

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Alternatif

Konsumsi terhadap hasil olahan minyak bumi selalu mengalami peningkatan setiap tahun seiring dengan meningkatnya populasi dan aktivitas penduduk dunia.

Di satu sisi, cadangan minyak fosil dunia yang saat ini menjadi sumber energi terbesar justru cenderung menurun. Hal ini mendorong harga minyak mentah terus melonjak dan ditambah dengan kondisi perekonomian dunia yang tidak menentu menyebabkan ketidakstabilan harga minyak mentah di pasaran.

Pemakaian energi berbasis fosil juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan terutama ditimbulkannya gas karbondioksida hasil pembakaran dapat menyebabkan pemanasan global yang dikenal dengan efek rumah kaca (Prihandana *et all.*, 2006).

Kebutuhan energi dunia pada tahun 2008 mencapai 11.295 juta ton equivalen minyak bumi. Bahan bakar fosil (BBF) merupakan sumber energi utama di mana bahan bakar fosil memenuhi kebutuhan energi sebesar 88% keseluruhan sumber energi. Bahan bakar fosil dipenuhi oleh 35% minyak bumi, 29% batubara dan 24% gas alam. Bahan bakar non fosil (BBNF) disuplai dari tenaga hidro 5% dan energi nuklir sebesar 6%. Bahan bakar fosil merupakan penyumbang utama efek rumah kaca. Pada tahun 2006 emisi

CO₂ mencapai 29 giga ton dan diasumsikan bahwa penyerapan CO₂ hanya 12.000 giga ton selebihnya tidak dapat diserap dan ter-akumulasi di biosfera. Bahan bakar fosil juga merupakan sumber energi yang tak dapat diperbaharui. Dampak ekonomi akibat ketergantungan terhadap BBF dapat dirasakan yaitu harga BBF naik secara eksponensial. Sebagai contoh premium yang tahun 2004 harganya Rp 1.800,00/liter naik hingga Rp 6.000,00/liter pada tahun 2010 (Mahreni, 2010).

Di berbagai negara sumber energi utama yang digunakan adalah minyak bumi. Eksploitasi secara ekstensif dan berkepanjangan menyebabkan cadangan minyak bumi semakin menipis, untuk itu harganya melonjak secara tajam dari tahun ke tahun. Sumber daya energi yang berasal dari minyak bumi akan semakin menipis persediaannya, seiring dengan bertambahnya industri yang akan mengakibatkan peningkatan konsumsi bahan bakar minyak. Terjadinya krisis energi, khususnya bahan bakar minyak (BBM) menyebabkan meningkatnya harga jual. Untuk mengatasi semakin mahalnya harga minyak bumi, masyarakat dunia melakukan berbagai cara untuk menghadapi kemungkinan krisis energi dan *global warming* melalui berbagai pertemuan misalnya di Kyoto, Bali, Bangkok, dan sebagainya (Prihandana *et al.*, 2006).

Berbagai rekomendasi yang dikeluarkan adalah dengan penurunan emisi, penurunan pertumbuhan ekonomi (*zero growth*), reboisasi, reforestrasi, dan penggantian sumber energi yang ramah lingkungan. Berbagai alternatif energi di luar sumber fosil itu adalah tenaga matahari, angin, ombak/laut pasang, uap, panas bumi, hingga bio-energi. Sumber energi ini diharapkan dapat mengurangi dampak energi yang menimbulkan *global warming* yang sudah kita rasakan

akibatnya seperti perubahan iklim, bencana alam, dan sebagainya. Untuk itu Indonesia perlu mencari sumber-sumber bahan bakar alternatif yang mungkin dikembangkan (Kusdiana, 2008).

Energi terbarukan merupakan energi yang dapat dihasilkan kembali, secara alami atau dengan bantuan manusia. Sedangkan energi tidak terbarukan merupakan energi yang dapat habis sekali pakai. Klasifikasi ini harus memperhatikan aspek lain, seperti aspek pemakaian (*use*) dan aspek komersial (*commercial*). Sumber energi, dilihat dari aspek pemakaian, terdiri atas energi primer dan energi sekunder. Dalam rangka mengantisipasi kelangkaan energi di masa mendatang, perlu dikaji potensi sumber energi lain terutama energi yang dapat diperbaharui. Indonesia diketahui memiliki berbagai macam sumber energi yang dapat diperbaharui seperti energi air, angin, matahari, panas bumi dan energi biomasa (Tabel 1). Salah satu sumber energi biomasa yang mempunyai potensi untuk dikembangkan adalah energi biomasa yang berasal dari minyak kelapa sawit atau disebut biodiesel, selain itu dapat juga berasal dari jagung untuk menghasilkan bioethanol.

