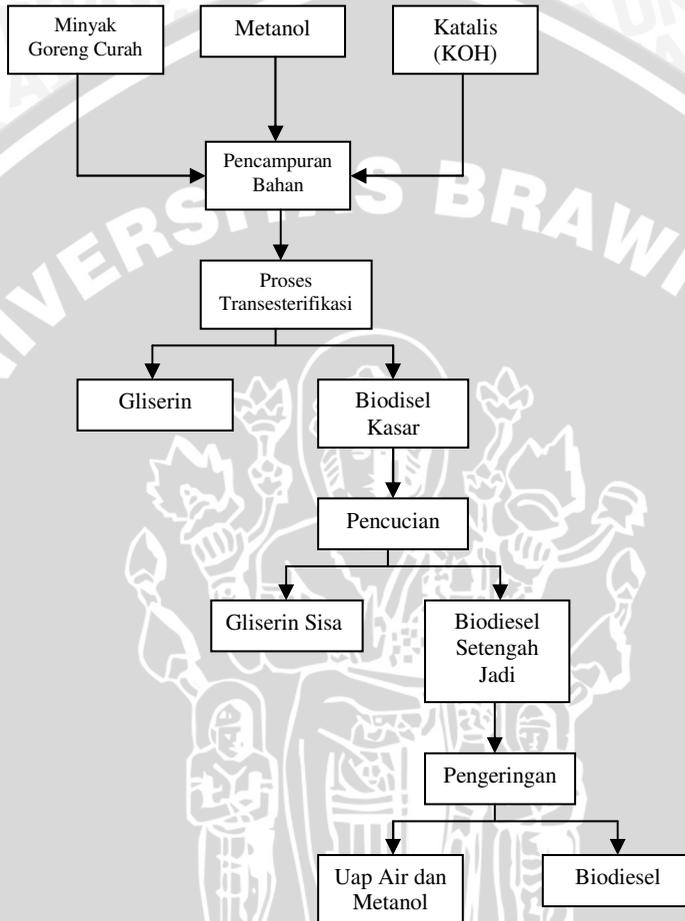
3.2.2 Bahan-bahan yang dipergunakan

Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah : minyak goreng curah, metanol, KOH, air, dan n-hexan.

3.3 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini dipakai bahan baku minyak goreng curah. Proses transesterifikasi dalam penelitian ini menggunakan metanol sebagai pereaksi dan KOH sebagai katalis untuk mempercepat reaksi. Proses transesterifikasi biodiesel dalam penelitian ini dengan cara pemanasan menggunakan pemaparan gelombang mikro bersumber dari reaktor transesterifikasi kompak karena proses pemaparan dari gelombang mikro diharapkan dapat berlangsung terus menerus dan mempercepat pemanasan. Proses penelitian ini terdapat beberapa tahap yang harus dilakukan. Antara lain: pembuatan campuran bahan, pemaparan (proses transesterifikasi), pencucian hasil transesterifikasi, pengeringan, pengukuran viskositas, densitas, titik kabut, pengendapan, pengambilan data dan analisis data. Untuk

skema produksi biodiesel melalui proses transesterifikasi adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Skema Produksi Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi

3.3.1 Pencampuran bahan biodiesel

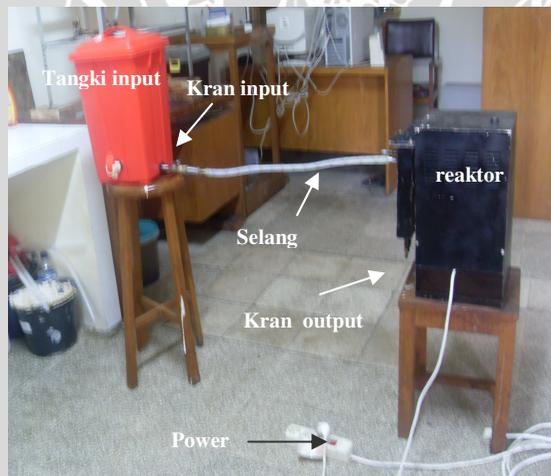
Tahap pertama pencampuran bahan biodiesel adalah persiapan bahan, diantaranya minyak goreng curah, metanol, dan KOH dengan perbandingan minyak goreng 80%, metanol 20% dan KOH 1% dari massa minyak goreng curah. Tahap selanjutnya pencampuran

minyak goreng curah, metanol dan KOH dalam gelas beker berukuran 1000ml, kemudian diblender (mixer) agar diperoleh campuran yang lebih homogen.

3.3.2 Pemaparan (Proses Transesterifikasi)

Pemaparan (proses transesterifikasi) dilakukan dengan menggunakan perangkat reaktor transesterifikasi kompak. Perangkat reaktor transesterifikasi kompak memiliki 1 sumber gelombang mikro dengan daya 1600 watt sebagai pemapar. Bahan yang telah dicampur secara homogen (minyak goreng, metanol, dan KOH) dimasukkan ke dalam tangki input/masukan untuk selanjutnya dialirkan secara kontinu ke dalam tabung penampung kemudian proses transesterifikasi dilakukan. Proses transesterifikasi berlangsung sampai bahan bersuhu 60°C dan hasil yang keluar dari lubang output ditampung dalam gelas becker dan didiamkan sampai terjadi pengendapan gliserin.

Minyak biodiesel dan gliserin dipisahkan dan diambil minyak biodiesel sebagai sample sebanyak 500ml, kemudian minyak biodiesel di lakukan pemaparan kembali. Proses transesterifikasi dilakukan sebanyak 5 kali.



Gambar 3.2 Perangkat Transesterifikasi

3.3.3 Pencucian

Proses pencucian dilakukan untuk memisahkan minyak biodiesel yang dihasilkan dengan gliserin yang masih terkandung, katalis dan sisa-sisa alkohol. Pencucian dilakukan menggunakan air tanah karena air bersifat kovalen dan dapat melarutkan ion-ion dalam larutan. Perbandingan air dan minyak biodiesel yang digunakan adalah 1:3. Pencucian menggunakan gelas beker. Minyak biodiesel dan air dimasukkan dalam gelas beker kemudian diaduk dengan spatula secara perlahan beberapa saat sampai campuran homogen. Setelah didiamkan beberapa jam (maksimal selama 24 jam), akan terbentuk endapan berwarna putih. Minyak biodiesel yang berada di atas endapan dipisahkan dan diletakkan kedalam tabung reaksi.

3.3.4 Pengeringan

Proses pengeringan bertujuan untuk memisahkan air dan metanol dalam kandungan minyak biodiesel yang telah dihasilkan. Pengeringan ini menggunakan bantuan kompor listrik, panci, termometer dan termostat. Minyak biodiesel dimasukkan kedalam panci dan diletakkan di atas kompor listrik yang telah dihidupkan. Proses pengeringan atau penguapan ini dilakukan pada suhu 40°C , dimana untuk menjaga suhu minyak biodiesel tetap pada suhu 40°C digunakan termostat. Proses ini dilakukan selama minimal 30 menit atau sampai tidak ada gelembung dalam kandungan minyak biodiesel. Minyak biodiesel yang telah dikeringkan diukur nilai viskositasnya dan densitasnya pada saat suhu dari biodiesel masih bersuhu 40°C . Setelah itu, minyak biodiesel tersebut didiamkan beberapa saat sampai suhunya turun mencapai 25°C untuk diukur nilai viskositas dan densitasnya juga.

