

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif dari sumber terbarukan yang berasal dari minyak nabati. Menurut *The American Society for Testing and Material* (ASTM) biodiesel didefinisikan sebagai campuran ester monoalkil dari rantai panjang asam lemak yang merupakan energi terbarukan untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Biodiesel dapat diproduksi dari minyak sayur, lemak hewan, mikro dan makro alga, tanaman pangan, dan lain-lain (Chozhavendhan *et al.*, 2020). Biodiesel dapat dihasilkan dengan proses transesterifikasi dan esterifikasi. Proses transesterifikasi adalah reaksi dari lipid dengan alkohol membentuk ester dan gliserol. Sedangkan proses esterifikasi adalah reaksi dari asam karboksilat dengan alkohol yang menghasilkan ester dan air (Darwin, 2018).

Biodiesel memiliki sifat pelumas yang lebih baik dibandingkan bahan bakar fosil diesel (Toldrá-Reig, Mora and Toldrá, 2020). Pembakaran menggunakan biodiesel menghasilkan efisiensi pembakaran yang lebih sempurna, tidak mengandung racun, dan tidak menghasilkan emisi gas sulfur. Pembakaran yang lebih sempurna dipengaruhi oleh *cetane number* pada biodiesel yang memiliki nilai lebih tinggi dari 57 (Renilaili, 2022). Biodiesel memiliki sifat mudah bercampur sehingga pada penggunaannya dapat digunakan secara murni atau dicampur dengan bahan bakar diesel lainnya. Campuran biodiesel dituliskan dengan Bxx dengan xx mengindikasikan persentase biodiesel yang dicampurkan (Ramos *et al.*, 2019). Penggunaan biodiesel seringkali dicampur dengan bahan bakar diesel pada rasio 2,5 dan 20%. Semakin tinggi rasio biodiesel maka emisi karbon yang dihasilkan akan semakin rendah. Penggunaan campuran 20% biodiesel dapat mengurangi emisi karbon sebesar 15,66% (Darwin, 2018). Kandungan karbon organik yang terdapat pada biodiesel berasal dari fotosintesis sehingga kualitas emisi gas buang yang dihasilkan lebih baik dibandingkan bahan bakar fosil. Emisi gas buang yang

dihasilkan dari biodiesel tidak meningkatkan kadar CO₂ pada atmosfer (Keera, El Sabagh and Taman, 2018).

Selain kelebihan-kelebihan biodiesel yang disebutkan, biodiesel memiliki beberapa kelemahan seperti memiliki nilai kalori yang rendah, sifat korosif terhadap bahan kuningan dan tembaga dan dapat menghasilkan emisi gas NO_x yang besar. Biodiesel dapat mendegradasi plastik dan karet alam saat digunakan dalam bentuk murni (Ramos *et al.*, 2019). Biodiesel yang dihasilkan di Indonesia cenderung memiliki sifat asam sehingga dapat mengakibatkan keausan pada mesin (Setyadi and Setyo Wibowo, 2015). Di Indonesia, spesifikasi untuk biodiesel mengacu pada SNI 7182 tahun 2015 tentang Standar Mutu Biodiesel.

Tabel 2.1 Standar Mutu Biodiesel SNI 7182-2015

No	Parameter	Nilai	Satuan	Metode Uji
1.	Massa jenis pada 40 °C	850 - 890	Kg/m ³	ASTM D4052
2.	Viskositas kinematik pada 40 °C	2,3 - 6,0	mm ² /s (cSt)	ASTM D445
3.	Angka Setana	51	Min	ASTM D613
4.	Titik nyala (mangkok tertutup)	100	°C, min	ASTM D93
5.	Titik kabut	18	°C, maks	ASTM D5773/D2500
6.	korosi lempeng tembaga (3jam pada 50 °C)	850 - 890	kg/m ³	ASTM D-130 - 10
7.	Residu karbon dalam percontoh asli atau	0,05	% - massa, maks	ASTM D 4530 atau ASTM D 189
	dalam 10 % ampas distilasi	0,3		
8.	Air dan sedimen	0,05	% - vol., maks	ASTM D 2709
9.	Temperatur distilasi 90%	360	°C, maks	ASTM D 1160
10.	Abu tersulfatkan	0,02	% - massa, maks	ASTM D-874

