

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Rachimoellah (2009) dalam jurnalnya yang berjudul "*Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Alpukat (*Persea gratissima*) Dengan Proses Transesterifikasi*" melakukan penelitian dengan tujuan untuk membuat biodiesel dari minyak biji alpukat sehingga dapat dijadikan alternatif bahan bakar diesel serta mempelajari pengaruh rasio mol minyak terhadap metanol dan suhu reaksi untuk memperoleh kadar metil ester tertinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biodiesel minyak biji alpukat memenuhi standar sebagai bahan bakar alternatif. Suhu reaksi pada pembentukan ester yang optimum adalah 60 °C, hal ini dikarenakan suhu tersebut masih dibawah titik didih metanol (64,7 °C) sehingga metanol dapat bereaksi seluruhnya dan sempurna memberikan hasil ester yang maksimal. Suhu yang lebih tinggi dari 60 °C akan menguapkan metanol dan menghasilkan kadar metil ester yang lebih rendah. Sedangkan untuk pengaruh mol minyak terhadap metanol diketahui bahwa pada suhu 60 °C dengan metanol yang berlebih akan menurunkan kadar metil ester karena metanol yang berlebih akan menyebabkan sulitnya pemisahan gliserol.

2.2 Minyak Nabati

Minyak nabati adalah minyak yang diperoleh dari tumbuh-tumbuhan atau tanaman. Tumbuh-tumbuhan menyimpan energi dalam lemak dan minyak. Minyak umumnya terkandung dalam biji-bijian tanaman, yaitu pada tanaman kelapa sawit, jarak, kedelai, kacang tanah, alpukat dan lain sebagainya. Jadi, minyak dari tumbuh-tumbuhan biasanya dapat diperoleh dengan cara memeras bijinya atau melalui proses ekstraksi. Pada tabel 2.1 berikut ini akan ditunjukkan beberapa macam tanaman penghasil minyak nabati serta produktifitas yang dihasilkannya.

Tabel 2.1 Tanaman penghasil minyak nabati serta produktifitasnya

Tanaman	Perolehan [kg/ha]	Perolehan [liter/ha]
kedelai	375	446
jarak	1590	1892
bunga matahari	800	952
alpukat	2217	2638
kacang tanah	890	1059
sawit	5000	5950

Sumber : http://www.avocadosource.com/WAC1/WAC1_p159.pdf

Minyak nabati dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif, dan nantinya akan tergolong ke dalam bahan bakar nabati. Minyak nabati dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif karena tersusun dari molekul-molekul trigliserida yang mengandung atom-atom karbon dan hidrogen dengan hanya 6 atom oksigen per molekul.

Semua minyak nabati dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar namun dengan proses-proses pengolahan tertentu (Y.M Choo, 1987). Salah satu proses pengolahan minyak nabati agar menjadi bahan bakar alternatif adalah dengan proses transesterifikasi. Pada proses transesterifikasi ini nantinya minyak nabati akan diproses dan diolah menjadi biodiesel yang berkekentalan mirip solar, berangka setana lebih tinggi dan relatif lebih stabil terhadap perengkahan. Minyak nabati membutuhkan perlakuan berupa proses transesterifikasi terlebih dahulu untuk menjadi biodiesel sebagai kandidat bahan bakar mesin diesel karena memiliki beberapa kelemahan yaitu:

1. Minyak nabati (trigliserida) berberat molekul besar, jauh lebih besar dari biodiesel (metil ester). Akibatnya, minyak nabati relatif mudah mengalami perengkahan (*cracking*) menjadi aneka molekul kecil, jika terpanaskan tanpa kontak dengan udara (oksigen).
2. Minyak nabati memiliki kekentalan (viskositas) yang jauh lebih besar dari solar maupun biodiesel, sehingga pompa penginjeksi bahan bakar di dalam mesin diesel

tak mampu menghasilkan pengkabutan (*atomization*) yang baik ketika minyak nabati disemprotkan ke dalam ruang pembakaran.

3. Molekul minyak nabati relatif lebih bercabang dibanding metil ester (biodiesel). Akibatnya, angka setana minyak nabati lebih rendah daripada angka setana biodiesel. Angka setana adalah tolok ukur kemudahan menyala/terbakar dari suatu bahan bakar di dalam mesin diesel.

Minyak nabati dan biodiesel tergolong ke dalam kelas besar senyawa-senyawa organik yang sama, yaitu kelas ester asam-asam lemak. Akan tetapi, minyak nabati adalah triester asam-asam lemak dengan gliserol atau trigliserida, sedangkan biodiesel adalah monoester asam-asam lemak.