3.3.5 Pengukuran Viskositas dan Densitas

Untuk pengukuran viskositas atau kekentalan, 7 ml minyak biodiesel dimasukkan viskosimeter oswald dengan menggunakan pipet. Diukur waktu (t) yang diperlukan untuk menempuh jarak tertentu. Kemudian diketahui viskositas berdasarkan persamaan (2.4). Untuk pengukuran densitas (massa jenis), minyak biodiesel dimasukkan kedalam tabung ukur bervolume 100 ml. Minyak biodiesel yang dimasukkan tersebut sebanyak 80 ml. Setelah itu, arhoemeter dimasukkan tabung ukur, kemudian Dicatat skala

arhoemeter. Gambar viskometer oswald dan arhoemeter adalah sebagai berikut :



Gambar 3.3 (a) Viskometer oswald (b) Arhoemeter

3.3.6 Pengukuran Endapan

Pengukuran pengendapan dilakukan untuk mengetahui kesempurnaan reaksi transesterifikasi. Pengukuran endapan ini dilakukan dengan mencampurkan minyak biodiesel dengan metanol dengan perbandingan 25 ml minyak biodiesel dan 225 ml metanol, kemudian diaduk hingga homogen, dan didiamkan. Semakin sedikit endapan yang terjadi berarti reaksi semakin sempurna dengan persentase endapan tidak lebih dari 4%.

3.3.7 Titik Kabut

Titik kabut merupakan suhu dimana pertama kali terbentuk kristal, ketika minyak biodiesel ini didinginkan. Biodiesel akan membeku atau mengkristal pada temperatur yang rendah dan tidak dapat digunakan lagi sebagaimana fungsinya. Minyak biodiesel dimasukkan dalam tabung reaksi kemudian dimasukkan dalam freezer dan diamati pada suhu berapa timbul kristal atau tetes air pada minyak biodiesel tersebut.

3.3.8 Analisis Data

Data yang diperoleh adalah waktu t yang diperlukan cairan untuk menempuh jarak tertentu dalam viskometer dan massa jenis (densitas) air pada minyak biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi dengan memanfaatkan gelombang mikro pada berbagai macam perlakuan. Untuk nilai viskositas (η) air di ambil dari tabel harga viskositas air pada berbagai suhu seperti yang diperlihatkan pada Lampiran 7 dan Lampiran 8. Dari data pengukuran diperoleh data waktu t alir dan massa jenis, maka nilai viskositas dicari dengan menggunakan rumus perbandingan viskositas biodiesel dan air. :

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{t * \rho}{t_0 * \rho_0} \quad (3.1)$$

Dimana :

η adalah nilai viskositas biodiesel yang di ukur (poise)

η_0 adalah nilai viskositas air dari tabel harga viskositas air pada berbagai suhu (poise)

t dan t_0 adalah waktu alir biodiesel dan air (s)

ρ dan ρ_0 adalah massa jenis biodiesel dan air (kg/m^3)

Data yang diperoleh dibuat grafik hubungan antara pengulangan pemaparan dengan nilai viskositas dalam satuan poise. Dimana sumbu x adalah pengulangan pemaparan dan sumbu y adalah nilai viskositas. Dari grafik dapat diamati hubungan antara pengulangan pemaparan dengan nilai viskositas.

Selain data diatas juga diperoleh data dari proses pengendapan yang diukur dengan volume. Untuk nilai Pengendapan (P) seperti yang diperlihatkan pada Lampiran 1. Hasil data tersebut dijumlah dan dipersentasekan dengan menggunakan rumus:

$$p = \frac{v_3}{v_1 + v_2} * 100\% \quad (3.2)$$

Dimana:

P adalah nilai persentase pengendapan

V_1 adalah Jumlah Volume Biodiesel (ml)

V_2 adalah Jumlah Volume Metanol (ml)

V_3 adalah Jumlah Volume Endapan (ml)

Data yang diperoleh dibuat grafik hubungan antara pengulangan pemaparan dengan nilai Pengendapan dalam persentase. Dimana sumbu x adalah pengulangan pemaparan dan sumbu y adalah nilai pengendapan. Dari grafik dapat diamati hubungan antara pengulangan pemaparan dengan nilai pengendapan.

Data titik kabut dilakukan dengan memasukkan sample biodiesel kedalam tabung reaksi kemudian di letakkan ke dalam freezer dan diamati pada suhu berapa terbentuknya titik kabut pada tabung reaksi. Nilai titik kabut diperlihatkan pada lampiran 6. Data yang diperoleh dibuat grafik hubungan antara pengulangan pemaparan dengan nilai titik kabut dalam derajat celsius ($^{\circ}\text{C}$). Dimana sumbu x adalah pengulangan pemaparan dan sumbu y adalah nilai titik kabut. Dari grafik dapat diamati hubungan antara pengulangan pemaparan dengan nilai titik kabut..

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Proses Transesterifikasi

Dalam pengertian populer yang dimaksud dengan biodiesel adalah bahan bakar mesin diesel yang terdiri dari ester-ester metil (etil) asam-asam lemak. Secara umum biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran monoalkil ester dari rantai panjang lemak yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel dan terbuat dari sumber terbarukan seperti minyak goreng curah. Biodiesel diperoleh dari trigliserida minyak nabati melalui proses transesterifikasi yaitu sebuah proses dari transesterifikasi lipid yang digunakan untuk mengubah minyak goreng curah menjadi metil ester yang diinginkan dan membuang asam lemak bebas, dengan kata lain proses ini dilakukan dengan mereaksikan minyak nabati dan alkohol (metanol) serta diberi katalis (KOH), kemudian akan menghasilkan metil ester yang sifat fisiknya mirip dengan minyak solar. Reaksi yang terjadi dalam proses tersebut adalah sebagai berikut



Proses pembuatan biodiesel dilakukan dengan mencampurkan minyak goreng, metanol dan KOH dengan komposisi minyak goreng 800 ml, metanol 200 ml dan KOH 1% dari massa minyak goreng curah., kemudian diblender hingga bahan homogen. Bahan dipapar gelombang mikro menggunakan reaktor transesterifikasi kompak

Bahan baku minyak biodiesel dan reaktor transesterifikasi kompak dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



a.



b.

Gambar 4.1 (a) Minyak Goreng Curah (b) Metanol dan KOH

Hasil proses transesterifikasi dilakukan pada suhu ruang sampai suhu 60°C . Bahan biodiesel dimasukkan beaker gelas dan didiamkan beberapa saat sehingga terjadi dua lapisan yaitu minyak biodiesel yang berada pada bagian atas dan gliserin pada lapisan bawah. Gambar minyak biodiesel dan gliserin yang telah didiamkan setelah proses transesterifikasi dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.2 Endapan gliserin pada biodiesel

Gliserin dipisahkan dari minyak biodiesel kemudian dilakukan kembali proses transesterifikasi yang kedua, kemudian dilakukan

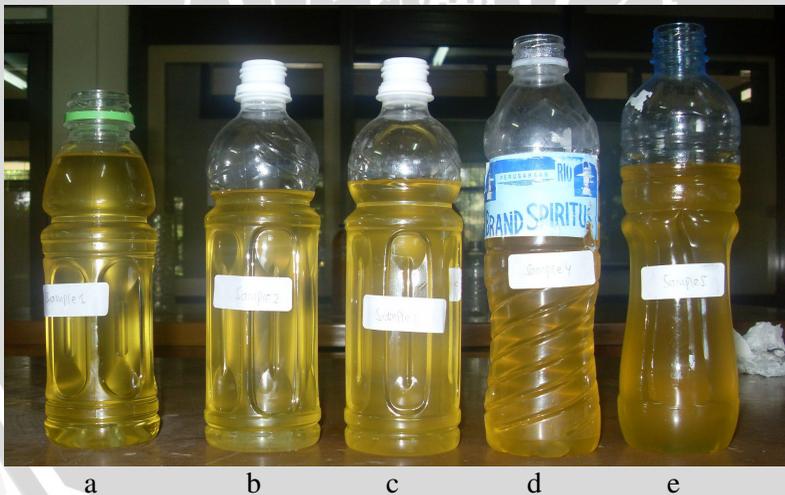
kembali seperti tahap kedua sampai 5 kali pemaparan. Minyak Biodiesel dan gliserin yang telah dipisahkan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



a. b.

