

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Produksi minyak terus menurun sementara permintaan BBM terus tumbuh yang menyebabkan peningkatan impor minyak mentah dan produk olahan. Pada tahun 2013 pangsa terbesar penggunaan energi adalah sektor industri (45%) diikuti oleh transportasi (36%), rumah tangga (11,5%), komersial (2,2%), dan lainnya (1,6%). Selama kurun waktu 2000–2014, melambatnya pertumbuhan sektor dominan, seperti sektor industri, dari 6,8% tahun 2011 menjadi 5,6% tahun 2014, dan sektor komersial dengan pertumbuhan 7,5% di tahun 2011 menjadi hanya 5,4% di tahun 2014 (BPPT, 2016).

Sektor transportasi merupakan sektor pengguna energi terbesar kedua setelah sektor industri. Saat ini hampir seluruh konsumsi energi di sektor transportasi berupa BBM dan sekitar 89% konsumsi BBM di sektor transportasi merupakan konsumsi sub sektor transportasi darat. Tingginya pertumbuhan konsumsi energi sektor transportasi disebabkan pesatnya pertumbuhan kendaraan bermotor sebesar 13,99% per tahun dalam kurun waktu 2000 – 2014 yang didominasi oleh kendaraan pribadi dan transportasi komersial bus dan truk (BPPT, 2016).

BBM terbesar yang digunakan di sektor transportasi adalah jenis *gasoline*, termasuk di dalamnya BBM subsidi dan non subsidi. Konsumsi *gasoline* di sektor transportasi mengalami peningkatan 11,93% dari 23,1 juta kl menjadi 25,94 juta kl dibandingkan tahun 2010. Pemanfaatan biofuel juga menunjukkan trend yang positif, meskipun sejak tahun 2009 pemanfaatan biofuel hanya terjadi pada jenis biodiesel. Hingga akhir tahun 2011, realisasi volume BBM bersubsidi 2011 mencapai 41,78 juta kl, terdiri dari : premium 25,5 juta kl, 1,7 juta kl untuk minyak tanah, dan 14,5 juta kl untuk solar. Seiring dengan semakin meningkatnya konsumsi BBM dalam negeri yang tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas kilang minyak dalam negerimenyebabkan impor BBM Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya (Kementrian ESDM, 2012).

Minyak nabati memiliki nilai kalor yang hampir sama dengan bahan bakar konvensional, namun penggunaan secara langsung sebagai bahan bakar masih menemui kendala. Minyak nabati memiliki viskositas dan titik pijar (*flash point*) jauh lebih besar dari minyak diesel, hal ini menghambat proses injeksi dan mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna. Penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar juga meninggalkan residu karbon pada injektor mesin (Sumangat dan Hidayat, 2008).

Unsur pokok dari minyak nabati adalah trigliserida. Minyak nabati terdiri dari 90 - 98% trigliserida dan sejumlah kecil mono dan digliserida. Trigliserida adalah ester dari tiga asam lemak dan satu gliserol. Ini mengandung sejumlah besar oksigen pada strukturnya. Asam lemak berbeda-beda dalam hal panjang rantai karbonnya, dan dalam jumlah ikatan gandanya. Pada asam lemak pada umumnya ditemukan asam stearat, asam palmitat, asam oleat, asam linoleat, dan asam linolenat. Minyak nabati mengandung asam lemak bebas (umumnya 1 sampai 5%), fosfolipid, fosfat, karoten, tokoferol, komponen sulfur dan sedikit air (Widyastuti, 2007). Adapun sifat fisik dari minyak jarak pagar adalah seperti tertera pada table berikut ini :

**Tabel 2.1** Sifat Fisik Minyak Jarak (Hambali dkk, 2007)

| No | Karakteristik          | Satuan             | Nilai  |
|----|------------------------|--------------------|--------|
| 1  | Titik nyala            | °C                 | 236    |
| 2  | Berat jenis pada 20 °C | g/cm <sup>3</sup>  | 0,9177 |
| 3  | Viskositas pada 30 °C  | Mm <sup>2/s</sup>  | 49,15  |
| 4  | Residu karbon          | %(m/m)             | 0,34   |
| 5  | Kadar abu sulfat       | %(m/m)             | 0,007  |
| 6  | Titik tuang            | °C                 | -2,5   |
| 7  | Kandungan air          | Ppm                | 935    |
| 8  | Kandungan sulfur       | Ppm                | <1     |
| 9  | Bilangan asam          | Mg KOH/g           | 4,75   |
| 10 | Bilangan iod           | G iod/100 g minyak | 96,5   |

Penggunaan minyak nabati seperti minyak sawit, minyak kedelai, minyak bunga matahari, minyak kacang tanah, dan minyak zaitun sebagai bahan bakar alternatif bagi mesin diesel telah dimulai sejak 9 dekade yang lalu. Seiring dengan berkurangnya cadangan minyak mentah secara drastis, penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar diesel sekali lagi diajukan di banyak negara (Widyastuti, 2007).

Minyak jarak pagar merupakan cairan bening, berwarna kuning, berbau khas, tidak berasa dan tidak keruh meskipun disimpan dalam jangka waktu lama. Untuk mendapatkan minyak dari bijinya bisa dilakukan proses ekstraksi dengan mesin pengepres atau menggunakan pelarut karena kandungan minyaknya yang tinggi, sehingga daging biji jarak pagar mudah diekstraksi (Pradhan dkk, 2011).