Tabel 1. Sumber energi terbarukan di Indonesia

No.	Jenis sumber energi	Kapasitas terpasang (MW)
1.	Hidro	4.200,00
2.	Mikrohidro	206,00
3.	Geotermal	807,00
4.	Biomasa	302,40
5.	Surya	6,00
6.	Angin	0,60

Sumber: Kusdiana, 2008

2.2 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. Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar mesin diesel yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui (*renewable*). Biodiesel tersusun dari berbagai macam ester asam lemak yang dapat diproduksi dari minyak tumbuhan maupun lemak hewan. Minyak tumbuhan yang sering digunakan antara lain minyak sawit (*palm oil*), minyak kelapa, minyak jarak pagar, dan minyak biji kapuk randu, sedangkan lemak hewani seperti lemak babi, lemak ayam, lemak sapi, dan juga lemak yang berasal dari ikan (Handayani, 2010).

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, tidak mempunyai efek terhadap kesehatan yang dapat dipakai sebagai bahan bakar kendaraan bermotor dapat menurunkan emisi bila dibandingkan dengan minyak diesel. Biodiesel merupakan bahan bakar yang berwarna kekuningan yang viskositasnya tidak jauh berbeda dengan minyak solar. Biodiesel memiliki kelebihan bila dibandingkan dengan bahan bakar minyak diesel (solar) yang diperoleh dari minyak bumi antara lain (Hanif, 2009):

- 1) Mempunyai sifat pelumasan yang lebih baik sehingga dapat memperpanjang umur mesin.
- 2) Merupakan bahan bakar yang aman, mudah ditangani, dan tidak beracun.
- 3) Mempunyai gas buang yang relatif rendah.

Biodiesel terbuat dari minyak nabati yang berasal dari sumber daya yang dapat diperbaharui. Beberapa bahan baku untuk pembuatan biodiesel antara lain kelapa sawit, kedelai, bunga matahari, jarak pagar, tebu dan beberapa jenis tumbuhan (Tabel 2) lainnya yang mengandung trigliserida (Rahayu, 2005).

Tabel 2. Tumbuhan penghasil biodiesel yang dapat dikembangkan di Indonesia

No	Nama Lokal	Nama Latin	Sumber Minyak	Isi % Berat Kering
1	Jarak Pagar	<i>Jatropha curcas</i>	Inti biji	40-60
2	Kacang Suuk	<i>Arachis hypogea</i>	Biji	35-55
3	Kapok/Randu	<i>Ceiba pantandra</i>	Biji	24-40
4	Karet	<i>Hevea brasiliensis</i>	Biji	40-50
5	Kecipir	<i>Psophocarpus tetrag</i>	Biji	15-20
6	Kelapa	<i>Cocos nucifera</i>	Inti biji	60-70
7	Kelor	<i>Moringa oleifera</i>	Biji	30-49
8	Kacang tanah	<i>Aleurites moluccana</i>	Inti biji	57-69
9	Kusambi	<i>Sleichera trijuga</i>	Sabut	55-70
10	Nimba	<i>Azadiruchta indica</i>	Inti biji	40-50
11	Saga Utan	<i>Adenantha pavonina</i>	Inti biji	14-28
12	Sawit	<i>Elais quincencis</i>	Sabut	45-70
13	Sawit	<i>Elais quincencis</i>	Biji	46-54
14	Nyamplung	<i>Callophyllum lanceatum</i>	Inti biji	40-73
15	Randu Alas	<i>Bombax malabaricum</i>	Biji	18-26
16	Sirsak	<i>Annona muricata</i>	Inti biji	20-30
17	Srikaya	<i>Annona squosa</i>	Biji	15-20

Sumber: Wirawan, 2007

Biodiesel mulai mendapat perhatian dunia, terutama sebagai alternatif bahan bakar pengganti solar yang memiliki kadar polusi yang rendah, sehingga ramah terhadap lingkungan, dapat diperbaharui, dan mampu mendorong memberikan nilai tambah pada sektor agribisnis. Biodiesel memiliki efek pelumasan yang sangat tinggi, sehingga membuat mesin diesel lebih awet. Biodiesel juga

memiliki angka setana relatif tinggi, mengurangi ketukan pada mesin sehingga mesin bekerja lebih mulus. Biodiesel juga memiliki *flash point* yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar, tidak menimbulkan bau yang berbahaya sehingga lebih mudah dan aman untuk ditangani (Sipangkar, 2009). Biodiesel adalah salah satu jenis *biofuel* (bahan bakar cair dari pengolahan tumbuhan) di samping Bioetanol. *Biofuel* ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang lebih baik dibandingkan dengan minyak diesel dan juga bebas belerang, memiliki karakteristik pelumas pada mesin piston, dan juga *biodegradable* sehingga menjadi energi yang tidak beracun.

