

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi bahan bakar fosil menyebabkan masalah lingkungan yang serius dan pemanasan global dari emisi karbon dioksida yang berlebihan dengan membakar bahan bakar fosil. Faktor-faktor ini telah mendorong penelitian dan pengembangan biofuel dan bioenergi yang ramah lingkungan (Chong et al., 2019). Biodiesel adalah salah satu solusi untuk bahan bakar fosil. Biodiesel terdiri dari mono-alkil ester yang berasal dari asam lemak rantai panjang yang dapat dibuat dari bahan baku lipid terbarukan seperti lemak hewani dan minyak nabati yang tersedia dalam jumlah besar di alam (Amini, Ilham, Ong, Mazaheri, & Chen, 2017; Chia et al., 2018).

Biodiesel dianggap sebagai salah satu kandidat untuk menggantikan bahan bakar berbasis minyak bumi karena karakteristiknya hampir mirip tetapi menghasilkan lebih sedikit emisi, bebas sulfur, memiliki angka setana yang lebih tinggi dan biodegradable (Mahlia et al., 2020; Ong et al., 2019). Tujuan utama biodiesel adalah untuk menggantikan minyak solar atau dicampur dengan minyak solar dalam jenis penggunaan tertentu untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Beberapa penelitian fokus pada mendapatkan sumber terbarukan yang ideal untuk produksi biodiesel tanpa bersaing dengan sumber daya makanan. Mengenai hal ini, ada beberapa metil ester minyak nonnabati (biodiesel) yang diselidiki dan dilaporkan seperti *Ceiba pentandra* (A. S. Silitonga et al., 2020), *Sterculia foetida* L (Marri, Kotha, & Gaddale, 2022), *Calophyllum inophyllum* L (Ashok et al., 2019) dan *Jatropha curcas* L (A. Silitonga, Masjuki, Mahlia, Ong, Chong, et al., 2013). Penelitian tersebut membuktikan bahwa minyak non-nabati tersebut dapat menggantikan penggunaan minyak nabati. Misalnya, dari minyak nabati, ada *Jatropha curcas*, *Pongamiapinnata* (Karanja), *Madhucaindica* (Mahua), Biji rami, Biji kapas, *Azadirachta indica* (Mimba), *Camelina*, *Eutealis Trisperma*, *Hevea Brasiliensis*, *Ricinus Communis*, *Schleichera Oleosa*, *Cerbera manghas* dan pohon daun kecantikan atau polanga (Amini et al., 2017; Ashok et al., 2019; Chia et al., 2018; Chong et al., 2019; Dwivedi, Jain, & Sharma, 2013). Dari minyak bekas

atau daur ulang, ada minyak goreng, minyak goreng, stok sabun minyak sayur, dan minyak pomace (Kumar & Jaikumar, 2014), dari lemak hewani, ada lemak sapi, lemak babi, lemak kuning, lemak ayam, dan produk dari minyak ikan (Ashok et al., 2016).

Reutealis trisperma, secara lokal dikenal sebagai Tung Filipina, adalah salah satu minyak non-nabati yang termasuk dalam keluarga Euphorbiaceae. Ini adalah tanaman asli Filipina dan Asia Tenggara (Riayatsyah et al., 2021). Tanaman ini dapat tumbuh hingga 10–15 m, dan dapat menghasilkan 25–30 kg kacang kering per pohon dan per tahun, dengan kandungan minyak *Reutealis trisperma* 50–52% (b/b). Di Indonesia, *Reutealis trisperma* terutama didistribusikan di Jawa Barat. Baru-baru ini, telah dibudidayakan di daerah Sumedang. Biodiesel dianggap sebagai salah satu kandidat untuk menggantikan bahan bakar berbasis minyak bumi karena karakteristiknya hampir mirip tetapi menghasilkan lebih sedikit emisi, bebas sulfur, memiliki angka setana yang lebih tinggi dan biodegradable (Kumar & Jaikumar, 2014; Mahlia et al., 2020; Mallah & Sahito, 2020; Marri et al., 2022; Riayatsyah et al., 2021).