Asam lemak yang paling banyak terkandung dalam minyak biji jarak pagar adalah asam oleat, asam linoleat, asam palmitat, dan asam stearat (Akbar dkk, 2009). Komposisi asam lemak penyusun trigliserida dari minyak jarak pagar dapat dilihat pada tabel 2.2

**Tabel 2.2** Komposisi Asam Lemak dari Minyak Jarak Pagar (Gubitz dkk, 1999)

| Asam Lemak  | Formula           | Struktur | Wt %        |
|-------------|-------------------|----------|-------------|
| Miristat    | $C_{14}H_{28}O_2$ | 14 : 0   | 0 – 0,1     |
| Palmitat    | $C_{16}H_{32}O_2$ | 16 : 0   | 14,1 – 15,3 |
| Palmitoleat | $C_{16}H_{30}O_2$ | 16 : 0   | 0 – 1,3     |
| Stearat     | $C_{18}H_{36}O_2$ | 18 : 0   | 3,7 – 9,8   |
| Oleat       | $C_{18}H_{34}O_2$ | 18 : 1   | 34,3 – 45,8 |
| Linoleat    | $C_{18}H_{32}O_2$ | 18 : 2   | 29 – 44,2   |
| Linolenat   | $C_{18}H_{30}O_2$ | 18 : 3   | 0 – 0,3     |
| Arhidat     | $C_{20}H_{40}O_2$ | 20 : 0   | 0 – 0,3     |
| Behenat     | $C_{22}H_{44}O_2$ | 22 : 0   | 0 – 0,2     |

Komposisi asam lemak dari minyak kedelai sangat berubah dan endapan minyak biji dalam triacylglycerols palmitat dan linolenat cenderung menurun dengan kematangan, sedangkan linoleat meningkat. Oleat cenderung meningkat ke maksimum dan kemudian menurun sedikit. Kedelai dipilih untuk komposisi asam lemak atipikal untuk menunjukkan pola yang sangat berbeda (G. Ishikawa, 2010).

**Tabel 2.3** Komposisi Kimia Minyak Kedelai (Bailey,A.E 1950 sumber ketaren,1986)

| No | Komponen                     | Jumlah (%)                  |
|----|------------------------------|-----------------------------|
| 1  | Asam Lemak tidak jenuh (85%) | Terdiri dari :              |
|    | Asam Linoleat                | 15 - 64 %                   |
|    | Asama Oleat                  | 11 – 60 %                   |
|    | Asam Linolenat               | 1 – 12 %                    |
|    | Asam Arachidonat             | 1,5 %                       |
| 2  | Asam Lemak jenuh (15%)       | Terdiri dari :              |
|    | Asam Palmitat                | 7 – 10 %                    |
|    | Asam Stcarat                 | 2 – 5 %                     |
|    | Asam Arschidat               | 0,2 – 1 %                   |
|    | Asam laurat                  | 0 – 0,1 %                   |
| 3  | Fosfolipida                  | jumlah sangat kecil (trace) |
| 4  | Lecithin                     | jumlah sangat kecil (trace) |
| 5  | Cephalin                     | jumlah sangat kecil (trace) |
| 6  | Lipositol                    | jumlah sangat kecil (trace) |

Adapun penelitian pembuatan biodiesel yang mempengaruhi suhu terhadap kualitas biodiesel dapat dilakukan dalam skala kecil tanpa memerlukan peralatan yang sangat canggih. Suhu optimum dalam pembuatan biodiesel dan menghasilkan hasil biodiesel yang optimal adalah suhu 50 °C dengan viskositas 5,923 cSt, densitas 864.648 kg/m<sup>3</sup>, *flash point* >110 °C, dan rendemen biodiesel paling banyak 76% yang memenuhi Standar SNI.

Lama pengendapan atau *settling* biodiesel sangat tidak berpengaruh terhadap kualitas biodiesel, namun semakin lama semakin bagus untuk pemisahan antara biodiesel dan gliserol. Proses *bleaching* (pemucatan) yang telah dikenal secara luas terdapat beberapa macam, antara lain pemucatan seperti karbon aktif. Sangat mempengaruhi viskositas dan densitas sebuah biodiesel (Andersen, 2006). Berikut hasil analisa pengaruh suhu dan lama pengendapan dapat dilihat pada tabel 2.4 dan tabel 2.5

**Tabel 2.4** Analisa Pengaruh Suhu (Wahyuni, 2015)

| Suhu proses                                    | 40°C    | 50°C    | 60°C    | 70°C    | 80°C    | SNI       |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| $\rho$ (densitas)<br>kg/m <sup>3</sup> (40 °C) | 869,418 | 864,648 | 864,590 | 964,707 | 865,792 | 850 - 890 |
| V (viskositas kinematik) (cSt) (40 °C)         | 5,998   | 5,923   | 5,913   | 5,909   | 6,130   | 2,3 – 6   |
| Titik nyala (40 °C)                            | >110    | >110    | >110    | >110    | >110    | >110      |
| Rendemen (%)                                   | 46      | 76      | 74      | 72,5    | 52,5    |           |

**Tabel 2.5** Analisa Lama Pengendapan (Wahyuni, 2015)

| Lama waktu pengendapan                        | 48 jam  | 96 jam  | 144 jam | 192 jam | 240 jam | SNI       |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| $\rho$ (densitas)<br>kg/m <sup>3</sup> (40°C) | 861,049 | 862,189 | 861,979 | 861,406 | 862,654 | 850 - 890 |
| V (viskositas kinematik) (cSt) (40°C)         | 5,797   | 5,872   | 5,804   | 5,763   | 5,832   | 2,3 – 6   |
| Titik nyala (40°C)                            | >110    | >110    | >110    | >110    | >110    | >110      |
| Rendemen (%)                                  | 76      | 75      | 76,25   | 74,75   | 77      |           |

