

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi yang pesat di Indonesia memberikan dampak permintaan energi yang semakin tinggi. Hal ini akan menambah beban kerja pemerintah untuk memenuhinya dikarenakan kenaikan harga minyak dunia dan pemanasan global sehingga perlu menjadi pertimbangan dalam penyusunan kebijakan penggunaan bahan bakar alternatif pada masa yang akan datang. Pada tahun 2015, Indonesia yang saat ini dikenal sebagai salah satu negara pengimpor bahan bakar karena produksi dalam negeri tidak dapat lagi memenuhi permintaan pasar yang meningkat dengan cepat akibat pertumbuhan penduduk dan industri (*Kajian Supply Demand Energy*, 2020). Bahan bakar minyak adalah sumber energi dengan konsumsi yang terbesar diseluruh dunia jika dibandingkan dengan sumber energi lainnya. 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). 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.

Peningkatan kekhawatiran tentang dampak lingkungan, kenaikan harga produk minyak bersama dengan penurunan bahan bakar fosil telah mendorong penelitian yang cukup untuk mengidentifikasi sumber bahan bakar alternatif. Biofuel baru-baru ini telah menarik perhatian besar di berbagai negara di seluruh dunia karena keberlanjutan, emisi gas yang lebih baik dan biodegradabilitasnya. Diperkirakan biodiesel/bioetanol dapat menggantikan sekitar 10% dari konsumsi bahan bakar diesel di Eropa dan 5% dari total permintaan bahan bakar Asia Tenggara (Milano, Ong, Masjuki, Silitonga, Kusumo, et al., 2018). Biodiesel lebih unggul dari diesel konvensional dalam hal kandungan sulfur, kandungan aromanya dan titik kilat. Ini pada dasarnya bebas sulfur dan non-aromatic sementara diesel

konvensional dapat mengandung hingga 500 ppm SO₂ dan 20–40 wt% senyawa aromatic (Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2022). Keuntungan ini bisa menjadi solusi kunci untuk mengurangi masalah polusi perkotaan karena sektor transportasi merupakan kontributor penting dari total emisi gas.

Biodiesel adalah mono-alkil ester asam lemak rantai panjang yang biasanya berasal dari minyak nabati atau lemak hewani dan mereka tidak beracun dan memiliki karakteristik bahan bakar yang diinginkan yang sebanding dengan diesel minyak bumi (Ibrahim et al., 2022). Biodiesel dapat diproduksi dari berbagai sumber yang termasuk minyak nabati (misalnya bahan baku nabati non-pangan (Milano et al., 2018b; Liu et al., 2019) seperti limbah minyak goreng (Topare dan Patil, 2021; Binhayeeding dkk., 2020; Goh et al., 2020), minyak nyamplung (Milano dkk., 2022), dan minyak serangga (Kale-uka dkk., 2021; Manzano Agugliaro dkk., 2012; Su et al., 2019). minyak goreng sisa (waste cooking oil/WCO) (Ibrahim et al., 2022). Dengan harga bahan baku yang lebih tinggi, biaya produksi biodiesel juga meningkat, sehingga membuat produksi biodiesel tidak ekonomis. Untuk mengatasi masalah ini, bahan alternatif yang lebih murah seperti minyak nabati telah diteliti untuk dijadikan biodiesel (Milano et al., 2022).

Produksi biodiesel dari minyak sayuran telah banyak dipelajari dalam ulasan literatur terbaru. Banyak peneliti telah melaporkan produksi biodiesel dalam beberapa cara: (a) efek parameter operasi (AVSL, Subramaniapillai, Mohamed, & Narayanan, 2021; Ibrahim et al., 2022; Milano et al., 2022; Suzihaque, Alwi, Ibrahim, Abdullah, & Haron, 2022; Trirahayu et al., 2022); (b) efek jenis katalis heterogen (Borges & Díaz, 2012). Namun, biaya bahan baku dan ketersediaan yang terbatas dari minyak mentah tumbuhan selalu menjadi isu penting untuk produksi biodiesel. Biaya tinggi minyak sayuran, yang bisa mencapai 75% dari total biaya manufaktur, telah menyebabkan biaya produksi biodiesel menjadi sekitar 1,5 kali lebih tinggi daripada diesel (Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2022). Konversi jumlah WCO ini menjadi bahan bakar juga menghilangkan dampak lingkungan yang disebabkan oleh penghapusan berbahaya dari minyak limbah ini, seperti ke dalam drainase (Barabás & Todoruț, 2011). Biodiesel dari WCO (atau minyak goreng yang digunakan) baru-baru ini diselidiki (Milano, Ong, Masjuki, Silitonga, Kusumo, et al., 2018).