Biodiesel merupakan senyawa alkil ester yang diproduksi melalui proses alkoholisis (transesterifikasi) antara trigliserida dengan metanol atau etanol dengan bantuan katalis basa menjadi alkil ester dan gliserol atau esterifikasi asam-asam lemak (bebas). Biodiesel mentah (kasar) yang dihasilkan proses transesterifikasi minyak (atau esterifikasi asam-asam lemak) biasanya masih mengandung sisa-sisa katalis, metanol dan gliserol (air). Untuk memurnikannya, biodiesel tersebut bisa dicuci dengan air, sehingga pengotor-pengotor tersebut larut ke dalam dan terbawa oleh fase air pencuci yang selanjutnya dipisahkan. Biodiesel yang sudah dicuci kemudian dikeringkan pada kondisi vakum untuk menghasilkan produk yang jernih (pertanda bebas air) dan bertitik nyala $\geq 100^{\circ}\text{C}$ (pertanda bebas metanol) (Musanif, 2005). Tabel 3 berikut ini memaparkan standar mutu biodiesel menurut SNI.

Tabel 3. SNI-04-7182-2006: *Biodiesel Quality Requirements in Indonesia*

Parameter kualitas dan unit	Batas	Metode Uji	Metode Alternatif
Densitas pada 40°C, kg/m ³	850-890	ASTM D 1298	ISO 3675
Viskositas 40°C, mm ² /s	2,3-6,0	ASTM D 445	ISO 3104
Angka setana	min. 51	ASTM D 613	ISO 5165
Titik kilat °C	min. 100	ASTM D 93	ISO 2710
Titik beku, °C	max. 18	ASTM D 2500	
Kadar Korosi Cu (3 jam, 50 °C)	max. no. 3	ASTM D 130	ISO 2160
Residu Karbon (%-b)			
- Sample murni	max. 0,05	ASTM D 4530	ISO 10370
- Residu destilasi pada 10 %	max.,. 0,3		
Air dan endapan, %-vol	max. 0,05	ASTM D 2709	
Temp. destilasi pada 90%, °C	max. 360	ASTM D 1160	
Abu sulfat, %-w	max. 0,02	ASTM D 874	ISO 3987
Sulfur, ppm-w (mg/kg)	max. 100	ASTM D 5453	prEN ISO 20884
Posfor, ppm-w (mg/kg)	max. 10	AOCS Ca 12-55	FBI-A05-03
Kadar asam, mg-KOH/g	max. 0,8	AOCS Cd 3-63	FBI-A01-03
Gliserol bebas, %-w	max. 0,08	AOCS Ca 14-56	FBI-A02-03
Total gliserol, %-w	max. 0,02	AOCS Ca 14-56	FBI-A02-03
Kadar Alkil ester , %-w	min. 96,5	Calculated	FBI-A03-03
Nilai Iodin, %-b (g-12/100g)	max. 115	AOCS Cb 1-25	FBI-A04-03
Tes Halphen	Negatif	AOCS Cb 1-25	FBI-A06-03

Sumber: Goto, 2008.

Energi yang dihasilkan oleh biodiesel relatif tidak berbeda dengan *petroleum* diesel (135047,149 joule vs 137157,261 joule), sehingga *engine torque* dan tenaga kuda yang dihasilkan juga sama. Walaupun kandungan kalori biodiesel serupa dengan *petroleum* diesel, tetapi karena biodiesel mengandung oksigen, maka *flash point* yang dimiliki lebih tinggi sehingga tidak mudah terbakar. Biodiesel juga tidak menghasilkan uap yang membahayakan pada suhu kamar, maka biodiesel lebih aman daripada *petroleum* diesel dalam penyimpanan dan penggunaannya. Di samping itu, biodiesel tidak mengandung sulfur dan senyawa bensen yang karsinogenik, sehingga biodiesel merupakan bahan bakar yang lebih bersih dan lebih mudah ditangani dibandingkan dengan *petroleum* diesel. Penggunaan biodiesel juga dapat mengurangi emisi karbon monoksida, hidrokarbon total, partikel, dan sulfur dioksida (Musanif, 2005).

Biodiesel dikenal sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Biodiesel biasanya dibuat dengan transesterifikasi minyak tumbuhan atau lemak hewan dengan metanol atau etanol. Biodiesel yang diproduksi dari minyak tumbuhan atau lemak hewan biasanya lebih mahal dibanding bahan bakar diesel konvensional dari minyak bumi. Mengingat hal tersebut maka biodiesel dapat saja dibuat dari minyak nabati yang tidak harus baru, seperti minyak jelantah (minyak bekas penggorengan) (Hanif, 2009).