Adapun penelitian tentang pembuatan biodiesel minyak kedelai (*Soybean Oil*) menggunakan berbagai jenis alkohol dilakukan pada rasio volumetik 1:6 minyak hingga metanol, minyak untuk etanol dan minyak ke 1-butanol menggunakan katalis KOH. Reaksi transesterifikasi berlangsung menggunakan metanol dan etanol dan butanol pada rasio volumetik minyak yang berbeda metanol, mulai dari 4:1, 3:1, 1:3, 1:4 dan 1:6 pada 40 °C dan 320 rpm. Waktu reaksi dipertahankan 3 jam terus-menerus untuk semua eksperimen. Dua jenis katalis, NaOH dan KOH telah digunakan untuk terjadi reaksi transesterifikasi pada 1,0% (b / v) konsentrasi memiliki rasio volumetik 1:6 minyak ke metanol. KOH telah digunakan pada konsentrasi 0,5, 1, 1,5, dan 2,0% (b / v) minyak memiliki rasio volumetik 1:6 dari

minyak ke metanol. Biodiesel dipisahkan dari gliserol menggunakan corong pisah dan akhirnya dicuci dengan 5% air diikuti oleh magnesium sulfat untuk mengeluarkan air. Jenis dan konsentrasi katalis, rasio metanol terhadap minyak dan suhu reaksi transesterifikasi perbedaannya signifikan dalam biodiesel yang diproduksi (Ma & Hanna, 1999).

Adapun penelitian tentang Minyak jarak dengan menggunakan alat microwave. Hasil analisis yang didapat pada reaksi transesterifikasi menggunakan *microwave* mencapai kondisi optimum pada rasio 1:6 dan menghasilkan *yield* sebesar 92,67% dengan total waktu 10 menit. Viskositas biodiesel yang dihasilkan sebesar 16,11 mm<sup>2</sup>/s dan Densitas biodiesel yang dihasilkan sebesar 0,94 g/ml otomatis biodiesel yang dihasilkan belum memenuhi standart SNI dan masih perlu evaluasi lebih lanjut pada penelitian selanjutnya (Dewi, 2015).

Berdasarkan penelitian karakteristik biodiesel jarak pagar pada suhu rendah melalui kombinasi campuran dengan berbagai jenis minyak nabati maka didapatkan karakteristik biodiesel hasil campuran masih memiliki kekurangan dibandingkan dengan solar khususnya pada nilai titik awannya. sedangkan untuk nilai parameter kualitas lainnya seperti viskositas dan densitas masih berada dalam batas aman ASTM dan SNI (Indrayanti, 2009).

Pada minyak jarak terdapat pada viskositas yang tinggi dikaitkan dengan massa molar sebesar 600 – 900 g/mol. (Misra dan Murthy, 2011) melakukan penelitian minyak jarak dengan memiliki massa molar sebesar 887,7 g/mol dengan massa molar yang tinggi, maka minyak nabati memiliki nilai penguapan yang rendah (Ramadhas dkk, 2004)

Meneliti tentang karakteristik minyak nabati yang dicampur dengan alkohol gugus tinggi. Minyak nabati yang digunakan adalah rapeseed dan alkohol gugus tinggi yang dipakai adalah 1-propanol, 2-propanol, isobutanol, 1-butanol, dan 2-butanol. Prosentase alkohol yang diuji adalah sebesar 5, 10, 20% dan dibandingkan dengan rapeseed murni. Pengujian karakteristik yang dilakukan adalah pengukuran densitas, viskositas, aliran dingin (cold flow), stabilitas oksidasi, kurva penguapan, titik nyala (flash point), nilai kalor dan angka cetane. Densitas yang didapat dari campuran rapeseed-alkohol berkisar antara 914 - 890 kg/m<sup>3</sup>. Hal ini menunjukkan

bahwa campuran rapeseed-alkohol masih belum layak digunakan secara langsung di mesin diesel karena solar memiliki densitas  $840 \text{ kg/m}^3$ . Viskositas dari campuran akan menurun apabila kadar alkohol meningkat. Selain itu, pemanasan adalah cara yang efektif untuk menurunkan viskositas. Pemanasan yang terjadi pada rapeseed menyebabkan partikel lemak menjadi melebur sehingga viskositas menjadi turun. Stabilitas oksidasi pada campuran alkohol tidak dapat diukur, hal ini terjadi karena stabilitas oksidasi dipengaruhi oleh susunan asam lemak. Disamping itu, metode ini menggunakan suhu  $80^\circ \text{C}$  dimana suhu ini melewati suhu penguapan dari alkohol. Flash point alkohol menjadi turun apabila prosentase alkohol meningkat. Nilai kalor menurun apabila prosentase alkohol meningkat (Laza dan Berecky, 2011).

Penelitian terhadap pencampuran biodiesel yakni perbandingan dengan pencampuran 80% minyak jarak dengan 20% minyak biji karet mampu menurunkan viskositas biodiesel jarak menjadi 5,92 cSt serta meningkatkan bilangan setana biodiesel biji karet menjadi 54, dan pada pencampuran sebesar 80% biodiesel minyak jarak dan 20% biodiesel biji karet mampu menurunkan viskositas menjadi 5,75 cSt sehingga memenuhi SNI atau *ASTM* (Tazora, 2011).