(Lanjutan **Tabel 2.1** Standar Mutu Biodiesel SNI 7182-2015)

11.	Belerang	50	mg/kg, maks	ASTM D 5453 atau ASTM D-1266, atau ASTM D 4294 atau ASTM D 2622
12.	Fosfor	4	mg/kg, maks	AOCS Ca 12-55
13.	Angka asam	0,5	Mg-KOH/g, maks	AOCS Cd 3d-63 atau ASTM D-664
14.	Gliserol bebas	0,02	%-massa, maks	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D-6584
15.	Gliserol total	0,24	%-massa, maks	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D-6584
16.	Kadar ester metil	96,5	%-massa, min	lihat bagian 9.15 pada SNI 7182:2015
17.	Angka iodium	115	%-massa(g- 12/100g), maks	AOCS Cd 1-25
18.	Kestabilan oksidasi	480	menit	EN 15751
	Periode induksi metode	36		ASTM D 7545
19.	Monogliserida	0.8	%-massa, maks	AOCS Cd 11-57

2.2. Minyak Jelantah

Minyak jelantah adalah limbah dari minyak goreng yang telah dipakai berulang kali. Pemanasan minyak goreng berulang kali pada suhu tinggi (160-180°C) disertai kontak dengan udara dapat mengakibatkan degradasi pada minyak goreng dan menghasilkan senyawa berbahaya seperti asam lemak bebas, senyawa karbonil, dan peroksida. Pemanasan minyak goreng berulang kali juga menyebabkan perubahan warna pada minyak goreng menjadi lebih gelap. Perubahan warna ini diakibatkan oleh reaksi oksidasi dan polimerisasi yang menyebabkan rusaknya vitamin dan asam lemak esensial sehingga dapat menyebabkan keracunan (Muhammad *et al.*, 2020). Dampak buruk mengkonsumsi minyak jelantah antara lain dapat menyebabkan kanker, terjadi deposit lemak yang tidak normal, dan kehilangan kontrol pada pusat syaraf (Damayanti and Supriyatin, 2020). Konsumsi makanan

yang digoreng dengan minyak jelantah meningkatkan resiko mengidap tekanan darah tinggi yang lebih besar (Hadrah, Kasman and Sari, 2018).

Minyak jelantah menjadi salah satu permasalahan limbah di rumah tangga dan restoran. Minyak jelantah sering kali dibuang ke lingkungan tanpa adanya pengolahan sehingga menimbulkan masalah lingkungan. Minyak jelantah yang terserap ke dalam tanah dapat mencemari tanah sehingga berakibat menurunnya kesuburan tanah dan dapat mempengaruhi kandungan mineral dalam air bersih. Pencemaran ini diperparah oleh ketidaktahuan masyarakat dalam mengolah limbah minyak jelantah (Damayanti and Supriyatin, 2020).

Salah satu potensi upaya pengurangan limbah minyak jelantah adalah dengan menggunakan minyak jelantah sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Minyak jelantah memiliki potensi menjadi bahan baku pembuatan biodiesel karena mengandung senyawa trigliserida yang dapat terurai menjadi senyawa lain seperti asam lemak bebas (Suryandari *et al.*, 2021). Penggunaan minyak jelantah sebagai bahan baku produksi biodiesel juga dapat menurunkan biaya produksi biodiesel karena 70-80% biaya produksi biodiesel berasal dari biaya bahan baku (Rahimzadeh *et al.*, 2018).

2.3. Katalis

Katalis adalah sebuah substansi yang meningkatkan laju reaksi kimia tanpa ikut terlibat dalam reaksi tersebut. Laju reaksi kimia umumnya ditentukan dengan batas energi yang harus dilampaui untuk mengubah reaktan menjadi produk. Energi ini disebut sebagai energi aktivasi. Energi aktivasi dapat diturunkan dengan adanya katalis sehingga laju reaksi lebih cepat terjadi. Katalis yang efektif memberikan efisiensi yang tinggi untuk mengubah reaktan menjadi satu atau beberapa produk melalui beberapa tahapan. Katalis hanya mengubah kinetika reaksi namun tidak mengubah sifat termodinamika dari suatu reaksi (Marchetti, 2021).