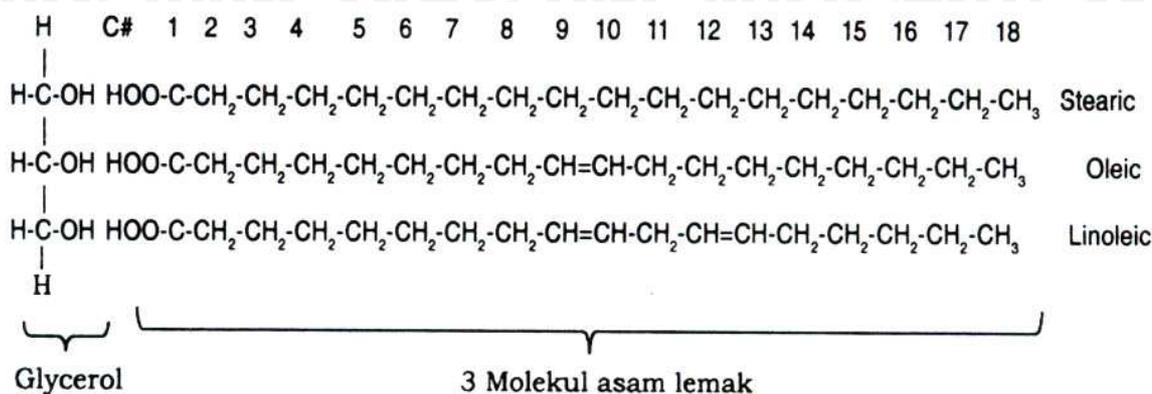
2.2.1 Komposisi dalam Minyak Nabati

Komposisi yang terdapat dalam minyak nabati terdiri dari trigliserida-trigliserida asam lemak (mempunyai kandungan terbanyak dalam minyak nabati, mencapai sekitar 95%), asam lemak bebas (*Free Fatty Acid* atau biasa disingkat dengan FFA), monogliserida dan digliserida, serta beberapa komponen-komponen lain seperti *phosphoglycerides*, vitamin, mineral atau sulfur.

2.2.1.1 Trigliserida

Trigliserida adalah triester dari gliserol dengan asam-asam lemak. Molekul-molekul trigliserida terdiri dari gliserol yakni alkohol dengan rantai 3 karbon sebagai tulang punggung (rantai utama) dan 3 cabang asam lemak dengan rantai 18 karbon atau 16 karbon. Asam lemak merupakan rantai hidrokarbon lurus dan panjang yang berisi 12 sampai 24 atom karbon. Salah satu ujung molekul asam lemak berisi kelompok asam karboksilat (COOH). Dari kelompok asam karboksilat ini bisa dihitung jumlah atom karbon asam lemak. Asam lemak dari tumbuhan merupakan ikatan tak jenuh dengan satu atau lebih ikatan rangkap diantara atom karbonnya dan berwujud cair pada suhu ruang. Asam lemak dengan satu ikatan rangkap disebut tak jenuh mono (*mono-unsaturated*) dan yang memiliki lebih dari satu ikatan rangkap disebut tak jenuh poli (*poly-unsaturated*), sedangkan yang tidak memiliki ikatan

rangkap disebut jenuh (*saturated*). Gambar 2.1 adalah contoh sebuah struktur ikatan molekul trigliserida.



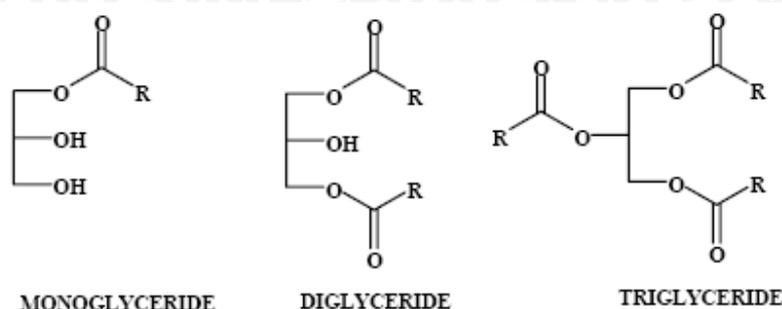
Gambar 2.1 Struktur ikatan molekul trigliserida

Sumber : Wardana, 2008: 38

Pada struktur dalam gambar 2.1 ketiga asam lemak memiliki nama yang berbeda tergantung struktur rantai karbonnya. Asam stearic adalah jenuh karena semua ikatan pada rantainya adalah ikatan tunggal. Asam oleic adalah takjenuh mono karena terdapat satu ikatan rangkap di antara karbon ke 9 da 10. Asam Linoleic adalah takjenuh poly dengan dua ikatan rangkap pada molekulnya.

Apabila hanya ada satu ikatan rangkap dalam rantai karbon asam lemak, ikatan tersebut biasanya muncul antara karbon ke 9 dan 10. Jika terdapat dua ikatan rangkap, maka ikatan rangkap yang ke dua selalu muncul antara atom karbon ke 12 dan 13 seperti terlihat pada gambar 2.1. Sementara ikatan rangkap ketiga umumnya muncul antara atom karbon ke 15 dan 16.