Dari data terlihat nilai viskositas biodiesel kedelai lebih rendah dibanding biodiesel jarak oleh sebab itu, penelitian yang berjudul pengaruh komposisi campuran terhadap sifat biodiesel dengan bahan baku campuran minyak jarak dan minyak kedelai ingin mengetahui perbedaannya

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Biodiesel**

Biodiesel adalah bioenergi atau bahan bakar nabati yang dibuat dari minyak nabati, baik minyak baru maupun bekas penggorengan melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, atau proses esterifikasi-transesterifikasi. Biodiesel digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti BBM untuk motor diesel. Biodiesel dapat diaplikasikan baik dalam bentuk 100% (B100) atau campuran dengan minyak solar pada tingkat konsentrasi tertentu (Hambali dkk., 2007). Bahan bakar minyak ini merupakan hasil proses esterifikasi dan transesterifikasi. Biodiesel termasuk golongan mono-alkil ester atau metil ester yang memiliki panjang rantai

karbon antara 12 sampai 20 terkandung oksigen. Hal tersebut membedakan antara biodiesel dengan petroleum diesel, karena petroleum diesel mengandung hidrokarbon tanpa oksigen (Sinaga, 2013).

Keuntungan dari kegunaan biodiesel itu sendiri meliputi; Campuran dari 20% biodiesel dengan 80% petroleum diesel dapat digunakan pada mesin diesel tanpa modifikasi, Industri biodiesel dapat menggunakan lemak atau minyak daur ulang, Biodiesel tidak beracun, Biodiesel memiliki cetane number yang tinggi, yaitu di atas 100 sedangkan cetane number bahan bakar diesel hanya 40, Penggunaan biodiesel dapat memperpanjang umur mesin diesel karena biodiesel lebih licin, dan Biodiesel menggantikan bau petroleum dengan bau yang lebih enak (Mardiah dkk, 2006). Perbandingan emisi antara minyak diesel dan petrodiesel dapat dilihat pada Tabel 2.6.

**Tabel 2.6** Perbandingan Emisi Antara Biodiesel dan Petrodiesel (Sitorus, 2004)

| Nama Senyawa    | Satuan             | Biodiesel | Petrodiesel |
|-----------------|--------------------|-----------|-------------|
| SO <sub>2</sub> | Ppm                | 0         | 78          |
| CO              | Ppm                | 10        | 40          |
| NO              | Ppm                | 37        | 64          |
| NO <sub>2</sub> | Ppm                | 1         | 1           |
| Benzene         | µg/Nm <sup>3</sup> | 0,3       | 5,01        |
| Toluena         | µg/Nm <sup>3</sup> | 0,57      | 2,31        |
| Xylene          | µg/Nm <sup>3</sup> | 0,73      | 1,57        |
| Etil Benzena    | µg/Nm <sup>3</sup> | 0,3       | 1,73        |

Biodiesel memiliki keunggulan sebagai bahan bakar minyak alternatif untuk menutupi kekurangan kebutuhan bahan bakar fosil yang semakin meningkat namun ketersediaannya semakin berkurang. Kelebihan biodiesel dibandingkan bahan bakar petroleum yaitu, bahan bakar yang tidak beracun dan dapat dibiodegradasi, memiliki setana yang tinggi, dapat mengurangi emisi karbon monoksida, hidrokarbon dan NO<sub>x</sub>, dan terdapat dalam fase cair. Bahan bakar diesel sendiri relatif mudah terbakar (tanpa harus dipicu dengan letikan api busi) apabila disemprotkan ke dalam udara panas yang memiliki tekanan (Haryanto, 2002).

### 2.2.2 Minyak Jarak

Tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas L.*) merupakan tanaman penghasil minyak. Bagian dari tanaman jarak pagar yang dapat digunakan untuk menghasilkan biodiesel sebagai sumber bahan bakar minyak pengganti solar (*diesel oil*) adalah bijinya, yang kemudian diolah menjadi minyak melalui proses reaksi kimia (metanolisis/etanolisis) untuk menghasilkan biodiesel. Dalam aplikasinya, minyak jarak pagar dapat menggantikan minyak diesel untuk menggerakkan generator pembangkit listrik (Pranowo dkk, 2006).

Minyak jarak pagar mempunyai warna kuning terang dan mempunyai bilangan iodin yang tinggi (sekitar 105,2 mg iodin/g), yang menunjukkan tingginya hidrokarbon tak jenuh. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil uji komposisi asam lemak minyak jarak pagar. Jenis asam lemak minyak jarak pagar mirip dengan jenis minyak lainnya, namun kandungan asam oleat dan linoleatnya berkisar 80%. Struktur dan komposisi kimianya menyebabkan minyak jarak pagar lebih disukai sebagai pengganti CPO pada aplikasi non pangan (Widyastuti, 2007) adapun sifat fisik minyak jarak pagar dapat dilihat table 2.7

**Tabel 2.7** Sifat Biodiesel Minyak Jarak Pagar (Budiman dkk, 2014)

| No | Karakteristik                | Satuan            | Nilai  |
|----|------------------------------|-------------------|--------|
| 1  | Viskositas kinematik (40 °C) | cSt               | 240,12 |
| 2  | Densitas (15 °C)             | mg/m <sup>3</sup> | 967,3  |
| 3  | Air                          | mg/kg             | 1.830  |
| 4  | Abu                          | m/m               | 0,02   |
| 5  | Sulfur                       | mg/kg             | 0,04   |
| 6  | Titik nyala                  | °C                | 260    |
| 7  | <i>Cloud point</i>           | °C                | 1      |
| 8  | <i>Pour point</i>            | °C                | 14     |
| 9  | Angka setana                 | -                 | 42     |
| 10 | Angka asam                   | mg KOH/g          | 0,7    |
| 11 | Angka saponifikasi           | Mg KOH/g          | 181,4  |
| 12 | Angka Iodium                 | cg I/g minyak     | 84,4   |