Jelantah adalah limbah minyak yang berasal dari jenis minyak goreng seperti minyak jagung, minyak samin, minyak sayur (Setyawardhani & Wahyuni, 2009). Berdasarkan riset yang dilakukan oleh International Council on Clean Transportation (ICCT), Indonesia memiliki potensi menghasilkan jelantah 157 juta liter dari restoran, hotel, dan sekolah dari wilayah perkotaan. Untuk skala rumah tangga bisa mencapai 1.638 juta liter. Hal tersebut dikarenakan adanya peningkatan jumlah penduduk sehingga menyebabkan peningkatan konsumsi minyak goreng yang pada akhirnya berpotensi menghasilkan jelantah yang tinggi (Rahayu et al., 2020).

Umumnya masyarakat menggunakan minyak goreng sebanyak dua kali kemudian sisanya dibuang ke tanah atau selokan sehingga berpotensi mencemari lingkungan berupa naiknya kadar COD (Chemical Oxygen Demand) dan BOD (Biology Oxygen Demand) dalam perairan. Selain itu juga dampak dari jelantah ini menimbulkan bau busuk akibat degradasi biologi. Jelantah merupakan salah satu limbah cair yang bersifat organik, sehingga dapat dimanfaatkan atau diolah menjadi bentuk lain yang bernilai ekonomis dan tidak mencemari lingkungan. Jelantah saat ini juga dapat diperoleh secara gratis karena merupakan limbah yang sudah tidak digunakan lagi (Prasetyo, 2018).

Selain itu, potensi dari minyak jelantah adalah ketersedian produksinya kontinyu dibandingkan jenis bahan yang lain. Sampai tahun 2101 diperkirakan Indonesia dapat mengatasi krisis energi dengan menggunakan biodiesel dan juga sebagai *renewable energy* (energi terbarukan) (Kuncahyo, et al., 2013). Oleh karena itu, pengolahan biodiesel berbahan minyak jelantah ini adalah salah satu cara yang tepat untuk menurunkan harga biodiesel dikarenakan murah biaya bahan baku, dan disamping itu dapat juga menjadi solusi mengatasi masalah pembuangan limbah minyak dan kesehatan masyarakat.

Metode yang paling umum digunakan untuk memproduksi biodiesel adalah dengan proses transesterifikasi minyak atau lemak dengan alkohol, dengan gliserin sebagai produk sampingan. Katalis digunakan untuk mendapatkan laju reaksi, dan katalis dapat bersifat heterogen atau homogen (Ibrahim et al., 2022). Namun, kondisi optimal untuk produksi biodiesel (perbandingan metanol / minyak dan

konsentrasi katalis) tidak konsisten, sangat bergantung pada properti WCO. (Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2022) yang menunjukkan bahwa hasil terbaik diperoleh pada rasio molar 6:1 dan 1 wt% KOH. Menurut (Borges & Díaz, 2012), hanya minyak rafinasi / mentah dengan nilai asam kurang dari 1 dapat digunakan dalam proses alkali-katalis. Langkah pra-perawatan diperlukan untuk minyak dengan nilai asam lebih besar dari 2 (Borges & Díaz, 2012). Proses pembuatan biodiesel dari minyak goreng limbah menggunakan metode transesterifikasi. Transesterifikasi minyak goreng limbah direaksikan dengan alkohol dan katalis akan menghasilkan biopelumas dan gliserol. Proses pengolahan biopelumas dengan metode transesterifikasi minyak mentah dan metanol memiliki sifat tidak bercampur (*immiscible*) (Egbuna, Nwachukwu, Agu, Asadu, & Okolo, 2021). Oleh karena itu, pemanasan (*heating*) dan pencampuran (*mixing*) sangat penting dilakukan. Proses ini melalui tahapan-tahapan yang panjang sehingga efisiensi energi rendah dan konsumsi energi tinggi, biaya produksi biopelumas meningkat. Selain faktor teknis, terdapat banyak faktor non teknis yang mempengaruhi terhambatnya penggunaan bahan bakar biopelumas untuk diterapkan, seperti biaya produksi, keterbatasan lahan untuk pabrik bahan baku, harga minyak mentah, harga bahan baku, subsidi yang memperlambat perkembangan biodiesel dan isu kebijakan perpajakan di suatu negara. Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester dengan katalis KOH membutuhkan temperatur yang tinggi dalam waktu yang lama.