Trigliserida banyak dikandung dalam minyak dan lemak serta merupakan komponen terbesar penyusun minyak nabati. Selain trigliserida, terdapat juga monogliserida dan digliserida. Struktur molekul dari ketiga macam gliserid tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur molekul monogliserida, digliserida dan trigliserida

Sumber : Zandy, 2007: 7

2.2.1.2 Asam Lemak Bebas

Asam lemak bebas (FFA) adalah asam lemak yang terpisahkan dari trigliserida, digliserida, monogliserida, dan gliserin bebas. Hal ini dapat disebabkan oleh pemanasan dan terdapatnya air sehingga terjadi proses hidrolisis. Oksidasi juga dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas dalam minyak nabati. Dalam proses konversi trigliserida menjadi metil ester melalui reaksi transesterifikasi dengan katalis basa, asam lemak bebas harus dipisahkan atau dikonversi menjadi alkil ester terlebih dahulu karena asam lemak bebas akan mengkonsumsi katalis. Kandungan asam lemak bebas dalam biodiesel akan mengakibatkan terbentuknya suasana asam yang dapat mengakibatkan korosi pada peralatan injeksi bahan bakar, membuat filter tersumbat dan terjadi sedimentasi pada injektor.

2.2.2 Minyak Nabati dari Biji Alpukat

Minyak biji alpukat adalah minyak nabati yang diperoleh dari biji buah alpukat (*Persea gratissima*). Menurut Widioko (2009), disamping daging buahnya biji alpukat juga memiliki potensi karena kandungan proteinnya tinggi bahkan kandungan minyaknya hampir sama dengan kedelai. Dari penelitiannya diketahui bahwa rendemen yang diperoleh melalui proses ekstraksi biji alpukat dengan menggunakan pelarut Iso Propil Alkohol dan n-hexane sebesar 17,868% dan 18,689%. Menurut Rachimoellah (2009), Biji alpukat dapat dijadikan sebagai sumber

minyak nabati yang nantinya diolah untuk menghasilkan biodiesel dengan proses transesterifikasi karena mengandung trigliserida serta kandungan asam lemak bebas (FFA) yang rendah yakni 0,367% - 0,82%, seperti yang tercantum pada tabel 2.2 berikut ini:

Tabel 2.2 Karakteristik fisika dan kimia minyak biji alpukat

Karakteristik	Jumlah
FISIKA	
<i>Spesific Gravity</i> (25°C)	0,915 – 0,916
<i>Melting Point</i>	10,50°C
<i>Flash Point</i>	245°C
<i>Refractive Index</i>	1,462
<i>Viscosity</i>	0,357 poise
KIMIA	
FFA	0,367% – 0,82%
Bilangan Saponifikasi (mg KOH/g)	246,840
Bilangan Iodin (mg iodine/g)	42,664
Bilangan Asam (mg KOH/g)	5,200
Bilangan Ester	241,640
Bilangan Peroksida (Milli equivalents Peroksida/1000 g oil)	3,3
Bahan yang tak tersabunkan	15,250%

Sumber : Rachimoallah, 2009: 3

Berikut ini merupakan gambar buah alpukat beserta bijinya yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan minyak biji alpukat.



Gambar 2.3 Buah alpukat (*Persea gratissima* Gaerth / *Persea americana* Mill)

Sumber : <http://www.ristek.go.id>

Minyak nabati yang memiliki kandungan FFA rendah dapat menghasilkan rendemen minyak yang besar. Pada percobaan dengan perlakuan kandungan FFA menunjukkan semakin besar kandungan asam lemak bebas maka semakin kecil konversi biodiesel yang dihasilkan. Adanya kandungan FFA yang tinggi akan menyebabkan pembentukan sabun yang selanjutnya akan tercampur dengan bahan baku, sehingga menghambat proses transesterifikasi dan memperkecil produksi biodiesel (Susilo,2006).

Minyak biji alpukat memiliki komposisi asam lemak yang tersusun oleh 10 asam lemak dengan kandungan asam lemak terbesar adalah asam oleat ($C_{17}H_{33}COOH$) sebesar 70,54% dan asam palmetat ($C_{15}H_{31}COOH$) sebesar 11,85%. Komposisi asam lemak minyak biji alpukat selengkapnya dapat terlihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi asam lemak minyak biji alpukat