Dalam proses produksi biodiesel, berbagai metode dapat digunakan seperti metode konvensional, ultrasound-assisted, non-catalytic supercritical, ultrasonik, dan microwave. Di antara metode ini, ultrasonik dan konvensional lebih disukai dan dipelajari secara luas dengan menggunakan bahan baku yang bervariasi. Dalam banyak kasus, metode konvensional lebih disukai karena mudah digunakan dan sederhana, sementara di sisi lain, metode ultrasonik menawarkan keuntungan karena waktu pemrosesan yang singkat (Takase et al., 2014). Gelombang ultrasonik yang disebarkan dalam cairan akan menimbulkan efek yang disebut sebagai fenomena kavitasi. Dalam reaksi yang dibantu ultrasound, tekanan fluida akan meningkat ketika amplitudo positif disebarkan dan kemudian menurun ketika amplitudo negatif didistribusikan (Aghbashlo et al., 2020). Perubahan simultan dalam tekanan dengan frekuensi tinggi gelombang ultrasonik bereaksi perlahan oleh cairan, menghasilkan penciptaan gelembung mikro. Gelembung terus tumbuh dengan penerapan energi ultrasonik sehingga diameter gelembung tumbuh lebih besar sampai runtuh dengan keras, menghasilkan efek kavitasi. Fenomena kavitasi ini akan membuat suhu dan tekanan meningkat dengan

melepaskan uap yang terkandung dalam gelembung dan akan membantu meningkatkan perpindahan massa dan panas ke dalam cairan (Ambat, Srivastava, & Sillanpää, 2018). Memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk proses esterifikasi telah menunjukkan kemampuan mereka untuk mengurangi kandungan asam lemak bebas dan meningkatkan proses transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel hasil tinggi (Encinar, González, & Pardal, 2012). Andrade-Tacca et al. telah melakukan penelitian menggunakan iradiasi ultrasonik untuk mengurangi nilai asam minyak jarak pagar dari 36,5 menjadi 0,236 mg KOH / g (Andrade-Tacca, Chang, Chen, Manh, & Chang, 2014). Ada banyak hasil yang terbukti menggunakan ultrasound untuk proses transesterifikasi yang menghasilkan hasil biodiesel tinggi. Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan, telah ditunjukkan bahwa iradiasi ultrasonik adalah metode yang sangat hemat biaya dan energi untuk menghasilkan biodiesel.

Sementara itu, (Holilah et al., 2015) meneliti minyak kemiri sunan dengan menggunakan metode konvensional melalui dua tahap: esterifikasi dan transesterifikasi dengan hasil optimal dari hasil produksi biodiesel sebesar 95,15% pada suhu 65 °C dengan waktu reaksi 3 jam. Namun, aplikasi ultrasound untuk produksi biodiesel dari minyak trisperma Reutealis masih belum mendapat perhatian praktisi dan ilmuwan dan bahkan sangat sedikit informasi yang tersedia dalam literatur tentang produksi biodiesel dari minyak mentah Trisperma Reutealis. Namun, banyak yang telah berhasil membuktikan kesesuaian bahan bakar biodiesel dalam bentuk blending untuk diterapkan pada mesin diesel yang tidak dimodifikasi (Ge, Kim, Yoon, & Choi, 2018)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan biodiesel dengan waktu pemrosesan tersingkat dari minyak mentah Reutealis trisperma (kemiri sunan) dan untuk membandingkan kualitas biodiesel yang dihasilkan berdasarkan beberapa karakteristik penting seperti nilai asam, viskositas kinematik, dan rendemen antara metode pengaduk mandi konvensional dan ultrasonik dengan menggunakan katalis KOH

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana metode dan kondisi proses pembuatan biodiesel yang optimum untuk memberikan hasil kualitas yang terbaik?
2. Bagaimana pengaruh perbandingan pengadukan secara konvensional dan ultrasonic terhadap hasil biodiesel dan sifat karakteristik biodiesel?

1.3 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup penelitian ini adalah

1. Bahan baku yang digunakan adalah minyak kemiri sunan
2. Kecepatan pengaduk 1000 rpm dan suhu diatur ke 55 °C. Parameter waktu reaksi berkisar antara 60 hingga 180 menit
3. Uji karakteristik biodiesel yang diuji (Viskositas kinematik, Densitas, Bilangan asam, Stabilitas oksidasi, titik nyala, angka iodin)

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui metode dan kondisi proses pembuatan biodiesel yang optimum untuk memberikan hasil kualitas yang terbaik
2. Mengetahui pengaruh perbandingan pengadukan secara konvensional dan ultrasonic terhadap hasil biodiesel dan sifat karakteristik biodiesel

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagi Penulis
Penelitian ini membantu penulis untuk belajar menjadi pemikir, peneliti, dan penemu yang mampu mengembangkan suatu ilmu pengetahuan energi alternatif agar menjadi lebih luas dan bermanfaat bagi khalayak umum.
2. Bagi Masyarakat
Hasil penelitian ini diharapkan dapat membuka peluang masyarakat untuk hidup sehat dengan tidak menggunakan limbah minyak goreng untuk dikonsumsi serta sebagai informasi energi alternatif bagi masyarakat untuk dapat menemukan solusi dari masalah yang berkaitan terbatasnya sumber energi konvensional.
3. Bagi Pemerintah

Penelitian ini menjadi masukan dan saran bagi pemerintah dalam mengelola suatu potensi untuk melaksanakan program green energi sehingga krisis energi di negara dapat diatasi