Lama dan tingginya temperatur reaksi disebabkan oleh rendahnya tingkat tumbukan antar reaktan. Rendahnya kontak antar reaktan disebabkan oleh rendahnya kelarutan metanol dalam minyak. Secara konvensional, untuk mengatasinya dengan meningkatkan suhu reaksi atau dengan menambahkan kosolven. Alternatif pemecahan lain untuk mengatasinya, yaitu reaksi pembuatan biodiesel dengan katalis basa dengan menggunakan metode radiasi infra merah. Karena gelombang radiasi infra merah mampu mempercepat reaksi dengan cara penetrasi massa reaktan yang lebih dalam sehingga akan meningkatkan perpindahan massa antar reaktan yang tak bercampur untuk meningkatkan kualitas biopelumas. Sehingga dengan cepat reaksi pembuatan biopelumas dengan katalis basa dapat dilakukan dalam waktu yang singkat, dan dapat menghasilkan konversi biopelumas yang optimum.

Oleh karena itu, beberapa metode telah dipelajari dalam beberapa tahun terakhir seperti, superkritis non-katalitik, gelombang mikro, bantuan ultrasound, dan teknik radiasi infra merah untuk menghasilkan biodiesel (Chakraborty & Sahu, 2014). Diantaranya, energi infra merah dalam kisaran $0,001e1,7$ eV dapat menembus massa reaktan pada kedalaman yang lebih dalam (Pradhan, Chakraborty, & Chakraborty, 2016). Teknologi ini dapat digunakan untuk mengintensifkan produksi biopelumas dengan meningkatkan perpindahan panas dan massa reaktan yang pada gilirannya akan memaksimalkan hasil biodiesel (Chakraborty & Sahu, 2014). Metode ini telah terbukti dapat mengurangi waktu reaksi dan konsumsi energi untuk meningkatkan kualitas biodiesel dibandingkan dengan sistem pemanas konvensional (Chakraborty & Sahu, 2014). (Pradhan et al., 2016) melaporkan bahwa reaktor berbantuan radiasi infra merah cukup efektif, membutuhkan waktu lebih sedikit, dan menghasilkan rendemen ester yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional. Salah satu studi ini telah menunjukkan bahwa produksi biodiesel dari transesterifikasi melalui radiasi infra merah hemat energi (Chakraborty & Sahu, 2014).

Biodiesel diproduksi secara baik dengan memanfaatkan berbagai jenis katalis homogen seperti KOH, H₂SO₄, dan NaOH (Milano, Ong, Masjuki, Silitonga, Kusumo, et al., 2018). Penggunaan jenis dan jumlah katalis sangat mempengaruhi jumlah rendemen (yield) biodiesel yang dihasilkan. (Milano, Ong, Masjuki, Silitonga, Kusumo, et al., 2018) menyebutkan penerapan NaOH (0,75%) pada proses produksi biodiesel WCO menghasilkan rendemen sebesar 97 %. (Suzihaque et al., 2022) menggunakan katalis KOH sebesar 0,8% menghasilkan rendemen sebesar 94%. Hasil rendemen yang sama diperoleh (Fangfang, Alagumalai, & Mahian, 2021) dimana dengan jumlah katalis sebesar 1% menghasilkan rendemen sebesar 94%. Selain itu (Ma et al., 2017) menyimpulkan penggunaan katalis KOH sebesar 1,16% merupakan parameter optimum yang menghasilkan rendemen sebesar 98,26%.