### 2.2.3 Minyak Kedelai

Minyak Kedelai diklasifikasikan sebagai Famili Leguminose, Sub Famili Papilionidae, dan Genus Glycine. Varietas yang ada di Indonesia adalah Dapros, Orba, dan T.k.5. Kandungan minyak dan komposisi asam lemak dipengaruhi oleh varietas dan iklim. Lemak kasar dari minyak kedelai terdiri dari trigliserida 90 - 95%, fosfatida 2% (lesitin dan sepalin), dan sisanya merupakan asam lemak 7 bebas, sterol, serta tokoferol. Hampir 90% minyak kedelai yang digunakan untuk pangan berada dalam bentuk terhidrogenasi, karena minyak kedelai mengandung lebih kurang 85% asam lemak tidak jenuh (Ketaren, 1986). Kandungan sifat fisik kedelai dapat dilihat pada tabel 2.8.

**Tabel 2.8** Sifat Fisik Biodiesel Minyak Kedelai

| Characteristic                        | Values   |
|---------------------------------------|--|
| Density 20 °C                         | 0,9165 to 0,9261 g/mL , Decreases 0,000643 to 0,000668 g/mL °C |
| Specific Heat Capacity 20 °C          | 0,448 cal/g °C Increases 0.000616 cal/g °C                     |
| Melting Point                         | 0.6 °C   |
| Cloud Point                           | -9 °C  |
| Pour Point                            | -12 to - 16 °C   |
| Heat of Combustion                    | 9450-9388 cal/g  |
| Heat Transfer Coefficient             | 269,7 watts/K M <sup>2</sup> at 180 °C                         |
| Surface Tension 30 °C                 | 27,6 dyne/cm Decreases 0,077 dyne/cm °C                        |
| Viscosity 20 °C                       | 58,5–62,2 cP   |
| Refractive Index n <sub>D</sub> 20 °C | 1,4733–1,4760  |
| Vapor Pressure                        | 1 at 254 °C  |
| Heat of Vaporization                  | 44,200 cal/mol   |
| Electrical Resistivity 24 °C          | -  |
| Dry                                   | 23.7 Tohm°cm   |
| Water Saturated                       | 7.25 Tohm°cm   |
| Smoke Point                           | ~245 °C  |
| Flash Point                           | ~324 °C  |
| Fire Point                            | ~360 °C  |

Telah melakukan penelitian untuk mengukur viskositas pada suhu 20 °C dari 77 minyak kedelai dari empat letak geografis yang berbeda, dan kisaran variasi adalah 58,5–62,2 cP (F. G. Sietz, 1965). Viskositas menurun dengan suhu dan hubungannya tidak linier. Kinematis nilai-nilai (viskositas atau kerapatan) telah didapat pada suhu 20 °C dan 80 °C (Chioffi, 1961).

#### **2.2.4 Spesifikasi Biodiesel**

Biodiesel pada dasarnya harus memenuhi standar SNI biodiesel, ini bertujuan untuk menjamin bahwa spesifikasi biodiesel yang akan digunakan tersebut layak uji emisi baik tingkat keamanan maupun kegunaannya. Badan Standarisasi Nasional (BSN) telah membuat syarat uji emisi biodiesel di Indonesia melalui Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu SNI 7182-2015 seperti terlihat pada Tabel 2.9, selain itu Amerika juga membuat standar mutu biodiesel yang tidak berbeda jauh dengan Standar Nasional Indonesia. Melalui *American Standard Testing and Material* (ASTM) yakni ASTM D 6751 yang akan terlihat pada tabel 2.10.

**Tabel 2.9** Syarat Mutu Biodiesel SNI 7182-2015 (BSN,2015)

| No | Parameter Uji   | Satuan<br>Min/Maks                            | Persyaratan |
|----|---|---|-------------|
| 1  | Massa jenis pada  | 40 °C kg/m <sup>3</sup>                       | 850 – 890   |
| 2  | Viskositas kinematik pada<br>40 °C  | mm <sup>2</sup> /s (cSt)                      | 2,3 – 6,0   |
| 3  | Angka setana  | Min   | 51          |
| 4  | Titik nyala (mangkok<br>tertutup)   | °C, min                                       | 100         |
| 5  | Titik kabut   | °C, maks                                      | 18          |
| 6  | Korosi lempeng tembaga (3<br>jam pada 50 °C)  |   | nomor 1     |
| 7  | Residu karbon<br>dalam percontohan asli;<br>atau dalam 10% ampas  | % massa maks                                  | 0,05<br>0,3 |
| 8  | Air dan sedimen   | %-volume, maks                                | 0,05        |
| 9  | temperatur destilasi 90%  | °C, maks                                      | 360         |
| 10 | Abu tersulfatkan  | %-massa, maks                                 | 0,02        |
| 11 | Belerang  | mg/kg, maks                                   | 50          |
| 12 | Fosfor  | mg/kg, maks                                   | 4           |
| 13 | Angka asam  | mg-KOH/g,<br>maks                             | 0,5         |
| 14 | Gliserol bebas  | %-massa, maks                                 | 0,02        |
| 15 | Gliserol total  | %-massa, maks                                 | 0,24        |
| 16 | Kadar ester metil   | %-massa, min                                  | 96,5        |
| 17 | Angka iodium  | %-massa<br>(g-I <sub>2</sub> /100 g),<br>maks | 115         |
| 18 | kestabilan oksidasi<br>periode induksi<br>metode rancimat<br>atau<br>periode induksi<br>metode petro oksidasi | menit   | 480<br>36   |
| 19 | Monogliserida   | %-massa, maks                                 | 0,8         |