Gambar 4.3 (a) Gliserin (b) Biodiesel

Hasil proses transesterifikasi yang dihasilkan dari pemaparan gelombang mikro pada minyak goreng curah dalam 5 kali pengulangan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

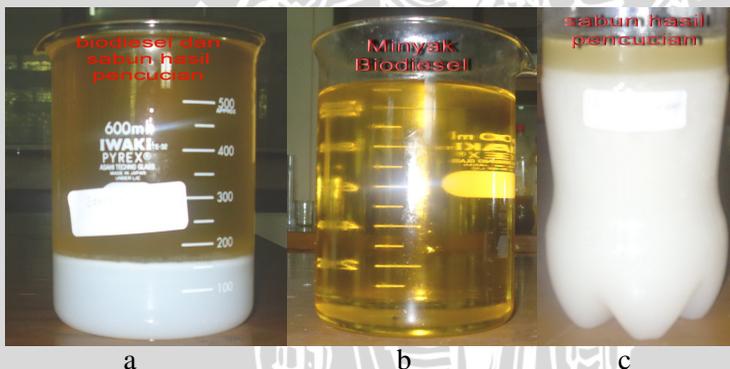


Gambar 4.4 (a) Biodiesel I (b) Biodiesel II (c) Biodiesel III (d) Biodiesel IV (e) Biodiesel V

Dari gambar 4.5 terlihat bahwa pengaruh dari pengulangan pemaparan terhadap bahan baku menghasilkan minyak biodiesel yang berwarna kemerahan yang dapat dilihat pada gambar 4.5.b, 4.5.c, 4.5.d, dan 4.5.e dapat disimpulkan bahwa dari pemaparan berulang yang dilakukan pada biodiesel menyebabkan terdegradasinya rantai karbon dimana terjadinya pemutusan rantai metil ester menjadi asam lemak dan juga terjadinya reaksi reversible yang bergerak ke kiri.

4.1.1 Hasil Pencucian

Tahap berikutnya setelah proses transesterifikasi adalah proses pencucian yang bertujuan untuk memisahkan sisa alkohol, katalis dan gliserin. Pada proses pencucian menggunakan air dan akan terbentuk sabun yang berwarna putih yang berada pada lapisan bagian bawah, kemudian sabun yang terbentuk di pisahkan dari biodiesel. Sabun dan biodiesel yang terbentuk dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.5 (a) Minyak Biodiesel dan Sabun, (b) Minyak biodiesel, (c) Sabun

Dari gambar 4.6 dapat terlihat bahwa pengaruh dari pencucian yang dilakukan terhadap minyak biodiesel yang dicampur air menyebabkan terjadinya sabun yang berwarna putih. Proses terjadinya sabun disebabkan terjadinya ikatan reaksi kimia dimana air mengikat sisa asam lemak yang tidak terurai pada proses transesterifikasi dan air mengikat sisa gliserin yang masih tersisa pada biodiesel. Pada gambar 4.6.a terlihat bahwa sabun yang

terbentuk berada pada lapisan bawah disebabkan massa jenis dari sabun lebih besar dari biodiesel dan adanya gaya gravitasi.

4.1.2 Hasil Pengeringan

Proses pengeringan dalam penelitian ini bertujuan untuk memisahkan air dan metanol yang terkandung dalam minyak biodiesel. Proses pengeringan dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.6 Proses pengeringan

Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa pada saat minyak biodiesel dipanaskan terbentuk gelembung air sisa dari pencucian. Suhu pada proses ini dipertahankan 40°C . supaya struktur dari biodiesel tidak rusak dan dibiarkan selama 30 menit atau sampai gelembung airnya hilang. Leung dkk (2006) menemukan bahwa temperatur tinggi (40°C) yang disertai dengan keberadaan udara terbuka menyebabkan degradasi yang sangat signifikan. Konsentrasi asam meningkat pada biodiesel yang telah terdegradasi; hal ini disebabkan oleh putusannya rantai asam lemak metil ester menjadi asam-asam lemak, jika kadar air dalam biodiesel masih ada akan menyebabkan mesin diesel cepat rusak. Hasil minyak biodiesel yang telah dikeringkan dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.7 Biodiesel hasil Pengeringan

Gambar 4.8 adalah minyak biodiesel yang telah dikeringkan yang siap diteliti dan diuji coba kualitasnya dibandingkan dengan standart Nasional Indonesia biodiesel dan minyak solar Pertamina.

4.2 Hasil Karakterisasi

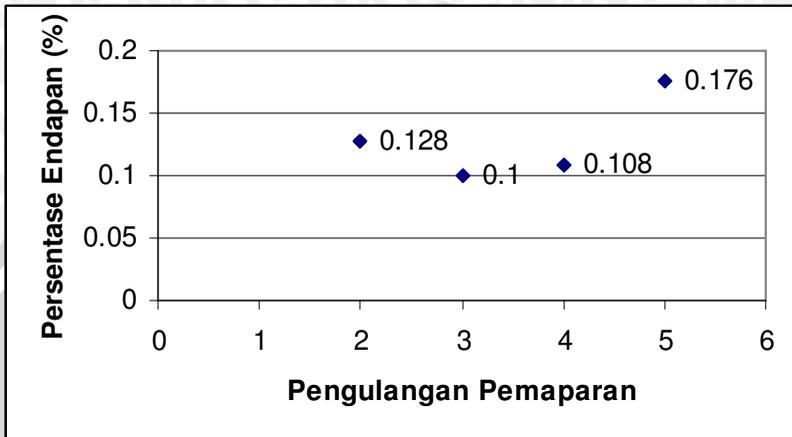
Setiap biodiesel yang telah dibuat harus diuji terlebih dahulu sebelum digunakan. Adapun karakteristik sifat fisis biodiesel yang akan diuji adalah endapan, massa jenis, viskositas, dan titik kabut.

4.2.1 Hasil Uji Endapan

Dalam proses pembuatan biodiesel, untuk mengetahui sempurnanya reaksi transesterifikasi biodiesel dilakukan pengujian endapan atau sedimen yaitu dengan mereaksikan biodiesel dengan metanol.

Tabel 4.1 Nilai Endapan Setelah Proses Transesterifikasi

Pemaparan	Sample 1 (ml)	Sample 2 (ml)	Sample 3 (ml)	Rata-rata (ml)	Prosen tase
1	Tdk terukur	Tdk terukur	Tdk terukur	Tdk terukur	Tdk terukur
2	0,28	0,32	0,36	0,32	0,128 %
3	0,25	0,28	0,21	0,25	0,1 %
4	0,28	0,22	0,31	0,27	0,108 %
5	0,45	0,40	0,47	0,44	0,176 %



Gambar 4.8 Grafik Nilai Endapan Biodiesel

Hasil penelitian pada tabel 4.1 dan gambar grafik 4.9 menunjukkan nilai endapan yang paling kecil didapatkan pada satu kali pemaparan dimana endapan yang terbentuk sangat sedikit atau tidak terukur. Dan nilai endapan yang paling banyak diperoleh dari Pemaparan 5x dengan jumlah rata-rata endapan 0,4 ml atau 0,2 %. Nilai endapan biodiesel dalam batas toleransi kualitas biodiesel internasional sebesar 4%.