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Produksi minyak terus menurun sementara permintaan BBM terus tumbuh yang menyebabkan peningkatan impor minyak mentah dan produk olahan. Pada tahun 2020 pangsa terbesar penggunaan energi adalah transportasi (40%) diikuti oleh sektor industri (38%) sektor rumah tangga (15%), komersial (5%), dan lainnya (2%). Dampak covid-19 diseluruh dunia juga mengakibatkan beberapa sektor mengalami perlambatan dalam pertumbuhannya. Diperkirakan selama kurun waktu 2018-2050 kebutuhan energi final akan kembali meningkat rata-rata sebesar 3.9% pertahunnya. Sektor komersial diperkirakan mengalami peningkatan kebutuhan energi meningkat sebesar 4%, diikuti sektor industri (3%). Sedangkan, sektor transportasi dan rumah tangga mengalami penurunan kebutuhan energi hanya (3%) yaitu sektor transportasi 38% dan rumah tangga 11% pada tahun 2050. Namun sektor industri mengalami peningkatan kebutuhan energi yang sangat menjanjikan untuk dapat digunakan bahan bakarnya, bahan bakar terbarukan pada mesin-mesin diesel salah satunya yaitu biodiesel (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2020). Dari data (BPPT), sektor transportasi merupakan sektor pengguna energi terbesar saat ini. 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. Konsumsi energi sektoral dari sektor transportasi mengungkapkan bahwa total bensin dan diesel mengkonsumsi 56% dan biodiesel sendiri sebesar 21%. BBM terbesar yang digunakan di sektor transportasi adalah jenis gasoline dan diesel, termasuk di dalamnya BBM subsidi dan non subsidi. Pemakaian BBM jenis gasoline dan diesel terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Seiring dengan semakin meningkatnya konsumsi BBM dalam negeri yang tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas kilang minyak dalam negeri menyebabkan impor BBM Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya.

2.1 Bahan Baku

2.1.1 Minyak Kemiri Sunan

Reutealis trisperma, secara lokal dikenal sebagai Tung Filipina, adalah salah satu minyak non-nabati yang termasuk dalam keluarga Euphorbiaceae. Ini adalah tanaman asli Filipina dan Asia Tenggara (Riyatsyah et al., 2021). Tanaman ini dapat tumbuh hingga 10–15 m, dan dapat menghasilkan 25–30 kg kacang kering per pohon dan per tahun, dengan kandungan minyak *Reutealis trisperma* 50–52% (b/b). Di Indonesia, *Reutealis trisperma* terutama didistribusikan di Jawa Barat. Baru-baru ini, telah dibudidayakan di daerah Sumedang. Biodiesel dianggap sebagai salah satu kandidat untuk menggantikan bahan bakar berbasis minyak bumi karena karakteristiknya hampir mirip tetapi menghasilkan lebih sedikit emisi, bebas sulfur, memiliki angka setana yang lebih tinggi dan biodegradable (Kumar & Jaikumar, 2014; Mahlia et al., 2020; Mallah & Sahito, 2020; Marri et al., 2022; Riyatsyah et al., 2021).



Gambar 2. 1 Kemiri Sunan

2.1.2. Metanol (CH₃OH)

Biodiesel biasanya diproduksi dari minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek melalui proses transesterifikasi. Umumnya, alkohol yang banyak digunakan adalah metanol dan etanol (Dharma et al., 2016). Metanol digunakan sebagai alkohol karena harganya murah dan memiliki keunggulan fisik dan kimia. Metanol cepat bereaksi dengan minyak nabati dan NaOH mudah larut di dalamnya (Gashaw dkk., 2015) Jenis alkohol terbukti memiliki pengaruh yang luar biasa tidak hanya pada kinetika reaksi tetapi juga pada karakteristik bahan bakar yang dihasilkan. Berdasarkan literatur, *yield* biodiesel yang menggunakan metanol lebih tinggi daripada yang menggunakan etanol.

Salah satu parameter paling penting yang mempengaruhi *yield* biodiesel adalah rasio molar trigliserida terhadap alkohol. Secara stoikiometri, dalam reaksi transesterifikasi, dibutuhkan 1 mol trigliserida dan 3 mol alkohol (rasio molar reaktan 1:3). Namun dalam reaksi yang sebenarnya, alkohol yang berlebih dibutuhkan untuk menggeser kesetimbangan ke arah produk dan meningkatkan *yield* biodiesel. Hal ini dikaitkan dengan sifat alkohol yang mudah menguap (Gupta & Rathod, 2018). Faktor seperti suhu reaksi juga sangat penting. Suhu reaksi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan metanol menguap sehingga terjadi penurunan *yield* biodiesel. Suhu reaksi harus di bawah titik didih metanol untuk mencegah terjadinya penguapan metanol. Rentang suhu reaksi optimum bervariasi dari 50 °C hingga 60 °C tergantung pada minyak atau lemak yang digunakan (Dharma et al., 2016)