Oleh karena itu, penulis fokus meneliti “Produksi Biodiesel dari Limbah Minyak Goreng menggunakan teknologi gelombang inframerah. Dimana, dalam penelitian ini melihat terlebih dahulu sifat fisikokimia *crude oil* setelah itu diproduksi menggunakan alat teknologi inframerah yang sudah dirancang serta di

uji dan analisis sifat fisikokimia (FFA, nilai kalor, viskositas, densitas, flash point). Diharapkan dari penelitian tersebut diperoleh hasil yang dapat digunakan untuk menjadi acuan di dalam pengembangan biodiesel kedepannya.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana memproduksi biodiesel dari limbah minyak goreng (*waste cooking oil*) dengan nilai hasil produksi (rendemen) yang tinggi?
2. Bagaimana metode dan kondisi proses pembuatan biodiesel yang optimum untuk memberikan hasil kualitas yang terbaik?
3. Bagaimana pengaruh perbandingan persentase katalis dan waktu terhadap hasil biodiesel yang ditinjau dari sifat fisikokimia?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini bersifat komprehensif yang bermula dari upaya mengurangi biaya produksi dengan menggunakan bahan baku yang lebih murah dan tidak mempengaruhi harga minyak mentah yang dikonsumsi manusia, dan mengurangi harga biodiesel. Tujuan penelitian ini secara umum adalah pengembangan proses untuk meningkatkan nilai tambah dari pengolahan bahan baku minyak non-pangan. Secara khusus, tujuannya adalah untuk:

1. Memproduksi biodiesel dari limbah minyak goreng (*waste cooking oil*) menggunakan teknologi inframerah dengan rendemen terbaik
2. Mendapatkan metode dan kondisi proses pembuatan biodiesel dari variasi katalis yang memenuhi syarat mutu standar
3. Mendapatkan kondisi proses transesterifikasi biodiesel yang layak digunakan dan dapat menghasilkan biodiesel yang sesuai dengan Standar SNI, ASTM, EN

1.4. 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 terkait

Renewable Energy (energi terbarukan) 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

4. Bagi Lingkungan

Hasil penelitian ini menjadi solusi terkait pencemaran lingkungan dari limbah minyak goreng yang ada di lingkungan sekitar

1.5. Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Adapun ruang lingkup penelitian ini adalah

1. Bahan baku yang digunakan adalah minyak goreng sisa (*waste cooking oil*)
2. Waktu yang diperlukan untuk proses esterifikasi dan transesterifikasi adalah 15 menit dengan suhu 60 °C dan putaran 800 rpm.
3. Perbandingan variasi katalis KOH 0.5%, 0.75%, 1 %.
4. Uji sifat fisikokimia biodiesel (Viskositas, Nilai Asam, Titik Nyala, Densitas, nilai kalor)

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Berisikan latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penelitian

- **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisikan studi literatur secara umum dan secara khusus mengenai hal hal yang berkaitan dengan penelitian

- **BAB III METODE PENELITIAN**

Berisikan diagram alir penelitian, alat & bahan yang digunakan dalam penelitian, prosedur penelitian yang meliputi persiapan uji operasi, pengoperasian rangkaian alat, dan analisa sampel, serta pengolahan data