Sedikitnya endapan menandakan reaksi transesterifikasi berlangsung cukup sempurna. Bertambahnya nilai endapan pada pengulangan pemaparan terjadi pada pemaparan yang ke 2x sampai ke 5x yang disebabkan oleh proses pemisahan trigliserida menjadi biodiesel dan gliserin kurang sempurna. Dimana Proses transesterifikasi merupakan suatu reaksi reversible, sehingga pada saat pemaparan yang kedua metil ester yang terbentuk dipaparkan kembali maka dari reaksi kimia akan berubah kembali menjadi asam lemak dan pemaparan yang berulang menyebabkan struktur kimia dari bahan akan terurai dikarenakan panas yang berlebihan, sehingga ketika minyak biodiesel dicampur dengan metanol dan diaduk maka akan bereaksi dengan asam lemak yang kurang berhasil dalam proses transesterifikasi sehingga terjadi endapan.

4.2.2 Pengukuran Densitas (Massa Jenis)

Massa jenis merupakan massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Karakteristik massa jenis ini berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel persatuan volume bahan bakar. Massa jenis juga berkaitan dengan viskositas, apabila biodiesel memiliki massa jenis melebihi ketentuan maka akan terjadi reaksi yang tidak sempurna pada konversi minyak nabati dan juga akan meningkatkan keausan mesin, emisi dan menyebabkan kerusakan pada mesin (Prihandana, 2006).

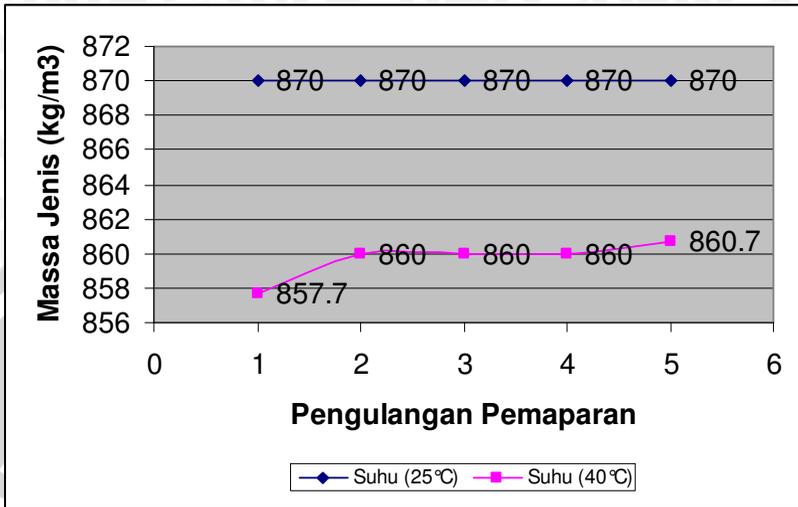
Nilai densitas (massa jenis) minyak goreng curah yang digunakan sebelum proses transesterifikasi adalah 990 kg/m^3 , sedangkan nilai densitas biodiesel hasil Transesterifikasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2 Nilai Densitas Biodiesel 25°C

Pema paran	Suhu 25°C			Rata- rata kg/m ³
	Sample1 kg/m ³	Sample2 kg/m ³	Sample3 kg/m ³	
1	870	870	870	870
2	870	870	870	870
3	870	870	870	870
4	870	870	870	870
5	870	870	870	870

Tabel 4.3 Nilai Densitas Biodiesel 40°C

Pema paran	Suhu 40°C			Rata- rata kg/m ³
	Sample1 kg/m ³	Sample2 kg/m ³	Sample3 kg/m ³	
1	855	858	860	857,7
2	860	860	860	860
3	860	860	860	860
4	860	860	860	860
5	862	860	860	860.7



Gambar 4.9 Grafik Nilai Densitas Biodiesel

Hasil penelitian pada tabel 4.2 dan 4.3 serta gambar 4.11 menunjukkan nilai densitas terkecil diperoleh pada proses Pemaparan satu kali (1x) sebesar 855 kg/m^3 pada suhu (40°C), sedangkan nilai densitas terbesar diperoleh pada proses Pemaparan 5x sebesar 870 kg/m^3 pada suhu (25°C). Nilai densitas minyak biodiesel di atas dipengaruhi oleh suhu. Semakin besar suhu maka semakin kecil nilai densitas, artinya nilai densitas berbanding terbalik dengan suhu. Pada saat minyak biodiesel dipanaskan rantai karbon lebih pendek menyebabkan minyak biodiesel lebih encer sehingga densitas lebih kecil.

Pada saat dipanaskan 40°C nilai densitas biodiesel berbeda. Nilai densitas biodiesel terkecil pada pemaparan 1x dan terbesar pada pemaparan 5x, ini disebabkan oleh proses transesterifikasi yang reversible sehingga pada pemaparan yang ke 2x sampai ke 5x metil ester yang terbentuk dipaparkan kembali maka dari reaksi kimia akan berubah kembali menjadi trigliserida.

Nilai densitas minyak goreng curah sebesar 990 kg/m^3 setelah dipapar gelombang mikro menjadi 855 kg/m^3 pada suhu (40°C) dan 870 kg/m^3 pada suhu (25°C) artinya proses transesterifikasi cukup sempurna, Sehingga Nilai dari densitas berkurang. Nilai densitas dari biodiesel di atas masih dalam batas SNI biodiesel..

4.2.3 Viskositas

Besar kecilnya nilai viskositas suatu fluida dipengaruhi oleh temperatur, jika temperatur turun maka untuk viskositas gas berkurang dan viskositas cairan bertambah akan tetapi jika temperatur naik maka untuk viskositas gas bertambah dan viskositas cairan berkurang. Jika temperatur tinggi cairan semakin encer (nilai kekentalannya kecil), jika temperatur rendah cairan semakin kental (nilai kekentalannya besar) (search dan zemansky, 1992).

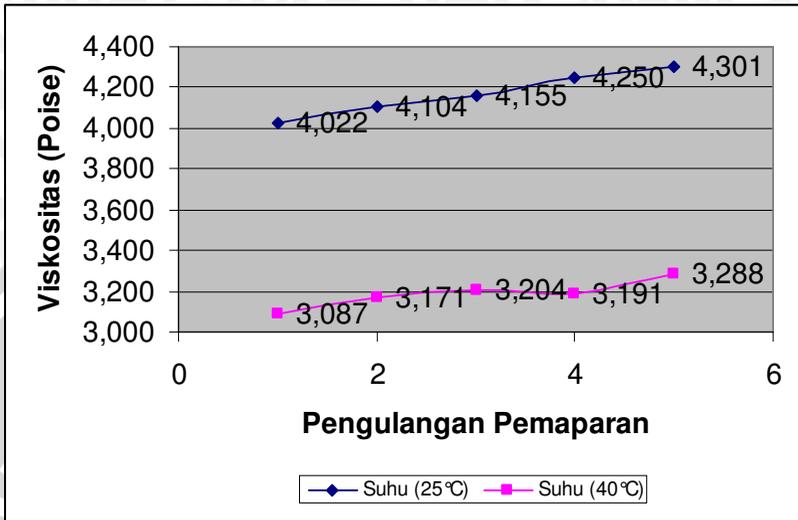
Viskositas ada pada zat cair maupun gas yang merupakan gesekan antara lapisan-lapisan yang bersisian pada fluida, lapisan-lapisan tersebut bergerak satu melewati yang lainnya. Pada zat cair, viskositas terutama disebabkan oleh gaya kohesi antar molekul. Pada gas, viskositas muncul dari tumbukan molekul (Giancoli, 2001).