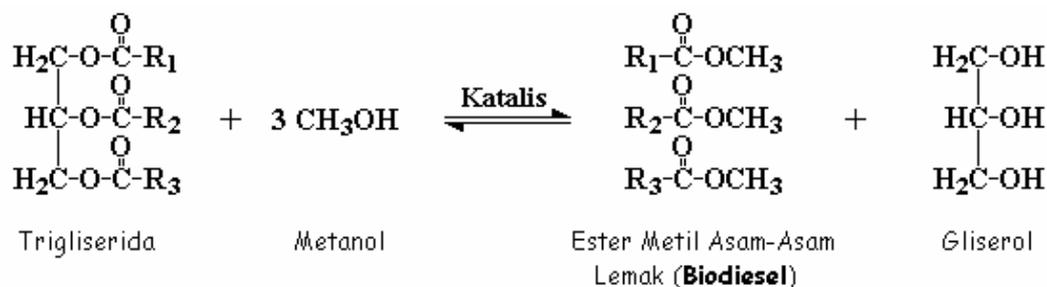
Asam Lemak	%
<i>Palmetic Acid</i> C16 : 1	11,85
<i>Palmitoleic Acid</i> C16 : 1	3,98
<i>Stearic Acid</i> C18 : 0	0,87
<i>Oleic Acid</i> C18 : 1	70,54
<i>Linoleic Acid</i> C18 : 2	9,45
<i>Linolenic Acid</i> C18 : 3	0,87
<i>Arachidic Acid</i> C20 : 0	0,50
<i>Eliosenoic Acid</i> C20 : 1	0,39
<i>Behenic Acid</i> C22 : 0	0,61
<i>Lignoceric Acid</i> C24 : 0	0,34

Sumber : Rachimoellah, 2009: 3

2.3 Transesterifikasi

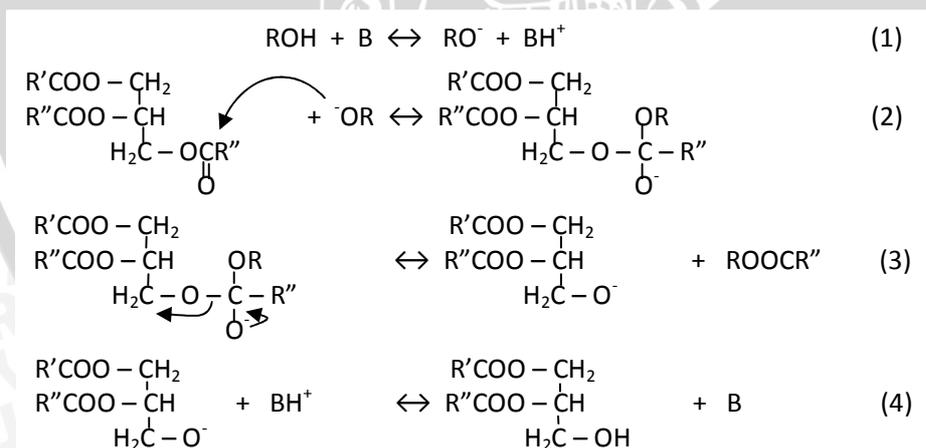
Transesterifikasi (biasa disebut dengan alkoholisis) adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi metil ester, melalui reaksi dengan alkohol yang telah dicampur katalis terlebih dahulu, dan menghasilkan produk samping yaitu gliserol. Di antara alkohol-alkohol monohidrik yang menjadi kandidat sumber/pemasok gugus alkil serta paling umum digunakan adalah metanol, karena harganya murah dan reaktifitasnya paling tinggi (sehingga reaksi disebut

metanolisis). Jadi, di sebagian besar dunia ini, biodiesel praktis identik dengan metil ester asam-asam lemak (*Fatty Acids Metil Ester*, FAME). Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini:



Gambar 2.4 Reaksi transesterifikasi menjadi metil ester asam-asam lemak
 Sumber : Wardana, 2008: 40

Transesterifikasi merupakan metode yang saat ini paling umum digunakan untuk memproduksi biodiesel dari *refined fatty oil*. Metode ini menghasilkan konversi biodiesel hingga 98% dari bahan baku minyak nabati (Bouaid, 2005). Mekanisme yang terjadi saat reaksi transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut ini:

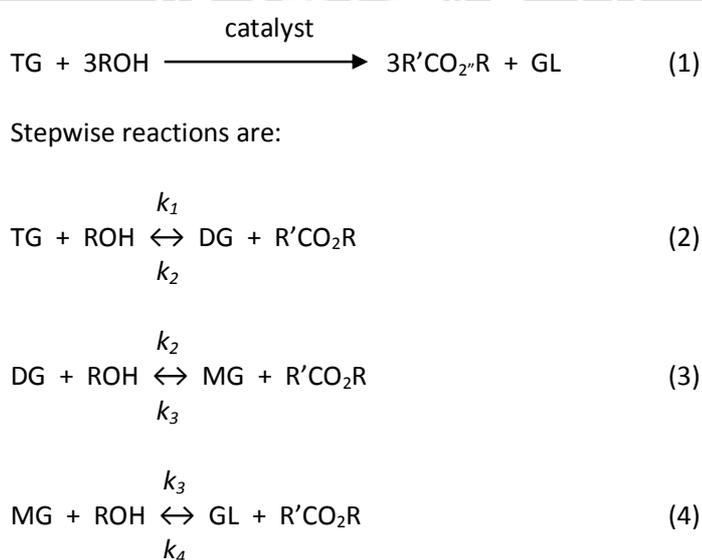


Gambar 2.5 Mekanisme reaksi transesterifikasi
 Sumber : Schuchardt, 1998: 207



Reaksi yang terjadi pada gambar 2.5(1) yaitu antara metanol (ROH) dengan katalis KOH (disimbolkan B). Unsur OH^- pada katalis KOH akan bereaksi dengan H^+ pada senyawa ROH. Hal ini akan menyebabkan unsur O pada ROH akan kelebihan elektron sehingga unsur O bermuatan negatif menjadi RO^- . Reaksi pada gambar 2.5(2), RO^- yang bersifat negatif merupakan nukleofil (suka akan inti) sehingga O^- akan menyerang inti pada senyawa trigliserida. Pada reaksi gambar 2.5(3), penyerangan inti C oleh O^- akan menyebabkan ikatan rangkap elektron antara C dan O pada trigliserida akan berpindah pada O^- dan akan membentuk ikatan senyawa antara tetrahedral. Ikatan tetrahedral merupakan ikatan tidak stabil, untuk mencapai kestabilan muatan negatif O akan membentuk ikatan rangkap kembali. Karena C kelebihan elektron maka akan memutus ikatan dari O dan akan membentuk ikatan metil ester, sedangkan trigliserida menjadi digliserida, seperti terlihat pada gambar 2.5(4).

Proses perubahan trigliserida menjadi metil ester akan melalui 3 tingkatan dimana trigliserida berubah menjadi digliserida kemudian monogliserida dan akhirnya menjadi metil ester. Alur proses perubahan tersebut ditunjukkan pada gambar 2.6 berikut ini:



Gambar 2.6 Alur reaksi transesterifikasi

Sumber : Wardana, 2008: 44

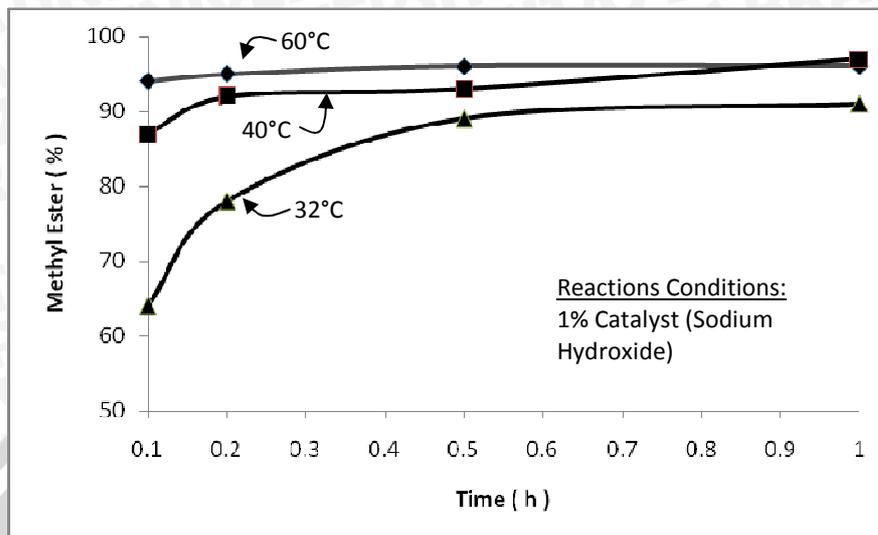
Pada gambar 2.6(1) dimana satu mol trigliserida (TG) bereaksi dengan tiga mol alkohol (ROH) dengan bantuan katalis menghasilkan tiga mol senyawa ester ($R'CO_2R$) dan satu mol gliserol (GL). Pada gambar 2.6(2), satu mol alkohol akan mengubah trigliserida menjadi digliserida (DG) dan senyawa ester. Pada gambar 2.6(3), satu mol alkohol selanjutnya bereaksi dengan digliserida dan menghasilkan monogliserida dan senyawa ester. Pada gambar 2.6(4), satu mol alkohol terakhir akan bereaksi dengan monogliserida (MG) akan menghasilkan gliserol (GL) dan senyawa ester.

Transesterifikasi merupakan suatu reaksi kesetimbangan. Ketika reaktan produk mencapai titik kesetimbangan, reaksi akan berhenti. Ini dikarenakan minyak tidak akan mengalami perubahan lagi. Untuk mendorong reaksi agar kesetimbangan bergerak condong kearah produk dapat dilakukan dengan cara:

- Menambahkan metanol ke dalam reaksi.
- Memisahkan gliserol.
- Menurunkan temperatur reaksi agar tidak melebihi titik didih alkohol yang dipakai (transesterifikasi merupakan reaksi endoterm).