- **BAB IV PEMBAHASAN**

- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

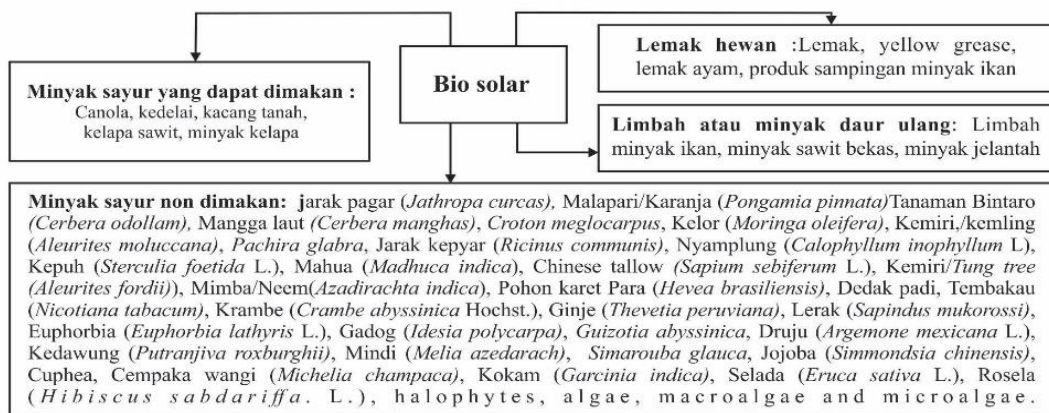
2.1. Teknologi Gelombang Inframerah

Hampir dalam semua proses, reaksi organik maksimum seperti esterifikasi dan transesterifikasi, biasa menggunakan peralatan perpindahan panas bergaya lama seperti pemandian minyak (*oil baths*), bak pengeras lumpur (*silt baths*) dan jaket boiler (*boiler jackets*). Metode pemanasan ini memiliki beberapa kekurangan seperti kenaikan temperatur yang agak lambat, gradien temperatur yang kurang stabil yang dapat menyebabkan produksi substrat dan disintegrasi komponen (Banapurmath et al., 2015; Kumar, Ghaly, & Brooks, 2015) memerlukan waktu yang panjang, menggunakan sejumlah reagen yang cukup banyak serta memerlukan pemantauan reaksi secara off-line (Stojković, Stamenković, Povrenović, & Veljković, 2014). Pemanfaatan gelombang radiasi seperti irradiasi inframerah dan gelombang mikro merupakan teknologi penting dan berkembang pesat dalam *green chemistry*, dimana metode ini sangat ramah lingkungan dan telah digunakan untuk mempercepat reaksi organik secara terpisah (Mobarak et al., 2014). Teknologi inframerah mempunyai daerah panjang gelombang (wavelength): 0,78–1000 mm atau bilangan gelombang (wavenumber): 12.800 – 10 cm⁻¹. Sinar inframerah biasanya dibedakan menjadi dekat (*Near IR*), IR tengah (*Middle IR*), dan IR jauh (*Far IR*). Pemanasan dengan menggunakan gelombang inframerah ini mempunyai kelebihan lebih merata karena bukan mentransfer panas dari luar tetapi membangkitkan panas dari dalam bahan tersebut. Pemanasannya juga dapat bersifat selektif artinya tergantung dari dielektrik properties bahan. Hal ini akan menghemat energi untuk pemanasan (Egbuna et al., 2021)

2.2. Penelitian Terdahulu Biodiesel Limbah Minyak Goreng

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 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. 1. Kalisifikasi bahan baku biodiesel

WCO dapat diperoleh dari rumah tangga, restoran, hotel, dan perusahaan pengolahan makanan setelah menggoreng dan proses persiapan makanan lainnya (Chen et al., 2021). Biodiesel dihasilkan dari minyak goreng bekas (WCO) adalah biofuel generasi kedua karena diperoleh dari bahan baku non-tanaman. Hal ini sangat menjanjikan dari segi kualitas dan biaya produksi (Foteinis, Chatzisyneon, Litinas, & Tsoutsos, 2020). Minyak WCO jauh lebih murah daripada minyak nabati, pembuangan minyak bekas dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.

Selain itu sebagai bahan baku berbiaya murah dibanding solar dari fosil (Babaki, Yousefi, Habibi, & Mohammadi, 2017). 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).

2.2. 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).

2.3. Katalis

Katalis adalah suatu zat yang meningkatkan laju reaksi tanpa dirinya sendiri terlibat reaksi secara permanen sehingga pada akhir reaksi katalis tidak tergabung 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.