2.1.3 Katalis

Katalis adalah suatu zat yang meningkatkan laju reaksi tanpa dirinya sendiri terlibat dalam reaksi secara permanen sehingga pada akhir reaksi katalis tidak bergabung dengan senyawa produk reaksi. Ketika reaksi selesai maka akan didapatkan massa katalis yang sama. Untuk meningkatkan laju reaksi yaitu dengan meningkatkan jumlah tumbukan – tumbukan pada reaksi. Tumbukan – tumbukan akan menghasilkan reaksi jika partikel – partikel yang bertumbukan dengan energi yang cukup untuk memulai suatu reaksi. Hal ini dapat dilakukan dengan menurunkan energi aktivasi. Energi aktivasi adalah energi minimum yang diperlukan untuk memulai suatu reaksi.

Katalis dapat dibagi menjadi 3 bagian besar yaitu sebagai berikut:

1. Katalis Homogen

Katalis homogen basa yang biasa digunakan antara lain adalah logam alkali hidroksida (kebanyakan NaOH dan KOH) dan logam berat alkali hidroksida dan alkoksida. Faktor yang membuat katalis ini banyak digunakan dalam proses transesterifikasi adalah hasil yang diperoleh memiliki konversi yang tinggi dalam waktu reaksi yang relatif kecil (Abdullah et al., 2017).

2. Katalis Heterogen

Katalis heterogen jika digunakan pada proses transesterifikasi banyak

memberikan kelebihan, diantaranya tidak korosif, mudah dipisahkan dan didaur ulang, dapat digunakan pada operasi kontinyu. Namun katalis ini juga memiliki kelemahan diantaranya adalah waktu reaksi yang digunakan cukup lama jika dibandingkan dengan katalis homogen. Katalis yang termasuk tipe ini antara lain adalah golongan logam oksida, zeolit, katalis berpenyangga logam dan mineral (Mardhiah, Ong, Masjuki, Lim, & Lee, 2017)

3. Katalis Enzim

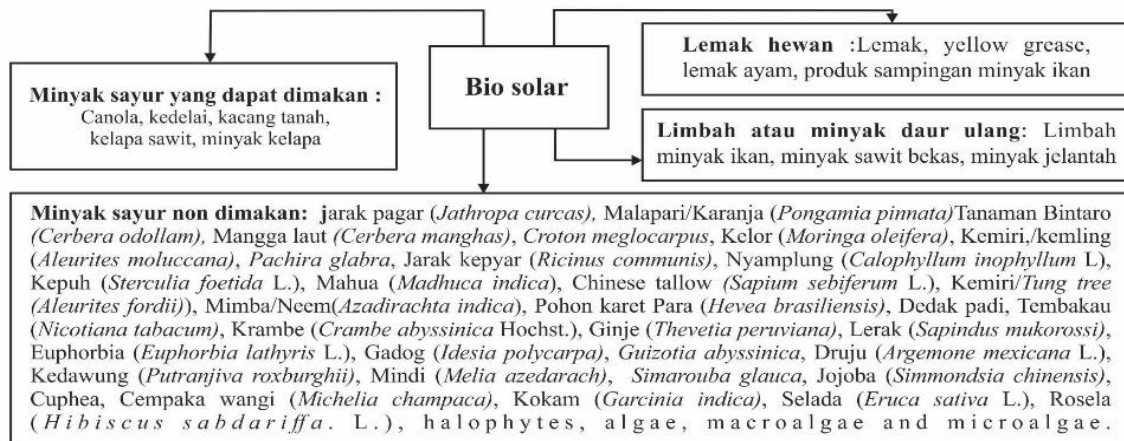
Katalis enzim yang biasa digunakan adalah lipase, lipase yang digunakan pada proses transesterifikasi dapat berupa larutan encer atau bukan larutan encer. Proses enzimatik memiliki banyak kelebihan seperti pemisahan produk yang sangat mudah dan asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak dapat terkonversi dengan sempurna, namun biaya produksi lipase atau katalis enzim lainnya sangat besar jika dibandingkan dengan sistem katalis yang lain. (Afrianto, 2014; T PALILU, 2019)