2.3 Minyak Goreng Bekas atau Minyak Jelantah

Minyak goreng adalah minyak yang diperoleh dengan cara pemurnian minyak nabati dan dipergunakan sebagai bahan makanan. Umumnya minyak goreng

tidak langsung habis dalam sekali pemakaian/penggorengan, ini lah yang dinamakan minyak jelantah. Terkadang minyak tersisa cukup banyak terutama pada proses penggorengan *deep frying*. Minyak jelantah telah mengalami perubahan, baik sifat fisik maupun kimia, bersifat karsinogenik (racun) bagi tubuh manusia (Ummy, 2008). Karakteristik minyak jelantah dapat dilihat pada Tabel 4.

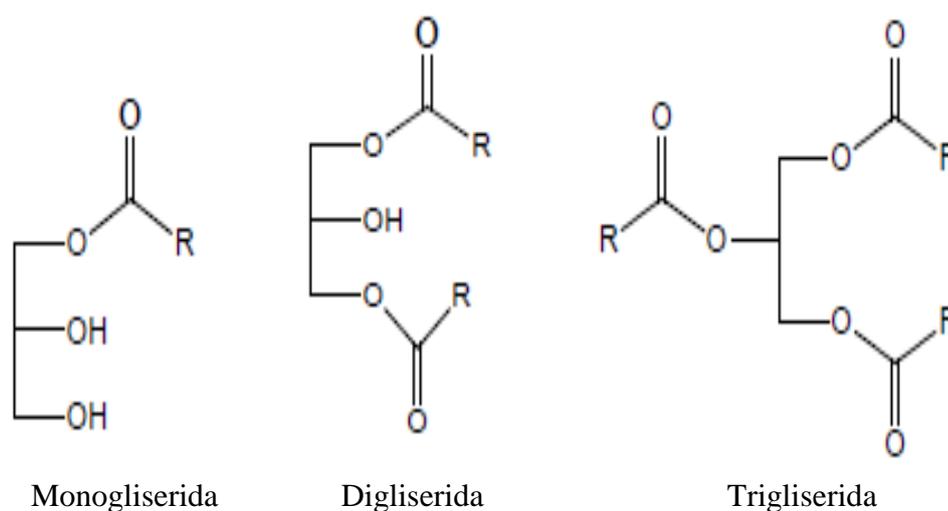
Tabel 4. Karakteristik dari minyak jelantah

Karakteristik	Hasil analisis
Densitas (g/Cm ³)	0,8989
FFA (%)	9,3
Visikositas 40 ⁰ C (CSt)	46,5
Stabilitas Oksidatif (hr)	23,81
Komponen Gliserida (%) (MD, MG dan TG)	56,5
Komponen non gliserida (%)	43,5
Komposisi asam lemak (%)	
C14:0 (asam miristat)	1,3
C16:0 (asam palmitat)	38,8
C18:0 (asam stearat)	5,6
C18:1 (asam oleat)	45,7
C18:2 (asam linoleat)	8,8

Sumber: Kheang,1996

Minyak nabati yang dipergunakan untuk menggoreng biasanya mengandung banyak asam lemak tidak jenuh, yaitu asam oleat dan linoleat. Minyak yang termasuk dalam golongan ini adalah minyak jagung, minyak kacang tanah,

minyak wijen, minyak bunga matahari, minyak sawit, minyak biji kapas, minyak zaitun, dan minyak *safflower*. Sebagian besar minyak goreng di Indonesia berasal dari minyak kelapa sawit. Secara umum komponen utama minyak sangat menentukan mutu asam lemaknya, karena asam lemak dapat menentukan sifat kimia dan stabilitas minyak. Trigliserida dari suatu minyak atau lemak mengandung 94– 96% asam lemak sehingga sebagai komponen utama yang menyusun trigliserida maka sifat fisik, kimia, dan stabilitasnya ditentukan oleh komponen asam lemaknya. Asam lemak dominan yang terdapat pada minyak sawit adalah asam palmitat dan asam oleat (Hanif, 2009). Struktur molekul trigliserida dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur molekul monogliserida, digliserida, dan trigliserida (Hanif, 2009)

Pemanasan minyak pada suhu tinggi dengan adanya oksigen akan mengakibatkan rusaknya asam-asam lemak tak jenuh yang terdapat dalam minyak, seperti asam oleat dan linoleat. Kerusakan minyak akibat pemanasan dapat dilihat dari perubahan warna, kenaikan kekentalan, kenaikan kandungan asam lemak bebas, kenaikan bilangan peroksida, dan kenaikan kandungan *urea adduct forming*