Tabel 4.4 Nilai Viskositas Biodiesel 25°C

Pema paran	Suhu (25°C)			Rata- rata
	η_1	η_2	η_3	
1	4,009	4,004	4,053	4,022
2	4,053	4,098	4,162	4,104
3	4,116	4,172	4,177	4,155
4	4,317	4,192	4,242	4,250
5	4,279	4,327	4,298	4,301

Tabel 4.5 Nilai Viskositas Biodiesel 40°C

Pema paran	Suhu 40°C			Rata- rata
	η_1	η_2	η_3	
1	3,081	3,098	3,082	3,087
2	3,185	3,176	3,151	3,171
3	3,193	3,165	3,254	3,204
4	3,216	3,180	3,178	3,191
5	3,317	3,291	3,257	3,288

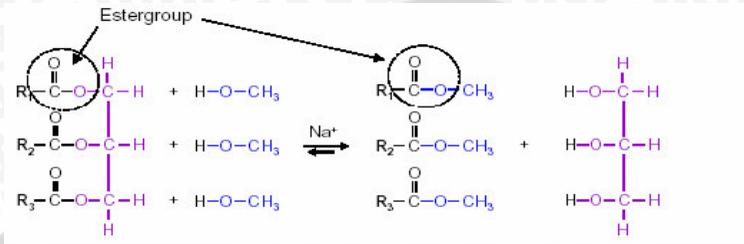


Gambar 4.10 Grafik Nilai Viskositas Minyak Biodiesel

Data hasil pengujian dan penelitian proses transesterifikasi dengan mesin transesterifikasi kompak pada tabel 4.4 dan 4.5 serta gambar 4.12, menunjukkan nilai viskositas terkecil pada pemaparan satu kali pada suhu pengukuran (40°C) yaitu sebesar 3,081 poise, sedangkan nilai viskositas terbesar didapatkan pada pemaparan yang sebanyak lima kali sebesar 4,327 poise pada suhu (25°C). Data diatas menunjukkan nilai viskositas semakin kecil didapatkan pada saat pemaparan satu kali dengan suhu yang besar dan nilai viskositas besar pada pengulangan pemaparan pada suhu yang rendah.

Nilai viskositas yang semakin besar pada setiap pengulangan pemaparan disebabkan karena proses transesterifikasi yang terjadi merupakan reaksi kimia yang *reversible*, dimana pada saat pemaparan satu kali trigliserida yang ada pada minyak nabati berubah menjadi metil ester, Pada pengulangan pemaparan yang ke dua kali sampai ke lima kali terjadi reaksi sebaliknya. Reaksi kimia pada proses transesterifikasi yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.15.

Reaksi kimia



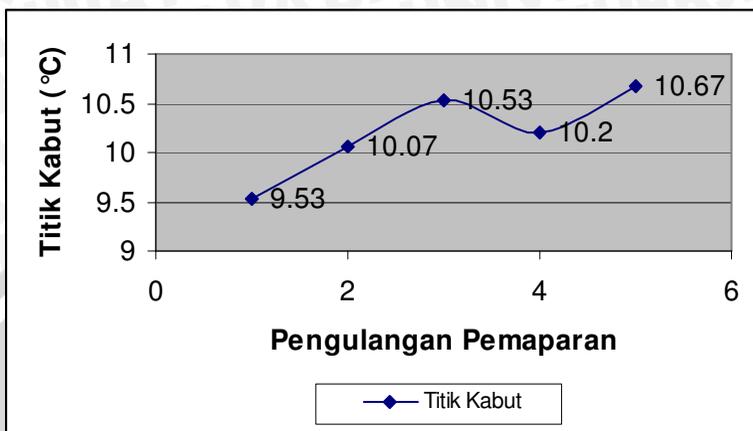
Gambar 4.11 Persamaan reaksi kimia dari proses Transesterifikasi Biodiesel (Erliza. 2007)

4.2.4 Titik Kabut

Dalam kamus umum bahasa Indonesia, embun diartikan titik-titik air yang jatuh dari udara (pada malam hari). Secara umum embun adalah nama yang diberikan untuk bintik-bintik air yang sering dijumpai menempel pada daun-daunan, dinding kaca dan rumput. Dalam reaksi transesterifikasi pada proses pembuatan biodiesel untuk mengetahui sempurnanya reaksi tersebut dilakukan pengujian titik kabut pada minyak biodiesel. Titik kabut merupakan suhu dimana pertama kali terbentuknya embun pada minyak biodiesel yang dapat dilihat terjadinya pembekuan minyak biodiesel, ketika suhunya diturunkan pada temperatur rendah minyak biodiesel akan mengalami pembekuan atau mengkristal sehingga minyak biodiesel tersebut tidak dapat digunakan sebagaimana fungsinya. Untuk dapat melihat berapa suhu pada saat titik kabutnya terbentuk minyak biodiesel yang telah berada di tabung reaksi bersama termometer dimasukkan ke dalam freezer.

Tabel 4.6 Nilai Titik Kabut Minyak Biodiesel

Pemaparan	Sample1 (°C)	Sample 2 (°C)	Sample 3 (°C)	Rata-rata (°C)
1	9,6	9,6	9,4	9.53
2	10	10	10,2	10.07
3	10,2	10,8	10,6	10.53
4	10,2	10,2	10,2	10.20
5	10,4	11	10,6	10.67



Gambar 4.12 Grafik Nilai Rata-rata Titik Kabut Minyak Biodiesel

Hasil penelitian pada tabel 4.6 dan gambar 4.16 menunjukkan nilai titik kabut yang paling kecil didapati pada Pemaparan satu kali sebesar $9,4^{\circ}\text{C}$, sedangkan nilai titik kabut yang terbesar didapatkan pada Pemaparan ke lima kali sebesar 11°C . Data diatas menunjukkan nilai titik kabut semakin kecil didapatkan pada pemaparan satu kali dan nilai titik kabut besar pada pengulangan Pemaparan.

Nilai titik kabut yang bertambah besar pada setiap pengulangan pemaparan disebabkan karena proses transesterifikasi yang terjadi merupakan reaksi kimia yang *reversible*, dimana pada pemaparan satu kali trigliserida yang ada pada minyak nabati berubah menjadi metil ester, Pada pengulangan pemaparan yang ke dua kali sampai ke lima kali terjadi reaksi sebaliknya, sehingga pada pengamatan titik kabut, pengulangan pemaparan menyebabkan suhu membekunya minyak biodiesel lebih cepat hal ini disebabkan masih adanya trigliserida yang ada pada minyak biodiesel. Nilai titik kabut hasil biodiesel berbanding lurus dengan proses pengulangan transesterifikasi, semakin diulang proses ini maka nilai titik kabutnya semakin besar.