Biodiesel diproduksi secara baik dengan memanfaatkan berbagai jenis katalis homogen seperti KOH, H₂SO₄, dan NaOH (Abukhadra & Sayed, 2018). Penggunaan jenis dan jumlah katalis sangat mempengaruhi jumlah rendemen (yield) biodiesel yang dihasilkan. Dari penelitian (Suherman, Sabri, Silitonga, & Suroso, 2022) mengatakan rendemen (yield) minyak biodiesel sangat dipengaruhi oleh persentase katalis homogen basa (KOH) yang diberikan pada saat proses transesterifikasi. Angka yield optimum diperoleh sebesar 85% dengan jumlah katalis KOH sebesar 1% pada temperatur 60 °C dengan waktu proses 90 menit dan putaran 800 rpm. (M.-C. Hsiao et al., 2021) menyebutkan penerapan NaOH (0,75%) pada proses produksi biodiesel WCO menghasilkan rendemen sebesar 97%. Penggunaan jumlah katalis yang lebih rendah yaitu sebesar 0,7% menghasilkan rendemen sebesar 95% (I. Contreras Andrade et al., 2014). NaOH juga digunakan (Soegiantoro, Chang, Rahmawati, Christiani, & Mufrodi, 2019) untuk menghasilkan biodiesel dari WCO (Mohadesi, Aghel, Maleki, & Ansari, 2019). Penggunaan katalis sebesar 0,5% menghasilkan rendemen sebesar 90%. Sedangkan dalam penelitian (G. H. Soegiantoro et al., 2019) membandingkan katalis NaOH dengan CaO dalam pembuatan biodiesel dari WFO. Hasilnya

menunjukkan penggunaan katalis NaOH jauh lebih baik dalam menghasilkan rendemen dibanding CaO (77%). (Stojković, Stamenković, Povrenović, & Veljković, 2014) menggunakan katalis KOH sebesar 0,8% menghasilkan rendemen sebesar 94%. Hasil rendemen yang sama diperoleh dimana dengan jumlah katalis sebesar 1% menghasilkan rendemen sebesar 94% (Topare & Patil, 2021)

2.2 Biodiesel

Bahan bakar alternatif adalah bahan bakar baik padatan, cairan ataupun gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik. Biodiesel dapat dihasilkan secara langsung dari tanaman atau secara tidak langsung dari limbah industri, komersial, domestik atau pertanian (A. S. Silitonga & Ibrahim, 2020). Biodiesel adalah salah satu alternatif yang menarik karena menunjukkan suatu penurunan emisi gas buang CO₂, NO_x, SO_x dan hidrokarbon-hidrokarbon tak terbakar selama pembakaran, bila dibanding dengan bahan bakar fosil. Biodiesel salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, tidak mempunyai efek terhadap kesehatan yang dapat dipakai sebagai bahan bakar kendaraan bermotor yang dapat menurunkan emisi bila dibandingkan dengan minyak diesel. Ada berbagai bahan baku yang tersedia untuk produksi biodiesel (Mofijur, Atabani, Masjuki, Kalam, & Masum, 2013). Saat ini, ada lebih dari 350 jenis tanaman dengan minyak di seluruh dunia yang diidentifikasi sebagai bahan baku potensial untuk produksi biodiesel (A. Silitonga, Masjuki, Mahlia, Ong, Atabani, et al., 2013). Salah satu persyaratan utama dalam produksi biodiesel adalah untuk mengurangi biaya produksi keseluruhan produksi biodiesel. Bahan baku biodiesel dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok besar, yaitu minyak nabati yang dapat dikonsumsi (*edible*), minyak nabati tidak-dikonsumsi (*non-edible*), limbah atau minyak daur ulang, dan lemak hewani. Bahan baku ini dirangkum dalam Gambar 2.1 (Atabani et al., 2012)



Gambar 2. 2 Kalisifikasi bahan baku biodiesel

Produksi biodiesel bisa dilakukan melalui proses transesterifikasi (juga disebut alkoholisis). Katalis yang digunakan sangat menentukan laju reaksi dan hasil. Jumlah alkohol yang berlebihan digunakan karena reaksinya cenderung *reversible* (Naveen et al., 2020). Beberapa metode seperti transesterifikasi dengan katalis basa, transesterifikasi katalis asam, katalis enzim, superkritis super transesterifikasi dan pirolisis, telah digunakan untuk memproduksi biodiesel dari limbah minyak nabati (Outili dkk., 2020).

2.3 Gelombang ultrasonik

Gelombang ultrasonic yang disebarkan dalam cairan akan menimbulkan efek yang disebut sebagai fenomena kavitasi. Dalam reaksi yang dibantu ultrasound, tekanan fluida akan meningkat ketika amplitudo positif disebarkan dan kemudian menurun ketika amplitudo negatif didistribusikan (Aghbashlo et al., 2020). Perubahan simultan dalam tekanan dengan frekuensi tinggi gelombang ultrasonik bereaksi perlahan oleh cairan, menghasilkan penciptaan gelembung mikro. Gelembung terus tumbuh dengan penerapan energi ultrasonik sehingga diameter gelembung tumbuh lebih besar sampai runtuh dengan keras, menghasilkan efek kavitasi. Fenomena kavitasi ini akan membuat suhu dan tekanan meningkat dengan melepaskan uap yang terkandung dalam gelembung dan akan membantu meningkatkan perpindahan massa dan panas ke dalam cairan (Ambat et al., 2018). Memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk proses esterifikasi telah menunjukkan