Katalis dapat dibagi menjadi dua berdasarkan pada sifat bahannya yaitu katalis homogen dan katalis heterogen.

a. Katalis Homogen

Katalis homogen adalah material katalis yang memiliki fasa yang sama dengan reaktan dan produknya. Katalis homogen juga dapat digolongkan menjadi asam dan basa, serta organik dan anorganik. Kelebihan dari katalis homogen adalah memiliki selektivitas yang tinggi karena memiliki situs aktif yang banyak dan digunakan saat kondisi operasi ringan. Katalis homogen yang memiliki fasa yang sama dengan reaktannya menjadi kekurangan bagi penggunaan katalis homogen. Perbedaan fasa antara reaktan dan katalis membuat pemisahan produk menjadi lebih sulit dan memakan waktu lebih banyak sehingga biaya yang diperlukan akan semakin banyak (Okechukwu *et al.*, 2022)

b. Katalis Heterogen

Katalis heterogen adalah material katalis yang memiliki fasa yang berbeda dari reaktan atau produknya. Katalis heterogen yang digunakan pada industri umumnya berbentuk padatan. Katalis heterogen lebih umum digunakan pada industri kimia walaupun memiliki selektivitas yang lebih kecil jika dibandingkan dengan katalis homogen. Katalis heterogen memiliki fasa yang berbeda dengan reaktannya sehingga lebih mudah dipisahkan, selain itu katalis heterogen dapat digunakan pada kondisi operasi yang ekstrim. Katalis heterogen dapat diproduksi dengan berbagai teknik, material, properti, sehingga dapat dibuat menyesuaikan dengan kebutuhan suatu reaksi (Marchetti, 2021).

Biodiesel dapat diproduksi dengan reaksi transesterifikasi, yaitu reaksi antara trigliserida dan alkohol dengan bantuan katalis yang menghasilkan gliserol dan senyawa alkil ester asam lemak rantai panjang. Katalis yang digunakan pada reaksi transesterifikasi dapat berupa katalis homogen ataupun katalis heterogen. Penggunaan katalis homogen seperti katalis homogen basa NaOH dan KOH memiliki keuntungan tingginya konversi dan memerlukan biaya yang cukup murah, namun penggunaan katalis homogen membutuhkan energi yang besar dan terjadi pembentukan sabun yang merupakan produk yang tidak diinginkan (Cruz *et al.*, 2021). Penggunaan katalis asam homogen seperti HCL dan H₂SO₄ memerlukan

kuantitas alkohol yang banyak dan katalis homogen tidak dapat digunakan kembali serta perlu dinetralisasi. Adapun beberapa sifat asam yang korosif memerlukan biaya pemeliharaan alat yang lebih banyak karena dapat merusak alat (Rahimzadeh *et al.*, 2018). Kekurangan dari katalis homogen dapat diatasi dengan menggunakan katalis heterogen. Katalis heterogen memiliki keunggulan mudah dipisahkan, tidak korosif, ramah lingkungan, dapat digunakan berulang kali dan tidak sensitif terhadap kandungan air dan FFA (Chozhavendhan *et al.*, 2020). Penelitian yang menggunakan katalis heterogen sebagai katalis dalam reaksi transesterifikasi telah dilakukan oleh peneliti terdahulu, berikut data yang didapatkan dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 2.2 State Of The Art