4.3 Kualitas Biodiesel

Kualitas minyak biodiesel yang dihasilkan dibandingkan dengan minyak solar pertamina dan minyak biodiesel Standart

Nasional Indonesia (SNI) biodiesel. Data karakteristik minyak biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi dengan pemaparan gelombang mikro menggunakan transesterifikasi kompak dengan data minyak solar pertamina dan Standart Nasional Indonesia biodiesel dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.7 Nilai Minyak Biodiesel dan Solar

No	Parameter	Satuan	Biodiesel Gel.Mikro	SNI Biodiesel	Solar Pertamina
1	Massa Jenis	kg/m ³	858 – 861	850– 890	815 - 870
2	Viskositas	Poise	3,1 – 3,3	2,3 – 6,0	2,0 – 5,0
3	Titik Kabut	°C	9,4 – 11	Maks. 18	Maks 18
4	Sedimen	% - vol	≤ 0,176	-	-

Berdasarkan tabel 4.7. Nilai minyak biodiesel dan solar dilihat dari massa jenis biodiesel gelombang mikro menghasilkan angka 858 – 861 kg/m³, sedangkan menurut SNI biodiesel antara 850 – 890 kg/m³ dan standar solar pertamina antara 815 – 870 kg/m³. Hal ini berarti massa jenis minyak biodiesel yang dihasilkan dari proses pemaparan gelombang mikro masih termasuk kedalam standar solar Pertamina dan Standart Nasional Indonesia biodiesel. Kemudian viskositas biodiesel gelombang mikro menunjukkan hasil 3,1 – 3,3 poise. Jika dilihat dari SNI biodiesel menunjukkan 2,3 – 6,0 poise dan standar solar pertamina menunjukkan 2,0 – 5,0. Hal ini berarti viskositas biodiesel gelombang mikro juga masih dalam standar solar Pertamina dan Standart Nasional Indonesia biodiesel. Dilihat dari nilai titik kabut biodiesel gelombang mikro sebesar 9,4 – 11°C, sedangkan menurut SNI biodiesel maksimal 18°C dan standar solar pertamina maksimal 18°C. Hal ini berarti titik kabut biodiesel gelombang mikro juga masih dalam standar solar Pertamina dan Standart Nasional Indonesia biodiesel. Untuk sedimen biodiesel gelombang mikro menunjukkan angka dari tak terukur sampai 0,176%. Menurut SNI biodiesel dan solar pertamina standart sedimen tidak ada. Sedangkan menurut standart Internasional sediment tidak lebih dari 4%. Hal ini berarti sedimen biodiesel gelombang mikro masih termasuk dalam standar internasional

Hasil pemaparan data diatas menunjukkan nilai karakteristik minyak biodiesel gelombang mikro baik, tidak kurang dan tidak

melebihi dari standar SNI dan solar pertamina. Hasil ini didukung oleh proses transesterifikasi yang cukup sempurna. Hal ini bisa dilihat, pertama pada proses pemanasan menggunakan pemaparan gelombang mikro dengan suhu antara 30-60°C, hal ini yang menyebabkan trigliserida dari minyak nabati berubah menjadi metil ester (biodiesel), kedua pada proses pencucian, dalam proses pencampuran antara air dan biodiesel diaduk dengan pelan-pelan sehingga air dapat mengikat sisa gliserin dengan baik, ketiga pada proses pengeringan, dalam proses pemanasan suhu biodiesel diatur tidak lebih dari 40°C sehingga minyak biodiesel tidak rusak.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V PENUTUP

V. 1. Kesimpulan

Besarnya nilai massa jenis hasil minyak biodiesel dalam penelitian ini sebesar 858 – 861 855 kg/m³. Nilai viskositas minyak biodiesel sebesar 3,1 – 3,3 poise. Nilai titik kabut hasil minyak biodiesel sebesar 9,4 – 11°C dan nilai endapan hasil minyak biodiesel dari tidak terukur sampai 0,176%. Nilai hasil minyak biodiesel diatas semuanya memenuhi syarat sebagai bahan bakar pengganti solar karena nilai-nilai hasil minyak biodiesel berdasarkan penelitian sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) biodiesel.

Adanya proses pengulangan pemaparan gelombang menyebabkan perubahan nilai karakteristik minyak biodiesel. Nilai (endapan, densitas, viskositas dan titik kabut) yang dihasilkan semakin besar, dan warna minyak biodiesel semakin merah. Perubahan ini dipengaruhi dari adanya pengulangan pemaparan minyak biodiesel yang menyebabkan metil ester yang terbentuk berubah menjadi trigliserida karena adanya proses reversible.

V. 2. Saran

- Penelitian minyak biodiesel ini dapat dilanjutkan dalam beberapa variasi bahan yang lain misalnya minyak jarak, minyak jelantah.
- Dalam proses pembuatan Biodiesel, penggunaan alat terutama magnetronnya jangan terlalu lama dihidupkan.
- Pemaparan bahan dilakukan satu kali untuk hasil yang lebih baik
- Variasi alat Transesterifikasi kompak dalam pengaturan temperatur.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Daftar Pustaka

- Anonimous(a),2008.<http://digilib.petra.ac.id/adscgi/viewer.pl/jiunkpe/s1/Mesin/2002/jiunkpe-ns-s1-2002-24497017-Biodiesel-chapter4>, Diakses diakses 8 Agustus 2008.
- Anonimous(b),2008.<http://www.Chemeng.ui.ac.id/wulan/materi/por/Bahan%20CALPDF>, diakses 8 Agustus 2008.
- Anonimous(c),2008.http://www.Batan.go.id/mediakita/current/media_kita.php?group=Artikel%20Lepa&artikel=tk1&hlm=2, diakses 8 Agustus 2008.
- Anonimous(d),2008.<http://id.wikipedia.org/wiki/Kalium>, diakses 8 Agustus 2008.
- Anonimous(e),2008.<http://id.wikipedia.org/wiki/MinyakGoreng>, diakses 8 Agustus 2008.
- Anonimous(f),2008.http://id.wikipedia.org/wiki/Titik_beku, diakses 8 Agustus 2008.
- Anonimous(g),2008.http://id.wikipedia.org/wiki/Massa_Jenis, diakses 8 Agustus 2008.
- Freedman. B., Pryde. E.H., Mounts. T. L.1984. Variables Affecting The Yields of Fatty Ester from Transesterfied Vegetable Oil.
- Gallawa, J. Carlton. 2005. How A Microwave Oven Work. <http://www.gallawa.com/microtech/index.html>. Tanggal akses 20 Desember 2008
- Giancoli, Douglas, C. 2001. Fisika Edisi Kelima. Erlangga. Jakarta
- Hambali, Erliza. 2007. *Jarak Pagar, Tanaman Penghasil Biodiesel*. Penebar Swadaya. Jakarta
- Indartono, Y,Setyo.2006.<http://www.Beritaiptek.com/pilihanberita.php?id=261>, diakses 1 Agustus 2008.

- Johan, Nasiri. 2006. Biodiesel. Upaya mengurangi Ketergantungan Minyak Bumi. http://www.Sentrapolimer.com/index.php?option=com_content&id=24&Itemid=1, diakses 8 Agustus 2009
- Hambali, Erliza, dkk. 2008. *Teknologi Bioenergi*. Agromedia. Jakarta
- Leung, DYC., Koo, BCP., Guo, Y., 2006. "Degradation of biodiesel under different storage conditions", *Bioresource Technology*, 97, 250 – 256.
- Lukman dan Bambang. 2006. Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Vol 28 No.3. www.Pustaka-deptan.go.id, Diakses 8 Agustus 2008.
- Mescha. D, Dkk. 2007. Intensifikasi Proses Biodiesel. Lomba Karya Ilmiah Mahasiswa ITB, [Http://pub.bhaktiganesha.or.id/itb](http://pub.bhaktiganesha.or.id/itb), file penelitian Mahasiswa ITB Biodiesel.pdf, diakses 8 Agustus 2008.
- Mittlebach. M., Remschmidt. Claudia. 2004. *Biodiesel The Comprehensive handbook*. Vienna. Boersedruck Ges.M.Bh
- Nurhuda, M, Widodo, C, S., 2007, Perancangan dan Pembuatan Perangkat Pemisah Nabati untuk Menghasilkan Biodiesel Menggunakan Gelombang Mikro, Laporan Penelitian, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya, Malang
- Prihandana, Rama, dkk. 2006. *Menghasilkan Biodiesel Murah : Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM*. AgroMedia Pustaka. Jakarta
- P. W. Atkins. 1996. *Kimia Fisika, Jilid 2, Edisi keempat*. Erlangga. Jakarta
- Ralph, J, Fessenden dan Joan, S, Fesennden. 1997. *Dasar-dasar Kimia Organik*. Binarupa Aksara. Jakarta.
- Rondang, Tambun. 2006. *Buku Ajar teknologi Oleokimia*. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara. Medan, ecourse.usu.ac.id/idcontentteknik0teknologi0textbook, diakses 8 Agustus 2008.
- Rosmala, dian., 2003, Pengukuran Radikal Bebas pada Minyak Goreng Curah yang dipanaskan dengan menggunakan ESR,