esters. Kandungan FFA dan air di dalam minyak bekas berpengaruh negatif terhadap reaksi transesterifikasi, karena *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dan gliserol menjadi susah untuk dipisahkan. Minyak goreng bekas lebih kental dibandingkan dengan minyak segar disebabkan oleh pembentukan dimer dan polimer asam dan gliserid di dalam minyak goreng bekas karena pemanasan sewaktu digunakan. Berat molekul dan angka iodin menurun sementara berat jenis dan angka penyabunan semakin tinggi. Selama hidrolisis, terjadi pemecahan ikatan ester yang menghasilkan asam lemak bebas, monogliserida, dan digliserida. Reaksi ini akan menghasilkan flavor dan bau menyengat pada minyak tersebut. Walaupun asam lemak bebas menjadi indikator penurunan mutu pada minyak goreng, tetapi asam lemak bebas berpotensi dalam produksi produk biokimia dasar. Yang termasuk ke dalam produk biokimia dasar adalah *fatty alcohol*, gliserol, asam lemak, dan metil ester. Semua produk biokimia tersebut merupakan hasil dari reaksi dengan persenyawaan minyak/lemak dengan atau tanpa bantuan katalis.

Sebagai limbah, minyak jelantah memiliki kandungan asam lemak yang cukup tinggi. Kandungan asam lemak yang tinggi dapat menyebabkan terjadi reaksi penyabunan. Perbedaan komposisi asam di dalam minyak bunga matahari, minyak kedelai dan minyak goreng bekas dapat dilihat pada Tabel 5. Tabel 5 menunjukkan bahwa kandungan hampir semua asam yang ada di dalam minyak goreng bekas lebih tinggi dibandingkan dengan di dalam minyak goreng segar (Nadir *et al.*, 2009).

Tabel 5. Komposisi asam lemak di dalam minyak bunga matahari, minyak kedelai, dan minyak bekas.

Asam lemak		Minyak Bunga Matahari	Minyak kedelai	Minyak bekas
<i>Lauric</i>	(12:0)	-	-	9,95
<i>Myristic</i>	(14:0)	0,06	0,07	0,19
<i>Palmitic</i>	(16:0)	5,68	10,87	8,9
<i>Palmitoleic</i>	(16:0)	0,14	0,10	0,22
<i>Searic</i>	(18:0)	3,61	3,66	3,85
<i>Oleic</i>	(18:0)	34,27	23,59	30,71
<i>Linoleic</i>	(18:2)	54,79	53,86	54,35
<i>Linonelic</i>	(18:3)	0,07	6,49	0,27
<i>Arachidic</i>	(20:0)	0,25	0,37	0,29
<i>Gidoleic</i>	(20:1)	0,13	0,22	0,18
<i>Bahenic</i>	(22:0)	0,69	0,45	0,61

Sumber: Mahreni, 2010

2.4 Proses Produksi Biodiesel

Biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi esterifikasi asam lemak bebas atau reaksi transesterifikasi trigliserida tergantung dari kualitas minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku. Transesterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek seperti metanol atau etanol (pada saat ini sebagian besar produksi biodiesel menggunakan metanol) untuk menghasilkan metil ester asam lemak (*Fatty Acids Methyl Esters* / FAME) atau biodiesel dan gliserol (gliserin) sebagai produk samping. Katalis yang digunakan pada proses transesterifikasi adalah basa/alkali, biasanya digunakan natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH). Esterifikasi adalah proses yang mereaksikan asam lemak bebas (FFA) dengan

alkohol rantai pendek (metanol atau etanol) menghasilkan FAME dan air. Katalis yang digunakan untuk reaksi esterifikasi adalah asam, biasanya asam sulfat (H_2SO_4) atau asam fosfat (H_3PO_4). Berdasarkan kandungan FFA dalam minyak nabati maka proses produksi biodiesel secara komersial dibedakan menjadi 2, yaitu (Hikmah dan Zuliyana, 2010):

- 1) Esterifikasi dengan katalis asam (umumnya menggunakan asam sulfat) untuk minyak nabati dengan kandungan FFA $> 5\%$ dilanjutkan dengan transesterifikasi dengan katalis basa.
- 2) Transesterifikasi dengan katalis basa (sebagian besar menggunakan kalium hidroksida) untuk bahan baku *refined oil* atau minyak nabati dengan kandungan FFA $< 5\%$.

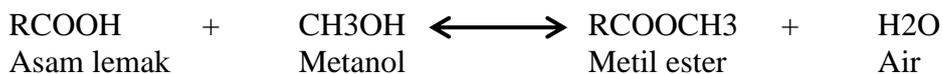
2.4.1 Proses esterifikasi

Esterifikasi adalah reaksi di mana bahan yang mengandung asam lemak bebas direaksikan dengan alkohol membentuk ester dan air. Esterifikasi hanya dapat dilakukan jika umpan yang direaksikan dengan alkohol mengandung asam lemak bebas tinggi. Selain itu, tidak diperlukan adanya tahap ekstraksi dalam proses ini karena pada esterifikasi, alkohol berfungsi sebagai solven pengekstrak sekaligus sebagai reaktan. Keunggulan dari proses ini adalah (Dharsono dkk., 2010):

- 1) Dengan memasukkan seluruh bagian ke dalam proses esterifikasi, kandungan asam lemak dalam minyak turut berperan dalam *overall yield* pembentukan ester.