**Tabel 2.10 Biodiesel Standard ASTM D 6751 (Burton, 2008)**

| <i>Property</i>                          | <i>Test method</i>   | <i>Limits</i>             | <i>Unit</i>               |
|--|--|---------------------------|---------------------------|
| <i>Calcium &amp; Magnesium</i>           | <i>EN 14538</i>  | <i>5 max ppm</i>          | <i>(ug/g)</i>             |
| <i>Flash point (closed cup)</i>          | <i>D 93</i>  | <i>93.0 min</i>           | <i>°C</i>                 |
| <i>Water and sediment</i>                | <i>D 2709</i>  | <i>0.050 max</i>          | <i>% volum</i>            |
| <i>Kinematic viscosity, 40 °C</i>        | <i>D 445</i>   | <i>1.9-6.0</i>            | <i>mm<sup>2</sup> / s</i> |
| <i>Sulfated ash</i>                      | <i>D 874</i>   | <i>0.020 max</i>          | <i>% mass</i>             |
| <i>Sulfur</i>                            | <i>D5453</i>   | <i>0.05 or 0.0015 max</i> | <i>% mass</i>             |
| <i>Copper strip corrosion</i>            | <i>D 1 30</i>  | <i>No. 3 max</i>          |                           |
| <i>Cetane number</i>                     | <i>D 61 3</i>  | <i>47 min</i>             |                           |
| <i>Cloud point</i>                       | <i>D 2500</i>  | <i>Report</i>             | <i>°C</i>                 |
| <i>Carbon residue</i>                    | <i>D 4530</i>  | <i>0.050 max</i>          | <i>% mass</i>             |
| <i>Acid number</i>                       | <i>D 664</i>   | <i>0.50 max</i>           | <i>mg KOH / g</i>         |
| <i>Free glycerin</i>                     | <i>D 6584</i>  | <i>0.020</i>              | <i>% mass</i>             |
| <i>Total glycerin</i>                    | <i>D 6584</i>  | <i>0.240</i>              | <i>% mass</i>             |
| <i>Phosphorus content</i>                | <i>D 4951</i>  | <i>0.001 max</i>          | <i>% mass</i>             |
| <i>Distillation temperature, T90 AET</i> | <i>D 1 1 60</i>  | <i>360 max</i>            | <i>°C</i>                 |
| <i>Sodium/Potassium, combined</i>        | <i>EN 14538</i>  | <i>5 max, combined</i>    | <i>Ppm</i>                |
| <i>Oxidation Stability</i>               | <i>EN 14112</i>  | <i>3 min</i>              | <i>hours</i>              |
| <i>Workmanship</i>                       | <i>Free of undissolved water, sediment, &amp; suspended matter</i> |                           |                           |

#### 2.2.4.1 Viskositas

Viskositas adalah tahanan suatu zat cair untuk mengalir akibat gaya gravitasi. Suatu mesin memerlukan bahan bakar dengan viskositas tertentu. Hal tersebut penting untuk kemampuan alir pada saluran bahan bakar. Nilai viskositas juga mempengaruhi sifat pelumasan terhadap pompa injeksi dan komponen mesin lainnya yang bergesekan dengan pompa injeksi bahan bakar (ASTM, 2004).

#### 2.2.4.2 Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala adalah suhu terendah dikoreksi pada tekanan barometer 760 mmHg dimana uap diatas permukaan sampel dapat menyala bila dilakukan penyalaan dengan kondisi uji yang ditentukan. Suhu titik nyala menunjukkan bahan yang mudah menguap dan muda terbakar. Dalam proses penyimpanan dan penanganan suatu bahan bakar, penting untuk diperhatikan suhu titik nyalanya (ASTM, 2004).

#### 2.2.4.3 Densitas (Massa Jenis)

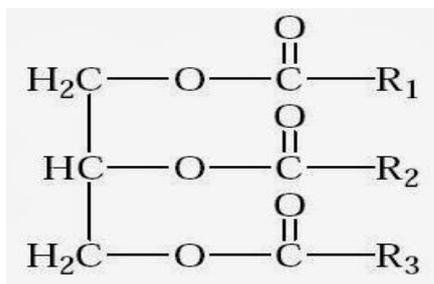
Densitas merupakan perbandingan massa dengan volume tertentu dari suatu fluida pada temperatur tertentu. Densitas minyak adalah massa minyak per satuan volum pada suhu tertentu. Berat jenis (*specific gravity*) minyak adalah perbandingan antara rapat minyak pada suhu tertentu rapat air pada suhu tertentu (A. Hardjono, 2001).

#### 2.2.4.4 Nilai Kalor

Nilai kalor adalah suatu angka yang menyatakan jumlah panas atau kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar dengan udara atau oksigen. Nilai kalor berbanding terbalik dengan berat jenis (*density*). Pada volume yang sama, semakin besar berat jenis suatu minyak, maka akan semakin kecil nilai kalornya, demikian juga sebaliknya semakin rendah berat jenis suatu minyak, semakin tinggi pula nilai kalornya (Kholidah, 2014).