Jurnal	Katalis yang digunakan	Hasil biodiesel
Hartono et al., 2022	Bentonit Bojong Manik Lebak Banten	Hasil optimal biodiesel yang diperoleh yaitu sebesar 92,3% berat pada katalis 26 %KOH (b/b)
Berghuis et al., 2022	Zeolit dan Bentonit	Nilai rendemen biodieselnnya katalis bentonit sebesar 91,75% dan zeolit sebesar 86,05%.
Boucheta et al., 2023	Ni/Bentonit	Tingkat konversi yang diperoleh pada Ni/B dan B, masing-masing, adalah 91,01% dan 18,37%.
Hamzah et al., 2021	NaOH/bentonit	Hasil yield tertinggi FAME (72%) ditemukan dalam pengadukan terus menerus pada suhu 55°C selama 2 jam dan rasio metanol/molar minyak 15:1 dengan 0,5wt.% (0,15g) katalis NaOH/bentonit.
Desta, 2019	NaOH/bentonit	Yield biodiesel tertinggi 89.74 % diperoleh pada penggunaan jumlah katalis 2 %, suhu reaksi 64.45°C, rasio mol 1 : 6.

2.4. Bentonit

Bentonit merupakan mineral lempung yang mengandung monmorilonit sekitar 85% dan tersusun atas struktur kristal berpori dan berlapis dari mineral alumina-silika. Bentonit memiliki luas permukaan yang besar, kemampuan untuk mengembang, sifat penukar ion, dan mudah menyerap air. Bentonit bersifat lunak, terasa berlemak saat dipegang, memiliki berat jenis berkisar antara 1,7 – 2,7. Bentonit memiliki kemampuan untuk mengembang karena memiliki ruang antar lapis yang membantu molekul berukuran tertentu untuk menyeimbangkan muatan negatif pada lapisan bentonit dan kation yang mudah ditukar untuk diikat (Sukandarrumidi, 1998). Bentonit merupakan salah satu sumber daya mineral yang melimpah di Indonesia sehingga merupakan aset potensial yang harus dimanfaatkan sebaik baiknya. Senyawa montmorillonit dalam bentonit banyak digunakan pada berbagai aplikasi industri karena membutuhkan biaya rendah dalam pengolahannya dan aspek rasio yang tinggi (Zaimahwati *et al.*, 2018).

Bentonit dapat dilakukan modifikasi untuk meningkatkan luas permukaan. Sisi aktif bentonit berpotensi digunakan sebagai katalis. Sisi aktif katalis pada bentonit dapat diperbanyak dengan penambahan bahan pendukung yang disebut dengan metode impregnasi. Impregnasi adalah proses pengadsorpsian garam logam yang mengandung komponen logam aktif dalam larutan ke padatan bentonit (Riskiani, Suprihatin and Sibarani, 2019).

2.5. Jenis-jenis Bentonit

Bentonit dibedakan berdasarkan sifat fisika dan kimianya serta komposisi bahannya. Terdapat 2 jenis bentonit :

a. *Swelling* (Na-Bentonit)

Na-Bentonit (*Swelling* Bentonit/bentonit yang bisa mengembang) adalah bahan tanah liat dengan kandungan montmorillonit tinggi, dengan Natrium sebagai kandungan kation utama yang banyak mengalami pertukaran ion, memiliki kemampuan mengembang yang kuat jika dicelupkan kedalam air. Kemampuan mengembangnya dan permeabilitas tinggi untuk air, Na-bentonit sering digunakan sebagai bahan konstruksi, pengeboran lumpur, penyumbat

kebocoran bendungan, pengecoran logam. (Harjupatana, Miettinen and Kataja, 2022)

b. *Non Swelling* (Ca-Bentonit)

Ca-Bentonit (*Non Swelling* Bentonit), bentonit jenis ini disebut Mg, Ca-bentonit. Bentonit jenis ini mengandung CaO (kalsium) dan MgO (magnesium) lebih banyak dibandingkan natriumnya. Bentonit ini mempunyai sifat sedikit menyerap air, dan kemampuan mengembangnya rendah. Pertukaran ionnya lebih banyak pada ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} . (Atikah, 2017)

2.6. Metanol

Salah satu alkohol yang digunakan pada reaksi transesterifikasi biodiesel adalah methanol. Banyak jenis alkohol yang bisa digunakan pada reaksi transesterifikasi, tetapi metanol yang paling disukai karena biaya yang relatif rendah dan panjang rantai terpendek. Selain itu, metanol dapat bereaksi cepat dengan trigliserida dan dengan mudah melarutkan natrium hidroksida dan natrium metoksida (Singh and Gaurav, 2018)