2.3.1 Waktu Transesterifikasi

Penelitian ini memiliki tujuan yang salah satunya untuk mengetahui pengaruh waktu transesterifikasi minyak biji alpukat terhadap sifat fisik biodiesel yang meliputi massa jenis, viskositas, nilai kalor, titik nyala api, titik tuang dan indeks setana. Laju konversi transesterifikasi dipengaruhi oleh waktu reaksi dan temperatur (Wardana, 2008). Variasi waktu transesterifikasi disertai dengan variasi temperatur dapat menyebabkan perubahan nilai konversi dari minyak nabati menjadi biodiesel seperti terlihat pada gambar 2.7. Hal ini dikarenakan gerakan molekul-molekul bahan bakar dan pengoksidasi menjadi lebih cepat dan tumbukan molekul-molekul menjadi sangat keras, akibatnya beberapa atom dengan ikatan lemah lepas (Wardana, 2008). Penjelasan ini sesuai dengan grafik pengaruh waktu dan temperatur terhadap kadar metil ester seperti yang terlihat pada gambar 2.7 berikut ini:



Gambar 2.7 Grafik pengaruh waktu dan temperatur terhadap kadar metil ester

Sumber : Zandy, 2007: 13

Biasanya laju konversi trigliserida, digliserida, dan monogliserida meningkat secara kuadratik sampai sekitar 30 menit dengan konstanta laju reaksi sekitar 0,19 / (%berat.menit) (Wardana, 2008). Dengan waktu yang cukup, reaksi akan berjalan sempurna sehingga trigliserida akan mengalami transesterifikasi pada tekanan atmosfer dan suhu sekitar 60-70 °C (Hui, 1996). Pada penelitian ini menggunakan variasi waktu transesterifikasi (menit) yaitu: 30; 45; 60; 75; 90.

2.3.2 Metanol

Pada transesterifikasi, metanol berfungsi untuk memutus ikatan-akatan molekul dari minyak nabati (trigliserida) secara reaksi kimia menjadi metil ester dan gliserol. Metanol merupakan salah satu jenis alkanol (sering disebut alkohol). Alkohol adalah salah satu homolog senyawa turunan alkana yang satu atom H-nya diganti dengan gugus hidroksil atau gugus -OH sehingga mempunyai rumus struktur R-OH. Metanol yang mempunyai rumus empiris CH_3OH merupakan senyawa turunan dari alkana yang mempunyai rumus empiris CH_4 .

Metanol sangat umum digunakan, dan telah dibuat oleh manusia selama ribuan tahun. Pembuatannya sangat mudah dan murah karena bahan pembuatannya

melimpah. Metanol dihasilkan dengan proses fermentasi atau peragian bahan makanan yang mengandung pati atau karbohidrat, seperti beras dan umbi. Metanol yang dihasilkan dari proses fermentasi biasanya berkadar rendah. Untuk mendapatkan metanol dengan kadar yang lebih tinggi diperlukan proses pemurnian melalui penyulingan atau distilasi. Untuk jenis metanol bagi keperluan industri dalam skala lebih besar dihasilkan dari fermentasi tetes, yaitu hasil samping dari industri gula tebu.

Sifat metanol antara lain bersifat asam lemah sampai-sampai bisa dianggap bukan sebagai asam. Selain itu metanol memiliki sifat mudah terbakar dan mempunyai energi pembakaran yang tinggi yaitu 419 kJ per mol O_2 , sedikit lebih besar dari energi yang dilepaskan oleh bahan bakar fosil (www.chem-is-try.org, 2003). Selain itu, metanol mempunyai massa molar 32,04 g/mol, densitas 0,7918 g/cm³ dalam fase liquid, *melting point* -97 °C (176 K), *boiling point* 64,7 °C (337,8 K), viskositas 0,59 mPa.s pada 20 °C dan titik nyala (*flash piont*) 11 °C.

2.3.3 Katalis Kalium Hidroksida (KOH)

Menambahkan katalis merupakan cara yang digunakan untuk mempercepat reaksi, dengan merangsang elektron yang mengikat atom-atom dalam molekul untuk meninggalkan molekul sehingga ikatan atom akan putus, molekul menjadi pecah dan bermuatan. Dengan katalis, reaksi yang umumnya secara konvensional membutuhkan energi aktivasi (panas) tinggi bisa dilakukan dengan panas yang rendah seperti halnya reaksi di dalam tubuh kita bisa berlangsung pada suhu yang sangat rendah akibat kerja katalis dalam bentuk enzim. Pada transesterifikasi, katalis mereaksikan antara minyak nabati (trigliserida) dengan metanol tanpa ikut bereaksi. Jadi sebelum dan sesudah reaksi, jumlah katalis tidak berubah.