#### 2.2.5 Trigliserida

Trigliserida atau triasilgliserol secara alami terdapat pada hewan dan tumbuhan, dan merupakan komponen utama dari minyak dan lemak alami. Rumus kimia trigliserida adalah  $\text{CH}_2\text{COOR}-\text{CHCOOR}'-\text{CH}_2-\text{COOR}''$ , dimana R, R' dan R'' masing-masing adalah sebuah rantai alkil yang panjang. Ketiga asam lemak RCOOH, R'COOH dan R''COOH bisa jadi semuanya sama, semuanya berbeda ataupun diantaranya yang sama.



**Gambar 2.1** Struktur Trigliserida

$R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  adalah rantai alkil. Setiap asam lemak yang tidak terikat pada suatu molekul trigliserida dalam lemak atau minyak disebut dengan asam lemak bebas.

### 2.2.6 Esterifikasi

Proses esterifikasi berbeda dengan reaksi transesterifikasi antara trigliserida (TG) dan metanol. Walaupun keduanya menghasilkan ester akan tetapi, reaksi ini berjalan secara berantai untuk memotong ketiga gugus karboksil pada rantai TG. Masing-masing tahapnya hanya menghasilkan satu mol FFA dan parsial gliserida (digliserida dan monogliserida) (Ma *dkk.*, 1999). Reaksi esterifikasi dari asam lemak menjadi metil ester adalah :

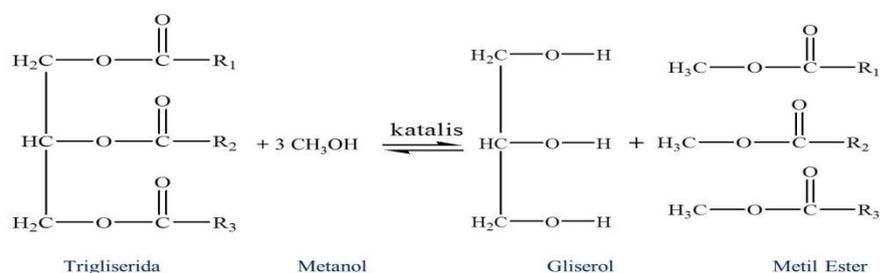


Masalah yang timbul pada proses pengolahan minyak jarak pagar (CJCO) dengan kandungan *free fatty acid* (FFA) yang tinggi adalah FFA tidak dapat terkonversi menjadi metil ester asam lemak (FAME) dengan katalis basa karena pembentukan garam asam lemak (sabun). Adanya sabun dapat mencegah pemisahan antara lapisan metil ester dan gliserol. Untuk mengatasi masalah ini, metode alternatif yang digunakan adalah dengan menggunakan katalis asam yang dapat mengubah FFA menjadi metil ester. Ketika reaksi esterifikasi berhenti akan menghasilkan produk samping yaitu terbentuknya air (Canakci *and* Van Greppen, 1999). Oleh karena itu dilakukan dua langkah proses dalam mengkonversi CJCO menjadi metil ester yaitu proses esterifikasi dengan katalis asam dan transesterifikasi dengan katalis basa.

Tujuan dari tahap esterifikasi adalah untuk mengurangi jumlah *free fatty acid* (FFA) atau bilangan asam dari minyak jarak pagar (CJCO). Faktor yang penting yang mempengaruhi bilangan asam pada proses transesterifikasi adalah perbandingan molar rasio alkohol dengan minyak, perbandingan molar rasio katalis asam dan minyak, suhu reaksi, dan waktu reaksi. Untuk mendapatkan konversi FFA menjadi metil ester yang maksimal pada beberapa minyak nabati dapat dilakukan dengan suhu reaksi 50 °C, waktu reaksi 1 jam, dan perbandingan molar rasio katalis asam (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dengan minyak adalah 1 % w/w (Ghadge *and* Raheman, 2005).

### 2.2.7 Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi dikenal juga dengan sebutan reaksi alkoholis. Hal ini disebabkan pada transesterifikasi direaksikan suatu ester, dalam hal ini trigliserida dalam minyak jarak, dengan alkohol membentuk alkil ester. Alkohol yang biasanya digunakan dalam reaksi transesterifikasi adalah metanol. Secara umum, reaksi transesterifikasi dengan methanol adalah sebagai berikut:



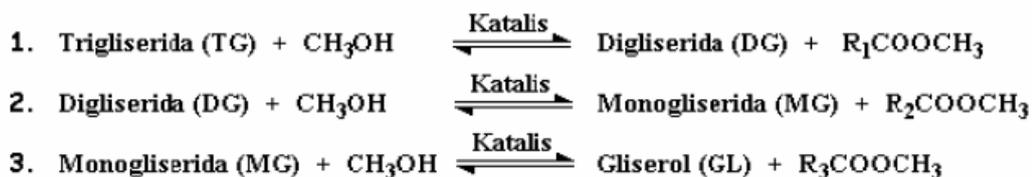
**Gambar 2.2** Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester dan gliserol

Tujuan dari reaksi transesterifikasi minyak dalam pembuatan biodiesel adalah menghilangkan secara seutuhnya kandungan trigliserida, menurunkan titik didid, titik nyala, titik beku dan juga viskositas minyak yang direaksikan. Hal ini dilakukan agar metil ester yang dihasilkan dapat digunakan sebagai biodiesel pada mesin diesel tanpa merubah atau merusak mesin diesel.