Skripsi, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya,
Malang

Sears dan Zemansky.1992.*Fisika untuk Universitas I.Bina
Cipta.*Bandung

S. K. Dogra. 1990. *Kimia Fisik dan Soal-soal.* Universitas Indonesia.
Jakarta

Sopian, T. 2005.<http://www.beritaiptek.com/zberita-beritaiptek/2005-11-18-Gula-sebagai-Katalis-Proses-ProduksBiodiesel.shtml>, diakses tanggal 8 Agustus 2008

Susilo, Ir. Bambang., M.Sc.agr. 2006. *Biodiesel Revisi, Sumber Energi Alternatif Pengganti Solar yang Terbuat dari Ekstrak Minyak Jarak Pagar.* Trubus Agrisarana. Surabaya

Sutrisno. 1979. Fisika Dasar “Gelombang dan Optik. ITB. Bandung

Tipler, Paul A. 1998. *FISIKA Untuk Sains dan Teknik, Jilid I.* Erlangga. Jakarta



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LAMPIRAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LAMPIRAN 1

DATA HASIL PENGUKURAN SEDIMEN SETELAH PROSES TRANSESTERIFIKASI

a. PEMAPARAN 1

Minyak Biodiesel : Metanol
25 ml : 225 ml

Vol	SAMPLE 1 (ml)	SAMPLE 2 (ml)	SAMPLE 3 (ml)
1	Tidak Terukur	Tidak Terukur	Tidak Terukur
2	Tidak Terukur	Tidak Terukur	Tidak Terukur
3	Tidak Terukur	Tidak Terukur	Tidak Terukur
\bar{V}	Tidak Terukur	Tidak Terukur	Tidak Terukur
Perse ntase	Tidak Terukur	Tidak Terukur	Tidak Terukur

b. PEMAPARAN 2

Minyak Biodiesel : Metanol

25 ml : 225 ml

Vol	SAMPLE 1 (ml)	SAMPLE 2 (ml)	SAMPLE 3 (ml)
1	0,28	0,32	0,36
2	0,28	0,31	0,36
3	0,27	0,31	0,35
\bar{V}	0,277	0,313	0,357
Perse ntase (%)	0,1108	0,1252	0,1428

c. PEMAPARAN 3

Minyak Biodiesel : Metanol

25 ml : 225 ml

Vol	SAMPLE 1 (ml)	SAMPLE 2 (ml)	SAMPLE 3 (ml)
1	0,25	0,28	0,21
2	0,25	0,27	0,21
3	0,24	0,26	0,21
\bar{V}	0,246	0,27	0,21
Perse ntase (%)	0,0984	0,108	0,084

d. PEMAPARAN 4

Minyak Biodiesel : Metanol

25 ml : 225 ml

Vol	SAMPLE 1 (ml)	SAMPLE 2 (ml)	SAMPLE 3 (ml)
1	0,28	0,22	0,30
2	0,27	0,22	0,30
3	0,27	0,21	0,30
\bar{V}	0,273	0,216	0,30
Perse ntase (%)	0,1092	0,0864	0,12

e. PEMAPARAN 5

Minyak Biodiesel : Metanol

25 ml : 225 ml

Vol	SAMPLE 1 (ml)	SAMPLE 2 (ml)	SAMPLE 3 (ml)
1	0,45	0,40	0,47
2	0,45	0,40	0,47
3	0,44	0,40	0,46
\bar{V}	0,446	0,40	0,467
Perse ntase (%)	0,1784	0,16	0,1868

LAMPIRAN 2

DATA HASIL PENGUKURAN DENSITAS SETELAH PROSES TRANSESTERIFIKASI DAN SETELAH PENCUCIAN PADA SUHU 25⁰ C

a. PEMAPARAN 1

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

ρ	SAMPLE 1(kg/m ³)	SAMPLE 2(kg/m ³)	SAMPLE 3(kg/m ³)
1	870	870	870
2	870	870	870
3	870	870	870
4	870	870	870
5	870	870	870
$\bar{\rho}$	4350	4350	4350

b. PEMAPARAN 2

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

ρ	SAMPLE 1(kg/m ³)	SAMPLE 2(kg/m ³)	SAMPLE 3(kg/m ³)
1	870	870	870
2	870	870	870
3	870	870	870
4	870	870	870
5	870	870	870
$\bar{\rho}$	4350	4350	4350

c. PEMAPARAN 3

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

ρ	SAMPLE 1(kg/m ³)	SAMPLE 2(kg/m ³)	SAMPLE 3(kg/m ³)
1	870	870	870
2	870	870	870
3	870	870	870
4	870	870	870
5	870	870	870
$\bar{\rho}$	870	870	870

d. PEMAPARAN 4

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

ρ	SAMPLE 1(kg/m ³)	SAMPLE 2(kg/m ³)	SAMPLE 3(kg/m ³)
1	870	870	870
2	870	870	870
3	870	870	870
4	870	870	870
5	870	870	870
$\bar{\rho}$	870	870	870

e. PEMAPARAN 5

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

ρ	SAMPLE 1(kg/m ³)	SAMPLE 2(kg/m ³)	SAMPLE 3(kg/m ³)
1	870	870	870
2	870	870	870
3	870	870	870
4	870	870	870
5	870	870	870
$\bar{\rho}$	870	870	870

LAMPIRAN 3

DATA HASIL PENGUKURAN DENSITAS SETELAH PROSES TRANSESTERIFIKASI DAN SETELAH PENCUCIAN PADA SUHU 40⁰ C

a. PEMAPARAN 1

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

ρ	SAMPLE 1(kg/m ³)	SAMPLE 2(kg/m ³)	SAMPLE 3(kg/m ³)
1	855	855	860
2	855	860	860
3	855	860	860
4	855	860	860
5	855	855	860
$\bar{\rho}$	855	858	860

b. PEMAPARAN 2

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

ρ	SAMPLE 1(kg/m ³)	SAMPLE 2(kg/m ³)	SAMPLE 3(kg/m ³)
1	860	860	860
2	860	860	860
3	860	860	860
4	860	860	860
5	860	860	860
$\bar{\rho}$	860	860	860

c. PEMAPARAN 3

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

ρ	SAMPLE 1(kg/m ³)	SAMPLE 2(kg/m ³)	SAMPLE 3(kg/m ³)
1	860	860	860
2	860	860	860
3	860	860	860
4	860	860	860
5	860	865	860
$\bar{\rho}$	860	861	860

d. PEMAPARAN 4

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

ρ	SAMPLE 1(kg/m ³)	SAMPLE 2(kg/m ³)	SAMPLE 3(kg/m ³)
1	860	860	860
2	860	860	860
3	860	860	860
4	860	860	860
5	860	860	860
$\bar{\rho}$	860	860	860

e. PEMAPARAN 5

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

ρ	SAMPLE 1(kg/m ³)	SAMPLE 2(kg/m ³)	SAMPLE 3(kg/m ³)
1	860	860	860
2	860	860	860
3	860	860	860
4	865	860	860
5	865	860	860
$\bar{\rho}$	862	860	860