Dalam reaksi pembuatan biodiesel diperlukan katalis karena reaksi cenderung berjalan lambat. Maka, katalis akan menurunkan energi aktivasi reaksi sehingga reaksi dapat berlangsung lebih cepat. Katalis yang digunakan dalam pembuatan biodiesel dapat berupa katalis basa maupun katalis asam. Dengan katalis basa reaksi berlangsung pada suhu kamar sedangkan dengan katalis asam reaksi baru berjalan baik pada suhu sekitar 100°C. Bila tanpa katalis, reaksi membutuhkan suhu mulai temperatur 200 °C – 500°C dan diperoleh hasil maksimum metil ester pada temperatur superkritis 350°C (saka et al., 2001).

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 et al., 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).

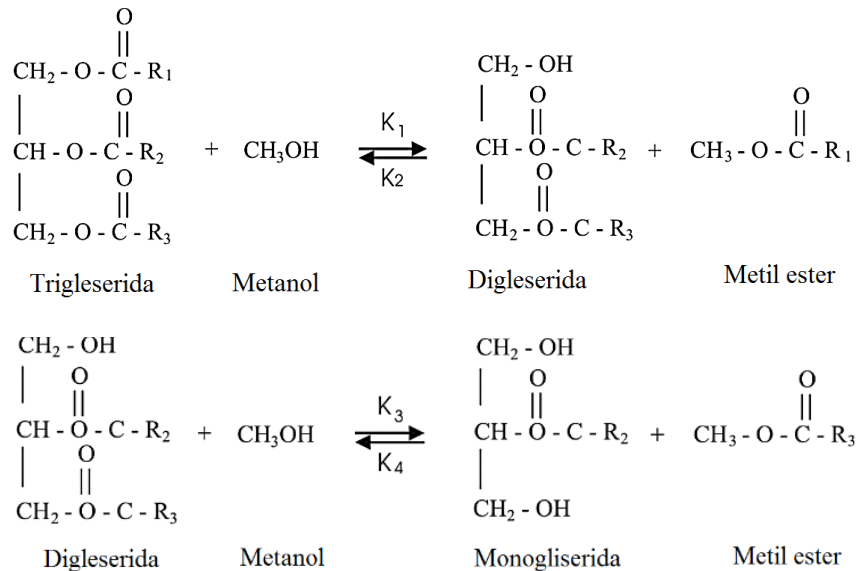
2.4. Esterifikasi dan Transesterifikasi

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.



Gambar 2. 2. Reaksi esterifikasi dan reaksi transesterifikasi

2.5 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 $> 200\text{ }^{\circ}C$, diklasifikasikan sebagai tidak mudah terbakar dan lebih berbahaya untuk menangani dan disimpan jika titik nyala ini di bawah $130\text{ }^{\circ}C$ (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 et al., 2013) dan Tabel 2.2 (Kementerian ESDM., 2022).

Tabel 2.1 Sifat-sifat biodiesel sesuai ASTM dan EN (A. Silitonga 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 ASTM D 189
	dalam 10% ampas distilasi	%-massa, maks	0,3	
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
11	Belerang	mg/kg, maks	100	ASTM D 5453 atau ASTM D 1266
12	Fosfor	mg/kg, maks	10	AOCS Ca 12-55
13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,05	AOCS Cd 3d-63 atau ASTM D 664
14	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
15	Gliserol total	%-massa, maks	0,24	AOCS Ca 14-56 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

Tabel 2.2 Sifat-sifat biodiesel sesuai SNI (Kementerian ESDM., 2022)

No	Parameter uji	Satuan, min/maks	Persyaratan	Metode uji
1	Viskositas Kinematik pada 40°C	mm ² /s (cSt)	2-4,5	ASTM D 445 ASTM D 4052 atau ASTM D
2	Massa jenis pada 15°C	kg/m ³	765-800	1298 ASTM D 613 atau ASTM D
3	Angka setana	Min	70	6890
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C, min	55	ASTM D 93

5	Residu karbon	% m/m	0,2	ASTM D 189 atau ASTM D 4530
6	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,3	ASTM D 664
7	Kestabilan oksidasi			
	Periode induksi metode rancimat,			
	Periode induksi metode petro oksidasi	Menit	2100	EN 15751 ASTM D 7545 atau ASTM D16091
			65	