- 2) Lemak yang teresterifikasi memiliki viskositas dan kelarutan yang berbeda dari komponen *trygliceride*, sehingga dapat dengan mudah dipisahkan dari residu padat.
- 3) Alkohol bertindak sebagai solven pengestrak komponen minyak, sekaligus reagen untuk mengesterifikasi komponen. Dengan tidak diperlukannya tahap ekstraksi, ongkos produksi dapat ditekan seminimal mungkin dan didapatkan produk dengan kelayakan ekonomi lebih baik.

Esterifikasi dapat dilaksanakan dengan menggunakan katalis padat (heterogen) atau katalis cair (homogen). Berikut ini reaksi esterifikasi dengan katalis cair berupa asam sulfat (H_2SO_4) menurut Dharsono dkk (2010) :



Faktor-faktor yang berpengaruh pada reaksi esterifikasi antara lain (Dharsono, dkk., 2010):

- 1) Waktu reaksi

Semakin lama waktu reaksi maka kemungkinan kontak antar zat semakin besar sehingga akan menghasilkan konversi yang besar. Jika kesetimbangan reaksi sudah tercapai maka dengan bertambahnya waktu reaksi tidak akan menguntungkan karena tidak memperbesar hasil.

- 2) Pengadukan

Pengadukan akan menambah frekuensi tumbukan antara molekul zat pereaksi dengan zat yang bereaksi sehingga mempercepat reaksi dan reaksi terjadi baik. Sesuai dengan persamaan Archenius:

$$k = A e^{(-E_a/RT)} \dots\dots\dots (1)$$

di mana: k = konstanta kecepatan reaksi (t-1)

A = faktor tumbukan (t-1)

E_a = tenaga aktivasi (cal/gmol)

R = konstanta gas umum (cal/gmol °K)

T = suhu absolut (°C)

Semakin besar tumbukan maka semakin besar pula harga konstanta kecepatan reaksi, sehingga dalam hal ini pengadukan sangat penting mengingat larutan minyak-katalis-metanol merupakan larutan yang *immiscible*.

3) Katalisator

Katalisator berfungsi untuk mengurangi tenaga aktivasi pada suatu reaksi sehingga pada suhu tertentu harga konstanta kecepatan reaksi semakin besar.

Pada reaksi esterifikasi yang sudah dilakukan biasanya menggunakan konsentrasi katalis antara 1 – 4 % berat sampai 10 % berat campuran pereaksi

4) Suhu reaksi

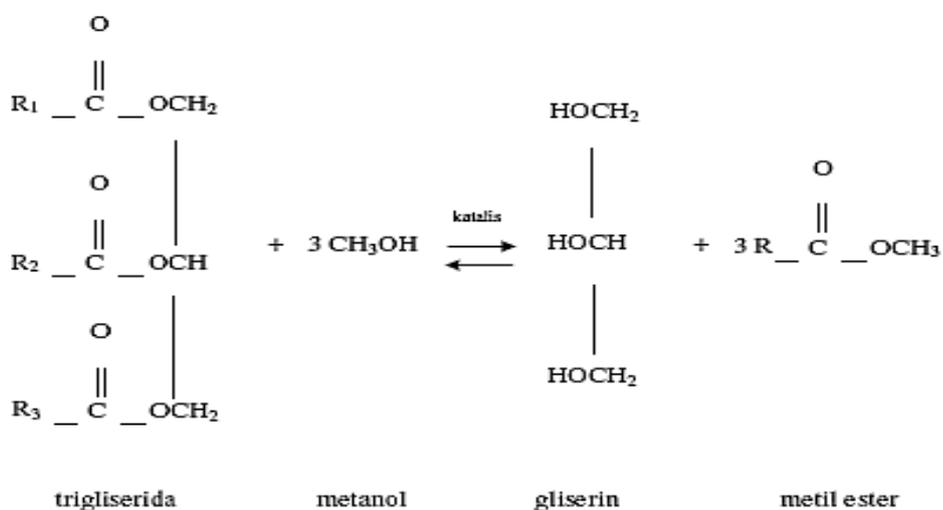
Semakin tinggi suhu yang dioperasikan maka semakin banyak konversi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan persamaan Arrhenius. Bila suhu naik maka nilai k makin besar sehingga reaksi berjalan cepat dan hasil konversi makin besar.