LAMPIRAN 4
DATA HASIL PENGUKURAN VISKOSITAS SETELAH PROSES TRANSESTERIFIKASI DAN
SETELAH PENCUCIAN PADA SUHU 25⁰ C

a. PEMAPARAN 1

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

t	SAMPLE 1 (s)	SAMPLE 2 (s)	SAMPLE 3 (s)
1	12,41	12,29	12,06
2	12,35	12,04	12,25,
3	12,34	12,09	12,35
4	12,06	12,22	12,38
5	11,84	12,28	12,63
\bar{t}	12,2	12,184	12,334
η	4,009	4,004	4,053

b. PEMAPARAN 2

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

t	SAMPLE 1 (s)	SAMPLE 2 (s)	SAMPLE 3 (s)
1	12,03	12,34	12,61
2	12,34	12,44	12,62
3	12,38	12,63	12,75
4	12,44	12,47	12,62
5	12,47	12,47	12,72
\bar{t}	12,332	12,47	12,664
η	4,053	4,098	4,162

c. PEMAPARAN 3

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

t	SAMPLE 1 (s)	SAMPLE 2 (s)	SAMPLE 3 (s)
1	12,50	12,22	12,44
2	12,53	12,85	12,82
3	12,53	12,94	12,84
4	12,50	12,78	12,78
5	12,57	12,69	12,68
\bar{t}	12,526	12,696	12,712
η	4,116	4,172	4,177

d. PEMAPARAN 4

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

t	SAMPLE 1 (s)	SAMPLE 2 (s)	SAMPLE 3 (s)
1	13,00	12,40	12,82
2	12,97	12,81	12,87
3	12,97	12,87	12,91
4	13,88	12,82	13,00
5	12,86	12,88	12,94
\bar{t}	13,136	12,756	12,908
η	4,317	4,192	4,242

e. PEMAPARAN 5

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

t	SAMPLE 1 (s)	SAMPLE 2 (s)	SAMPLE 3 (s)
1	12,71	12,65	12,89
2	13,06	13,28	13,15
3	13,15	13,34	13,00
4	13,12	13,25	13,13
5	13,06	13,41	13,22
\bar{t}	13,020	13,166	13,078
η	4,279	4,327	4,298

LAMPIRAN 5
DATA HASIL PENGUKURAN VISKOSITAS SETELAH PROSES TRANSESTERIFIKASI DAN
SETELAH PENCUCIAN PADA SUHU 40⁰ C

a. PEMAPARAN 1

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

t	SAMPLE 1 (s)	SAMPLE 2 (s)	SAMPLE 3 (s)
1	11,09	11,28	10,72
2	11,22	11,59	11,16
3	11,28	11,60	11,31
4	11,35	11,81	11,47
5	11,53	11,81	11,50
\bar{t}	11,294	11,618	11,232
η	3,081	3,181	3,082

b. PEMAPARAN 2

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

t	SAMPLE 1 (s)	SAMPLE 2 (s)	SAMPLE 3 (s)
1	11,28	10,94	10,69
2	11,54	11,25	11,63
3	11,60	11,28	11,69
4	11,80	11,31	11,71
5	11,81	11,40	11,75
\bar{t}	11,608	11,236	11,484
η	3,185	3,083	3,151

c. PEMAPARAN 3

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

t	SAMPLE 1 (s)	SAMPLE 2 (s)	SAMPLE 3 (s)
1	10,62	10,44	11,56
2	11,00	11,28	11,84
3	11,15	11,38	11,97
4	11,25	11,53	11,97
5	11,47	11,69	11,97
\bar{t}	11,178	11,264	11,862
η	3,067	3,094	3,254

d. PEMAPARAN 4

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

t	SAMPLE 1 (s)	SAMPLE 2 (s)	SAMPLE 3 (s)
1	11,15	11,00	11,09
2	11,,75	11,56	11,53
3	11,81	11,76	11,72
4	11,93	11,72	11,72
5	11,97	11,90	11,85
\bar{t}	11,722	11,588	11,582
η	3,216	3,180	3,178

e. PEMAPARAN 5

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

t	SAMPLE 1 (s)	SAMPLE 2 (s)	SAMPLE 3 (s)
1	11,29	11,22	11,35
2	12,06	11,94	11,81
3	12,19	12,16	11,91
4	12,31	12,31	12,09
5	12,46	12,34	12,19
\bar{t}	12,062	11,994	11,87
η	3,317	3,291	3,257

LAMPIRAN 6

DATA HASIL PENGUKURAN TITIK KABUT SETELAH PROSES TRANSESTERIFIKASI DAN SETELAH PENCUCIAN

a. PEMAPARAN 1

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

T	SAMPLE 1 (°C)	SAMPLE 2 (°C)	SAMPLE 3 (°C)
1	10	10	9
2	9	10	10
3	10	10	10
4	10	9	9
5	9	9	9
\bar{T}	9,6	9,6	9,4

b. PEMAPARAN 2

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

T	SAMPLE 1 (°C)	SAMPLE 2 (°C)	SAMPLE 3 (°C)
1	10	9	10
2	10	10	10
3	9	10	11
4	10	11	10
5	11	10	10
\bar{T}	10	10	10,2

c. PEMAPARAN 3

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

T	SAMPLE 1 (°C)	SAMPLE 2 (°C)	SAMPLE 3 (°C)
1	9	11	11
2	10	10	10
3	10	11	11
4	11	11	11
5	11	11	10
\bar{T}	10,2	10,8	10,6

d. PEMAPARAN 4

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

T	SAMPLE 1 (°C)	SAMPLE 2 (°C)	SAMPLE 3 (°C)
1	10	11	11
2	10	10	11
3	10	10	9
4	10	10	10
5	11	10	10
\bar{T}	10,2	10,2	10,2

e. PEMAPARAN 5

minyak goreng : metanol : KOH

4 : 1 : 1%

T	SAMPLE 1 (°C)	SAMPLE 2 (°C)	SAMPLE 3 (°C)
1	11	11	11
2	11	11	10
3	10	11	11
4	10	11	11
5	10	11	10
\bar{T}	10,4	11	10,6

LAMPIRAN 7

DATA HASIL PENGUKURAN VISKOSITAS AIR PADA SUHU 25⁰ C

t	dalam (s)
1.	2,34
2.	2,37
3.	2,37
4.	2,37
5.	2,38
t_{rata2}	2,366
ρ_{rata2}	1000 kg/m ³

DATA HASIL PENGUKURAN VISKOSITAS AIR PADA SUHU 40⁰ C

t	1x PEMAPARAN (s)
1.	2,06
2.	2,06
3.	2,06
4.	2,01
5.	2,07
t_{rata2}	2,052
ρ_{rata2}	1000 kg/m ³

LAMPIRAN 8

TABEL HARGA VISKOSITAS AIR PADA BERBAGAI SUHU

$t^{\circ}\text{C}$	η (poise)	$t^{\circ}\text{C}$	η (poise)
25	0,8937	33	0,7523
26	0,8737	34	0,7371
27	0,8545	35	0,7225
28	0,8360	36	0,7085
29	0,8100	37	0,6947
30	0,8007	38	0,6814
31	0,7840	39	0,6685
32	0,7679	40	0,6560