Pada penelitian ini, katalis yang digunakan adalah katalis yang bersifat basa kuat yaitu kalium hidroksida (KOH) karena akan mempercepat reaksi transesterifikasi bila dibandingkan dengan katalis asam. Kalium merupakan senyawa kimia kuat yang mudah larut dalam air, berwarna putih, tidak berbau dan dapat memberikan rasa panas. Reaktif dengan asam dan korosif pada seng dan aluminium. Kalium hidroksida

memiliki massa molar 56,10564 g/mol, *melting point* 360 °C, *boiling point* 1320 °C dan densitas 2,004 g/cm³ pada fase solid.

2.4 Biodiesel

Transesterifikasi minyak nabati menghasilkan biodiesel. Biodiesel merupakan biofuel yang dapat menggantikan posisi solar sebagai bahan bakar diesel. Umumnya biodiesel terbuat dari minyak tumbuh-tumbuhan maupun lemak hewan. Namun tidak semua minyak tumbuhan dapat dikategorikan minyak diesel, minyak tumbuhan murni tidak masuk dalam kategori biodiesel. Menurut Chaurasia (2003), biodiesel didefinisikan sebagai mono alkil ester dari asam lemak rantai panjang yang berasal dari lemak yang dapat diperbaharui.

Biodiesel pada dasarnya diproduksi dari reaksi transesterifikasi minyak tumbuhan atau lemak hewani dengan alkohol dan dengan bantuan katalis untuk menghasilkan gliserol dan biodiesel (metil ester). Biodiesel memiliki beberapa keunggulan sebagai bahan bakar alternatif (Kementerian Negara Riset dan Teknologi, 2006), yaitu:

1. Angka *cetane* tinggi. Makin tinggi bilangan *cetane*, makin cepat pembakaran dan makin baik efisiensi termodinamisnya
2. Titik nyala tinggi, yakni suhu terendah yang dapat menyebabkan uap biodiesel menyala. Sehingga biodiesel lebih aman dari bahaya kebakaran pada saat disimpan maupun didistribusikan daripada solar.
3. Tidak mengandung sulfur dan benzena, serta dapat diuraikan secara alami.
4. Menambah pelumasan mesin yang lebih baik daripada solar sehingga memperpanjang umur pemakaian mesin.
5. Mudah dicampur dengan solar biasa dalam berbagai komposisi dan tidak memerlukan modifikasi mesin apapun.
6. Mengurangi secara signifikan asap hitam dari gas buang mesin diesel, walaupun penambahan biodiesel ke dalam solar hanya 5-10%.

2.5 Sifat Fisik Biodiesel

Sifat fisik biodiesel yang perlu diketahui untuk menilai kelayakan biodiesel sebagai substitusi solar antara lain massa jenis, viskositas, titik nyala, nilai kalor, titik tuang dan indeks setana.

2.5.1 Massa Jenis (*Density*)

Massa jenis adalah perbandingan jumlah massa yang dimiliki suatu zat dalam suatu volume tertentu. Dalam suatu volume yang sama setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Massa jenis menunjukkan kerapatan molekul suatu zat dalam suatu volume yang sama. Semakin rapat molekul suatu zat, maka zat tersebut memiliki massa jenis yang besar. Massa jenis mempunyai satuan kilogram per meter kubik (kg/m^3). Massa jenis diukur dengan suatu alat yang disebut *hydrometer*. Pengetahuan tentang massa jenis ini berguna untuk perhitungan kuantitatif dan pengkajian kualitas penyalaan. Massa jenis berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan volume bahan bakar.

2.5.2 Viskositas (*Viscosity*)

Viskositas (kekentalan) fluida adalah besaran yang menggambarkan sukarnya fluida tersebut mengalir, besarnya viskositas fluida dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Holman, 1985: 347}) \quad (2.1)$$

Keterangan: v = viskositas kinematik fluida (m^2/s)

μ = viskositas dinamik fluida ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$)

ρ = densitas fluida (kg/m^3)

Fluida yang kental sekali memiliki viskositas yang tinggi. Viskositas mempengaruhi kerja injektor pada mesin diesel, jika viskositas bahan bakar tinggi maka pompa penginjeksi bahan bakar di dalam mesin diesel tak mampu menghasilkan pengkabutan (*atomization*) yang baik. Viskositas juga menunjukkan

sifat pelumasan atau lubrikasi pada bahan bakar. Viskositas yang relatif tinggi mempunyai sifat pelumasan yang lebih baik. Tetapi pada umumnya, bahan bakar harus mempunyai viskositas yang relatif rendah agar dapat dengan mudah mengalir dan teratomisasi. 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. Hal inilah yang mendasari perlu dilakukannya proses transesterifikasi untuk menurunkan nilai viskositas minyak nabati sehingga mendekati viskositas solar. Pengukuran viskositas dilakukan dengan suatu alat yang disebut viskometer. Viskositas yang didapatkan dari pengukuran pada viskometer adalah viskositas kinematik.