2.4.2 Proses transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi disebut juga dengan reaksi alkoholisis yang merupakan reaksi antara trigliserida dengan alkohol membentuk ester dan

gliserol sebagai produk samping. Menurut Rahayu (2005), penggunaan minyak jelantah yang bermutu baik (kandungan asam lemak bebas lebih kecil dari 1%) sebagai bahan baku akan mempermudah reaksi transesterifikasi. Begitu juga sebaliknya, penggunaan minyak dengan kadar asam lemak bebas lebih dari 1% dapat menimbulkan pembentukan sabun yang akan mempercepat proses emulsi selama pencucian dengan air dan kandungan asam lemak bebas lebih dari 2% maka proses tidak akan berlangsung.

Di antara alkohol-alkohol monohidrik yang menjadi kandidat sumber/pemasok gugus alkil adalah metanol. Metanol merupakan katalis yang paling umum digunakan, karena harganya murah dan reaktifitasnya paling tinggi (sehingga reaksi disebut metanolisis). Jadi di sebagian besar, biodiesel praktis identik dengan FAME. Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Reaksi Transesterifikasi (Rahayu, 2005)

Transesterifikasi juga menggunakan katalis dalam reaksinya. Tanpa adanya katalis, konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi berjalan dengan

lambat. Katalis yang biasa digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah katalis NaOH, karena katalis ini dapat mempercepat reaksi. Produk yang diinginkan dari reaksi transesterifikasi adalah ester metil asam-asam lemak. Terdapat beberapa cara agar kesetimbangan lebih ke arah produk, yaitu (Hikmah dan Zuliyana, 2010):

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

Tahapan reaksi transesterifikasi produksi biodiesel selalu menginginkan agar didapatkan produk biodiesel dengan jumlah yang maksimum. Beberapa kondisi reaksi yang mempengaruhi konversi serta perolehan biodiesel melalui transesterifikasi adalah sebagai berikut (Freedman, *et al.*, 1984):

- 1) Pengaruh air dan asam lemak bebas

Minyak nabati yang akan ditransesterifikasi harus memiliki angka asam yang lebih kecil dari 1%. Selain itu, semua bahan yang akan digunakan harus bebas dari air. Karena air akan bereaksi dengan katalis, sehingga jumlah katalis menjadi berkurang. Katalis harus terhindar dari kontak dengan udara agar tidak mengalami reaksi dengan uap air dan karbon dioksida.

- 2) Pengaruh perbandingan molar alkohol dengan minyak jelantah

Secara stoikiometri, jumlah alkohol yang dibutuhkan untuk reaksi adalah 3 mol untuk setiap 1 mol trigliserida untuk memperoleh 3 mol alkil ester dan 1 mol gliserol. Secara umum ditunjukkan bahwa semakin banyak jumlah alkohol yang digunakan, maka konversi yang diperoleh juga akan semakin bertambah. Pada rasio molar 6:1, setelah 1 jam konversi yang dihasilkan

adalah 98 – 99%, sedangkan pada 3:1 adalah 74 – 89%. Nilai perbandingan yang terbaik adalah 6:1 karena dapat memberikan konversi yang maksimum.

3) Pengaruh jenis alkohol

Pada rasio 6:1, metanol akan memberikan perolehan ester yang tertinggi dibandingkan dengan menggunakan etanol atau butanol.

4) Pengaruh jenis katalis

Alkali katalis (katalis basa) akan mempercepat reaksi transesterifikasi bila dibandingkan dengan katalis asam. Katalis basa yang akan digunakan untuk reaksi transesterifikasi adalah natrium hidroksida (NaOH). Katalis sejati bagi reaksi sebenarnya adalah ion metilat (metoksida). Reaksi transesterifikasi akan menghasilkan konversi yang maksimum dengan jumlah katalis 0,5 – 1,5% minyak nabati. Jumlah katalis yang efektif untuk reaksi adalah 0,5% minyak nabati untuk natrium metoksida dan 1% minyak nabati untuk natrium hidroksida.

5) Pengaruh jenis minyak

Perolehan metil ester akan lebih tinggi jika menggunakan minyak nabati murni. Namun apabila produk metil ester akan digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel, cukup digunakan bahan baku berupa minyak yang telah dihilangkan getahnya dan disaring.

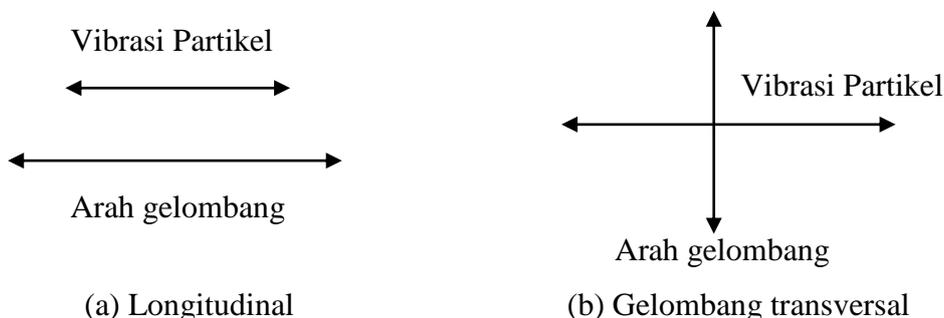
6) Pengaruh temperatur

Reaksi transesterifikasi dapat dilakukan pada temperatur 30° – 65°C (titik didih metanol sekitar 65°C). Semakin tinggi temperatur, konversi yang diperoleh akan semakin tinggi untuk waktu yang lebih singkat.