Transesterifikasi berkatalis basa umumnya digunaka pada proses produksi biodiesel secara komersial. Metode ini dapat mencapai 98% konversi dengan waktu

reaksi yang minimum (Haryanto, 2002). Sedangkan metode transesterifikasi berkatalis asam memerlukan waktu reaksi yang lebih lama.

Reaksi transesterifikasi sebenarnya berlangsung dalam 3 tahap yaitu sebagai berikut:



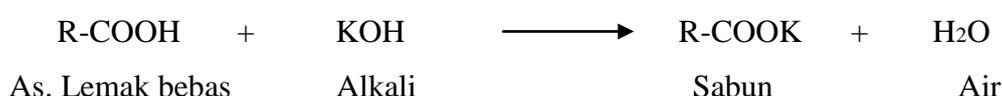
### 2.2.8 Katalis

Katalis merupakan zat yang dapat mempercepat reaksi tanpa ikut dikonsumsi oleh keseluruhan reaksi. Pada dasarnya, katalis justru harus ikut bereaksi dengan reaktan untuk membentuk suatu zat antara yang aktif. Zat antara ini kemudian bereaksi dengan molekul reaktan yang lain menghasilkan produk. Pada akhirnya, produk kemudian terlepas dari permukaan katalis (Wahyu Hidayat dan Michael Hutagalung 2007). Pada umumnya reaksi transesterifikasi dan esterifikasi merupakan reaksi lambat. Tanpa adanya katalis, proses pembuatan biodiesel dengan reaksi transesterifikasi hanya dapat menghasilkan konversi sebesar 85% setelah 10 jam reaksi pada suhu 235 °C dengan tekanan 62 bar (Diasakou dkk, 2001).

#### 2.2.8.1 Katalis Basa Homogen

Terdapat dua jenis katalis basa yang dapat digunakan dalam pembuatan biodiesel, yaitu katalis basa homogen dan katalis basa heterogen. Katalis yang banyak digunakan dalam reaksi transesterifikasi adalah katalis basa homogen seperti NaOH atau KOH (Meher dkk, 2006). Laju reaksi transesterifikasi dengan katalis basa lebih cepat jika dibandingkan dengan katalis asam. Karena dalam larutan basa, suatu karbonil dapat diserang langsung oleh nukleofilik tanpa protonasi sebelumnya. Berdasarkan alasan ini, proses industri sering menggunakan katalis basa (Supandi, 2003).

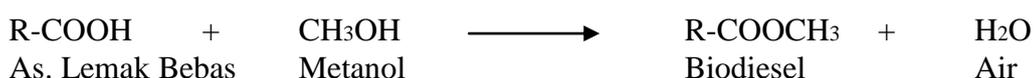
Kelemahan pada reaksi transesterifikasi berkatalis basa yaitu tidak dapat diterapkan untuk bahan baku minyak yang memiliki kandungan asam lemak bebas di atas 2%. Keberadaan asam lemak bebas yang tinggi akan menyebabkan terjadinya reaksi samping berupa reaksi penyabunan yang akan mengkonsumsi katalis sehingga menurunkan yield biodiesel, dan mempersulit proses pemisahan produk (Atadashi dkk., 2011). Berikut adalah reaksi yang terjadi antara asam lemak bebas dengan katalis basa :



Katalis basa heterogen seperti zeolit, SnCl<sub>2</sub>, CaO, SnCl<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan lain-lain. Memiliki kemampuan katalisator yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan katalis basa homogen, dapat menjadi alternatif yang baik dalam proses pembuatan biodiesel. Katalis basa heterogen dapat dengan mudah dipisahkan dari campuran reaksi sehingga dapat digunakan kembali. Namun, katalis heterogen menghasilkan konversi yang rendah tidak seperti katalis homogen yang dapat menghasilkan konversi yang lebih tinggi.

#### 2.2.8.2 Katalis Asam Homogen

Pembuatan biodiesel dapat juga dengan menggunakan katalis asam. Selain dapat mengkatalisis reaksi transesterifikasi minyak menjadi biodiesel, katalis asam juga dapat mengkatalisis reaksi esterifikasi asam lemak bebas yang terkandung di dalam minyak menjadi biodiesel mengikuti reaksi berikut ini:



Katalis asam umumnya digunakan dalam proses *pretreatment* terhadap bahan baku minyak yang memiliki kandungan asam lemak bebas yang tinggi namun sangat jarang digunakan dalam proses utama pembuatan biodiesel. Katalis asam homogen seperti asam sulfat, bersifat sangat korosif, sulit dipisahkan dari produk dan dapat

ikut terbuang dalam pencucian sehingga tidak dapat digunakan kembali sekaligus dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan (Santoso, 2013). Penggunaan katalis asam cair pada produksi biodiesel seperti asam sulfat memerlukan temperatur tinggi dan waktu yang lama.

Sedangkan untuk katalis asam heterogen seperti Nafion, meskipun tidak sekorosif katalis asam homogen dan dapat dipisahkan untuk digunakan kembali, cenderung sangat mahal dan memiliki kemampuan katalisasi yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan katalis basa (Santoso, 2013).

### **2.2.9 Metanol**

Biodiesel sendiri memerlukan alkohol sebagai salah satu reaktannya. Alkohol diperlukan dalam jumlah berlebih untuk menggeser keseimbangan reaksi. Oleh karena itu, keberadaan alkohol sangat penting dalam reaksi esterifikasi dan transesterifikasi. Metanol merupakan jenis alkohol yang paling banyak diminati dalam proses produksi biodiesel. Hal ini disebabkan oleh reaktan paling tinggi diantara alkohol jenis lain.