2.5.3 Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala adalah temperatur terendah dimana bahan bakar dalam campurannya dengan udara dapat menyala. Titik nyala yang terlampau tinggi dapat menyebabkan keterlambatan penyalaan, sementara apabila titik nyala terlampau rendah akan menyebabkan timbulnya ledakan –ledakan yang terjadi sebelum bahan bakar masuk ruang bakar (detonasi). Titik nyala juga berkaitan dengan keamanan di dalam penyimpanan dan pendistribusian bahan bakar.

2.5.4 Nilai Kalor (*Heating Value*)

Nilai kalor adalah suatu sifat yang menunjukkan jumlah energi panas yang terkandung dalam suatu massa atau volume bahan bakar melalui proses pembakaran sempurna. Nilai kalor didapat dengan cara selisih antara energi yang dilepaskan untuk memutus ikatan kimia reaktan dan energi yang dilepas oleh pembentukan ikatan kimia di dalam produk. Nilai kalor dapat diukur dengan *bomb calorimeter*. Beberapa istilah yang sering digunakan berkaitan dengan nilai kalor:

1. Nilai kalor tertinggi (*Higher Heating Value/HHV*) adalah jumlah kalor yang dihasilkan oleh reaksi pembakaran jika semua air di dalam produk terkondensasi

menjadi cair. Besarnya HHV dapat dihitung dengan persamaan yang dikembangkan oleh DULONG – PETIT, yaitu:

$$\text{HHV} = 14544C + 62028(H-O/8) + 4050S \text{ Btu/Lb bahan bakar} \quad (\text{Wardana,2008:32}) \quad (2.2)$$

$$\text{HHV} = 8080C + 34460(H-O/8) + 2250S \text{ kkal/Kg bahan bakar} \quad (\text{Wardana,2008:32}) \quad (2.3)$$

$$\text{HHV} = 33950C + 144200(H-O/8) + 9400S \text{ kJ/Kg bahan bakar} \quad (\text{Wardana,2008:32}) \quad (2.4)$$

Keterangan: C = kandungan karbon dalam bahan bakar

H = kandungan hidrogen dalam bahan bakar

O = kandungan oksigen dalam bahan bakar

S = kandungan belerang dalam bahan bakar

2. Nilai kalor terendah (*Lower Heating Value/LHV*) adalah jumlah kalor pada kondisi dimana air dalam produk berbentuk uap (gas). Besarnya LHV dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{LHV} = \text{HHV} - x\text{LH} \quad (\text{Wardana,2008:32}) \quad (2.5)$$

Keterangan: x = massa H₂O yang terbentuk dalam proses pembakaran/satuan massa bahan bakar

LH = panas latent penguapan H₂O

= 1080 Btu/Lb H₂O

= 600 kkal/Kg H₂O

= 2400 kJ/Kg H₂O

2.5.5 Titik Tuang (*Pour Point*)

Titik tuang adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana minyak tersebut masih dapat mengalir apabila didinginkan pada kondisi tertentu karena gaya gravitasi. Titik tuang ini diperlukan sehubungan dengan adanya persyaratan praktis dari prosedur penimbunan dan pemakaian dari bahan bakar minyak, dikarenakan bahan bakar sering sulit dipompa apabila suhunya telah dibawah titik tuang. Titik tuang juga penting untuk keperluan pada saat penyimpanan.

2.5.6 Indeks Setana (*Cetane Index*)

Indeks setana adalah suatu parameter mutu penyalan pada bahan bakar mesin diesel selain angka setana. Mutu penyalan dapat diartikan sebagai waktu yang diperlukan bahan bakar untuk dapat menyala di ruang pembakaran dan diukur setelah penyalan terjadi. Indeks setana adalah nilai yang dapat ditentukan dengan cara perhitungan berdasarkan temperatur destilasi pada *recovery* 50% volume dan densitas minyak pada suhu 15°C. Besarnya indeks setana dapat dihitung dengan persamaan perhitungan indeks setana berikut ini:

$$CCI = 454,74 - 1641,416 D + 774,74 D^2 - 0,554 B + 97,803 (\log B)^2 \quad (\text{ASTM D976}) \quad (2.6)$$

Keterangan:

CCI = *Calculated Cetane Index* (perhitungan indeks setana)

D = Densitas pada 15°C (kg/m³), berdasarkan metode uji D 1298 or D 4052

B = Temperatur destilasi pada *recovery* 50% volume (°C), berdasarkan metode uji D 86

2.6 Hipotesis

Dengan bertambahnya waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dan adanya variasi persentase metanol akan mempengaruhi tumbukan molekul-molekul minyak biji alpukat dan metanol yang menyebabkan pemutusan ikatan-ikatan molekul minyak biji alpukat menjadi metil ester tidak selalu berlangsung sempurna, sehingga dapat menyebabkan perubahan sifat fisik biodiesel yang meliputi massa jenis, viskositas, nilai kalor, titik nyala, titik tuang dan indeks setana.