2.5 Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik adalah gelombang mekanik dengan frekuensi di atas ambang pendengaran manusia yaitu 20 – 20.000 kHz. Gelombang ultrasonik merupakan rambatan energi dan momentum mekanik sehingga merambat dapat berinteraksi dengan molekul dan sifat enersia medium yang dilaluinya.

Karakteristik gelombang ultrasonik yang melalui medium mengakibatkan getaran partikel dengan medium amplitudo sejajar dengan arah rambat secara longitudinal sehingga menyebabkan partikel medium membentuk rapatan (*strain*) dan tegangan (*stress*). Hal ini disebabkan oleh getaran partikel secara periodik selama gelombang ultrasonik melaluinya. Untuk fluida cair dan gas, osilasi partikel searah dengan arah gelombang dan menghasilkan gelombang longitudinal (Gambar 5.a), sedangkan pada medium padat karena memiliki regangan elastisitas (*shear elasticity*), sehingga menimbulkan tegangan tangensial (*tangential stress*), sehingga arah gerakan partikel tegak lurus pada arah gelombang (Gambar 5.b) (Fajar dan Widiyawati, 2011).



Gambar 3. Arah gelombang dan vibrasi partikel

Gelombang ultrasonik dibangkitkan oleh suatu transduser. Transduser adalah sebuah alat yang dapat mengubah satu bentuk energi ke bentuk energi lainnya, contoh sederhananya adalah loudspeaker yang mengubah energi listrik ke energi suara. Ultrasonik transduser didesain untuk mengubah baik energi mekanik atau energi listrik menjadi suara dengan frekuensi tinggi. Pada saat gelombang ultrasonik melalui suatu medium cair, cairan tersebut akan mengalami siklus kompresi (*compression*) dan ekspansi (*rarefaction*) (Fajar dan Widiyawati, 2011).

Gelombang ultrasonik yang dirambatkan pada cairan akan menimbulkan gelembung mikro (*microbubble*). Salin itu, akan menimbulkan suatu efek yang disebut kavitasi yaitu efek akibat ketidakseimbangan kecepatan pengadukan dan pengembangan amplitudo. Konsekuensi normal dari pertumbuhan yang tidak stabil dan serangkaian keruntuhan ini adalah akibat pecahnya gelembung kavitasi. Model dinamik transesterifikasi minyak nabati dengan gelombang ultrasonik yang dikembangkan diharapkan mampu memfasilitasi reaksi transesterifikasi. Laju perubahan diameter gelembung diprediksi sebagai fungsi frekuensi, amplitudo, daya, dan viskositas secara dinamik. Hasil penelitian Susilo (2007), menunjukkan gelombang ultrasonik meningkatkan laju transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel. Konversi minyak nabati menjadi biodiesel dengan penggunaan gelombang ultrasonik lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan pengaduk mekanis. Konversi dapat mencapai 100% dengan waktu proses 1 menit. Konversi tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan pengaduk mekanis yang hanya mampu pada kisaran konversi sekitar 96% dan waktu proses antara 30 menit hingga 2 jam. Reaksi transesterifikasi dengan gelombang

ultrasonik menunjukkan waktu reaksi lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan pengaduk mekanis.

Penelitian aplikasi gelombang ultrasonik untuk transesterifikasi baik dalam bentuk eksperimen maupun pengembangan model matematika sudah banyak dilakukan (Singh *et al.*, 2007; Deng, *at al.*, 2010; Fajar dan Widiyawati, 2011). Penelitian pengolahan biodiesel sudah banyak dilakukan, tetapi penelitian yang menggunakan bahan baku minyak jelantah dari minyak goreng yang dipakai di Indonesia belum banyak dilakukan dalam bentuk penelitian eksperimental khususnya untuk reaksi transesterifikasi pada proses produksi biodiesel dengan bantuan gelombang ultrasonik. Transesterifikasi minyak nabati dengan gelombang ultrasonik yang dikembangkan dalam penelitian ini diharapkan bisa menerangkan efek aplikasi gelombang ultrasonik pada reaksi transesterifikasi minyak nabati terutama minyak jelantah (Susilo, 2007).