kemampuan mereka untuk mengurangi kandungan asam lemak bebas dan meningkatkan proses transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel hasil tinggi (Encinar et al., 2012). Andrade-Tacca et al. telah melakukan penelitian menggunakan iradiasi ultrasonik untuk mengurangi nilai asam minyak jarak pagar dari 36,5 menjadi 0,236 mg KOH / g (Andrade-Tacca et al., 2014). Ada banyak hasil yang terbukti menggunakan ultrasound untuk proses transesterifikasi yang menghasilkan hasil biodiesel tinggi. Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan, telah ditunjukkan bahwa iradiasi ultrasonik adalah metode yang sangat hemat biaya dan energi untuk menghasilkan biodiesel.

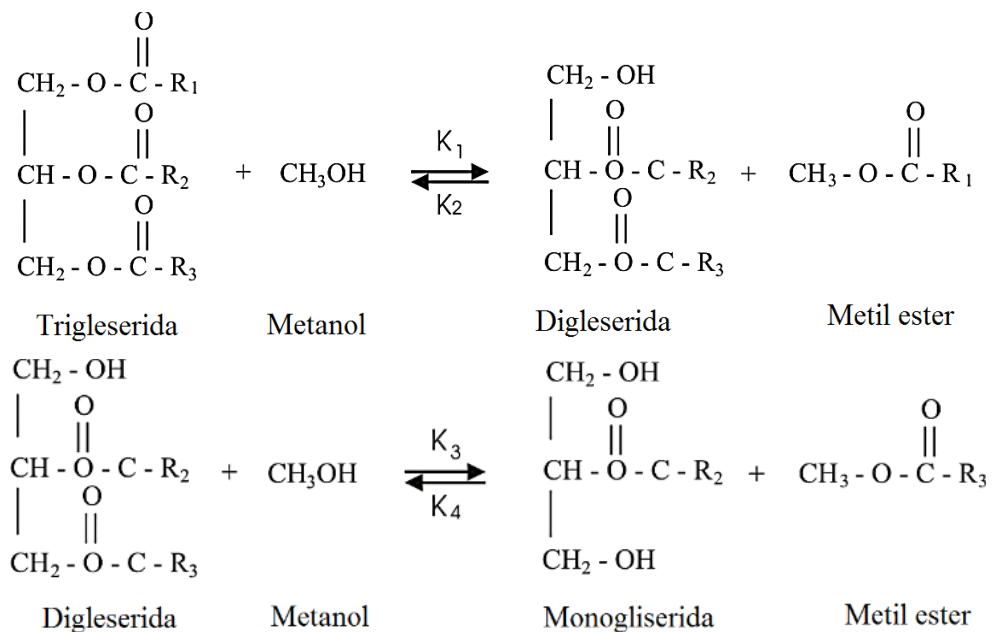
2.4 Esterifikasi dan Transesterifikasi

Esterifikasi adalah konversi dari asam lemak bebas menjadi ester. Esterifikasi mereaksikan minyak lemak dengan alkohol. Katalis-katalis yang cocok adalah zat berkarakter asam kuat merupakan katalis-katalis yang biasa dipakai dalam industri. Reaktan metanol harus ditambahkan dalam jumlah yang sangat berlebih dan air sebagai produk samping reaksi disingkirkan dari fasa reaksi, yaitu fasa minyak. Melalui kombinasi-kombinasi yang tepat dari kondisi-kondisi reaksi dan metode penyingkiran air, konversi sempurna asam lemak ke ester metilnya dapat dituntaskan dalam waktu 1 jam.

Metil ester (biodiesel) dari minyak mentah nabati dapat dihasilkan melalui proses transesterifikasi, yaitu dengan cara gliserin dikeluarkan dari minyak dan asam lemak bebas direaksikan dengan alkohol (misalnya methanol) menjadi alkohol ester atau biodiesel. Metanol lebih umum digunakan untuk proses transesterifikasi karena harganya lebih murah dan lebih mudah untuk daur ulang. Transesterifikasi merupakan suatu reaksi kesetimbangan. Reaksi didorong supaya bergerak ke kanan sehingga dihasilkan metil ester (biodiesel) maka perlu digunakan alkohol dalam jumlah berlebih atau salah satu produk yang dihasilkan harus dipisahkan (Mofijur dkk., 2013). Transesterifikasi (reaksi alkohol) adalah lemak atau minyak nabati direaksikan dengan alkohol yang akan menghasilkan ester dan gliserol sebagai produk samping dengan bantuan katalis basa. Katalis digunakan untuk meningkatkan laju reaksi dan jumlah produk (Stojković et al., 2014). Metanol merupakan alkohol yang umumnya digunakan. Reaksi ini

cenderung lebih cepat menghasilkan metil ester daripada reaksi esterifikasi dengan bantuan katalis asam. Namun, penggunaan bahan baku pada reaksi transesterifikasi harus mempunyai angka asam lemak bebas yang kecil (< 2%) untuk menghindari pembentukan sabun (Dharma dkk., 2016).

Esterifikasi dan transesterifikasi adalah reaksi kimia alkohol dengan minyak mentah. Dalam reaksi ini, metanol dan etanol adalah alkohol yang paling umum digunakan karena biaya dan ketersediaannya rendah. Beberapa metode yang digunakan berhasil mengurangi nilai asam minyak mentah dengan menggunakan katalis asam untuk menghasilkan metil ester asam lemak. Kemudian, metil ester asam lemak ditransesterifikasi dengan katalis basa untuk yang menghasilkan metil ester dan sabun (produk sampingan). Ada berbagai jenis katalis asam dan basa tersedia untuk proses transesterifikasi dimana banyak peneliti biodiesel menggunakan komersial katalis basa seperti; Sodium hidroksida (NaOH) dan Potassium hidroksida (KOH) Mekanisme transesterifikasi katalisator asam diilustrasikan pada Gambar 2.2 (Meher dkk., 2006).



Gambar 2. 3 Reaksi esterifikasi dan reaksi transesterifikasi

2.4 Spesifikasi Sifat- sifat Biodiesel

Indonesia telah menyusun Standar Nasional Indonesia untuk kualitas biodiesel (SNI 7182:2015). Standar ini disusun dengan memperhatikan standar sejenis yang sudah berlaku di luar negeri seperti ASTM D6751 di Amerika Serikat dan EN 14214 untuk negara Uni Eropa. Syarat mutu biodiesel ester alkil

dan metode uji yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.2. Kualitas biodiesel dipengaruhi oleh: kualitas minyak (feedstock), komposisi asam lemak dari minyak, proses produksi dan bahan lain yang digunakan dalam proses dan parameter pasca-produksi seperti kontaminan. Kontaminan tersebut diantaranya adalah bahan tak tersabunkan, air, gliserin bebas, gliserin terikat, alkohol, sabun, residu katalis, sulfur, aromatik dan abu. Viskositas kinematik menunjukkan resistansi aliran cairan pada kondisi gravitasi. Viskositas kinematik sama dengan viskositas dinamik. Parameter ini merupakan spesifikasi rancangan dasar untuk injektor bahan bakar yang digunakan pada mesin diesel (Knothe & Razon, 2017), Viskositas adalah sifat yang paling penting dari biodiesel karena mempengaruhi pengoperasian peralatan injeksi bahan bakar, terutama pada temperatur rendah saat kenaikan viskositas mempengaruhi fluiditas bahan bakar. Biodiesel memiliki viskositas yang mendekati bahan bakar diesel dan bila viskositas tinggi, maka injektor tidak akan bekerja dengan baik. Selain itu, viskositas yang tinggi juga berpengaruh secara langsung terhadap kemampuan bahan bakar bercampur dengan udara. Dengan demikian, viskositas yang tinggi tidak diharapkan pada bahan bakar mesin diesel. Hal inilah yang mendasari perlunya dilakukan proses kimia transesterifikasi, untuk menurunkan viskositas minyak tumbuhan sehingga mendekati viskositas solar (Knothe & Razon, 2017).

Densitas adalah berat biodiesel per satuan volume. Ia merupakan sifat penting lainnya dari biodiesel. Alat injeksi bahan bakar bekerja pada basis ukuran volume, sehingga apabila densitas lebih besar akan menyebabkan massa yang diinjeksikan lebih besar pula (Knothe & Razon, 2017). Angka setana menunjukkan seberapa cepat bahan bakar mesin diesel yang diinjeksikan ke ruang bakar dapat terbakar secara spontan (setelah bercampur dengan udara). Semakin cepat bahan bakar mesin diesel terbakar setelah diinjeksikan ke dalam ruang bakar, semakin tinggi angka setana bahan bakar tersebut. Cara pengukuran angka setana yang umum digunakan, seperti standar ASTM D613 atau ISO 5165, adalah dengan menggunakan heksadekana ($C_{16}H_{34}$, yang memiliki nama setana) sebagai patokan tertinggi (angka setana = 100), dan 2,2,4,4,6,8,8 heptamethylnonane (HMN yang memiliki komposisi $C_{16}H_{34}$) sebagai patokan terendah (angka setana =15) (Knothe, 2017). Angka setana berkorelasi dengan

tingkat kemudahan penyalaan pada temperatur rendah (cold start) dan rendahnya kebisingan pada kondisi diam. Angka setana yang tinggi juga berhubungan dengan rendahnya polutan NO_x (Knothe, 2017). Panjangnya rantai hidrokarbon yang terdapat pada ester (alkil ester asam lemak, misalnya) menyebabkan tingginya angka setana biodiesel dibandingkan dengan diesel (Knothe, 2017). Hal inilah yang merupakan keunggulan yang nyata biodiesel dibanding dengan solar berkenaan dengan penampilan mesin dan emisi dan membuat mesin yang diberi bahan bakar biodiesel lebih lancar dan kurang berisik. Titik nyala dari metil ester murni > 200 °C, diklasifikasikan sebagai tidak mudah terbakar dan lebih berbahaya untuk menangani dan disimpan jika titik nyala ini di bawah 130 °C (Dharma et al., 2016). Air dan sedimen merupakan ukuran untuk kebersihan bahan bakar. Jumlah air yang tinggi harus dihindari karena air dapat bereaksi dengan ester membentuk asam lemak bebas, dan dapat mendorong pertumbuhan mikroba pada tangki penyimpanan yang dapat menyebabkan terbentuknya sedimen (Knothe, 2017). Sedimen dapat menyumbat saringan dan dapat berkontribusi pada pembentukan deposit pada injektor dan kerusakan mesin lainnya. Jumlah sedimen pada biodiesel dapat meningkat sepanjang waktu sebagaimana bahan bakar ini mengalami degradasi selama penyimpanan yang lama.

Bilangan asam merupakan ukuran langsung dari asam lemak bebas pada biodiesel. Asam lemak bebas dapat menyebabkan korosi. Bilangan asam ini dapat meningkat menurut waktu disebabkan bahan bakar akan mengalami degradasi disebabkan kontak dengan udara dan air.

Stabilitas oksidasi berhubungan dengan kemampuan bahan bakar untuk menahan perubahan kimia selama penyimpanan. Perubahan ini biasanya terdiri dari oksidasi disebabkan adanya kontak dengan oksigen dari udara. Komposisi asam lemak biodiesel merupakan faktor penting dalam menentukan stabilitas terhadap udara. Angka setana, panas pembakaran (*heat of combustion*), titik cair dan titik didih, viskositas akan meningkat dengan meningkatnya panjang rantai dan kejenuhan dan menurun dengan meningkatnya ketidakjenuhan asam lemak.

Persyaratan mutu biodiesel di Indonesia sudah dibakukan dalam ASTM dan EN menyajikan persyaratan kualitas biodiesel yang diinginkan. Sifat-sifat

karakteristik biodiesel terdapat pada Tabel 2.1 (A. Silitonga, Masjuki, Mahlia, Ong, Atabani, et al., 2013).

Tabel 2.1 Sifat-sifat biodiesel sesuai ASTM dan EN (A. Silitonga, Masjuki, Mahlia, Ong, Atabani, et al., 2013)

No	Parameter uji	Satuan, min/maks	Persyaratan	Metode uji
1	Viskositas Kinematik pada 40°C	mm ² /s (cSt)	2,3 - 6,0	ASTM D 445 ASTM D 1298 atau
2	Massa jenis pada 15°C	kg/m ³	850 -890	ASTM D 4052 ASTM D 613 atau
3	Angka setana	Min	51	ASTM D 6890
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C, min	100	ASTM D 93
5	Titik kabut	°C, maks	18	ASTM D 2500
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)	%-massa, maks	nomor 1	ASTM D 130
7	Residu karbon dalam per contoh asli		0,05	ASTM D 4530 atau
	dalam 10% ampas distilasi	%-massa, maks	0,3	ASTM D 189
8	Air dan sedimen	%-vol, maks	0,05	ASTM D 2709
9	Temperatur distilasi 90%	°C, maks	360	ASTM D 1160
10	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02	ASTM D 874 ASTM D 5453 atau
11	Belerang	mg/kg, maks	100	ASTM D 1266
12	Fosfor	mg/kg, maks	10	AOCS Ca 12-55 AOCS Cd 3d-63
13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,05	atau ASTM D 664 AOCS Ca 14-56
14	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02	atau ASTM D 6584 AOCS Ca 14-56
15	Gliserol total	%-massa, maks	0,24	atau ASTM D 6584
16	Kadar ester metil	%-massa, maks	96,5	
18	Kadar monogliserida	%-massa, maks	0,8	ASTM D 6584
17	Angka iodium	%-massa(g-I ₂ /100g), maks	115	AOCS Cd 1-25
19	Kestabilan oksidasi			
	Periode induksi metode rancimat,	Menit	360	EN 15751
	Periode induksi metode petro oksidasi		27	ASTM D 7545