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi dapat balik, oleh karena itu metanol yang direaksikan harus dalam jumlah yang besar untuk menggeser reaksi ke arah pembentukan metil ester. Hasil penelitian (Hidayati, Ariyanto and Septiawan, 2017) menunjukkan pengaruh alkohol terhadap yield biodiesel yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi mendapatkan yield biodiesel terbanyak pada rasio molar alkohol tertinggi dengan memvariasikan rasio molar alkohol-minyak sebesar (9:1, 12:1, dan 15:1). Hasil penelitian (Hidayati, Ariyanto and Septiawan, 2017) memperoleh yield terbesar yaitu pada percobaan dengan jumlah katalis 3% dan perbandingan molar alkohol-minyak 15:1 yaitu sebesar 53,1%. Hasil penelitian ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Banerjee dan Chakraborty. Banerjee dan Chakraborty menyimpulkan bahwa kadar alkohol yang melebihi proporsi stoikiometri umumnya digunakan untuk reaksi transesterifikasi agar biodiesel yang dihasilkan meningkat. Perbandingan molar alkohol-minyak dengan alkohol yang lebih tinggi terhadap minyak diperlukan untuk hasil biodiesel yang lebih baik. Namun, dampak kenaikan alkohol terhadap minyak pada produksi biodiesel

menjadi kurang signifikan untuk proses katalis basa dibandingkan dengan proses katalis asam. (Hidayati, Ariyanto and Septiawan, 2017)

2.7. Reaksi Esterifikasi

Reaksi esterifikasi merupakan reaksi antara asam lemak bebas dan alkohol membentuk ester dengan mengkonversi asam lemak bebas yang terkandung di dalam trigliserida menjadi metil ester dan hasil samping dari reaksi ini terbentuk air. Hasil samping berupa air tersebut dapat diatasi dengan menggunakan metanol berlebih, air yang terbentuk akan larut dalam metanol dan tidak menghambat proses reaksi. Selain itu, metanol juga dapat menghambat laju hidrolisis dalam suasana basa karena methanol dalam bentuk ion metoksida bereaksi dengan trigliserida menghasilkan metil ester. (Suleman, Abas and Paputungan, 2019)

Katalis asam adalah katalis yang cocok untuk reaksi spesifik seperti esterifikasi. Esterifikasi adalah reaksi reversibel sederhana yang terlibat dalam produksi biodiesel, FFA diubah menjadi Fatty Acid Methyl Ester (FAME) melalui reaksi dengan metanol dengan menggunakan asam kuat, seperti: asam sulfat, asam fosfor dan asam klorida sebagai katalis homogen. (Nata *et al.*, 2017)

2.8. Reaksi Transesterifikasi

Proses produksi biodiesel yang paling umum digunakan adalah transesterifikasi. Bahan baku yang digunakan dalam proses ini adalah trigliserida (seperti minyak jelantah). Proses transesterifikasi merupakan reaksi trigliserida dengan alkohol dengan bantuan katalis untuk menghasilkan metil ester asam lemak dan gliserin. Proses pembuatan biodiesel dengan proses transesterifikasi menggunakan katalis basa homogen. Proses dimulai dengan memasukkan semua bahan baku berupa minyak dengan metanol ke dalam reaktor dibantu dengan katalis NaOH atau KOH. (Saputro *et al.*, 2022)

Beberapa faktor yang mempengaruhi reaksi transesterifikasi :

- a. Rasio molar trigliserida terhadap alkohol

Peningkatan rasio molar methanol-minyak secara teori akan meningkatkan yield biodiesel. Meningkatnya jumlah methanol dalam minyak akan

menggeser reaksi ke arah kanan atau ke arah produk sehingga akan meningkatkan yield biodiesel. Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Prihanto and Irawan, 2017a) pengaruh rasio molar metanol-minyak terhadap yield biodiesel pada suhu 60°C dengan konsentrasi katalis KOH 1% ; 1,25% dan 1,5 % bahwa yield biodiesel maksimal dicapai pada rasio molar metanol-minyak 6:1 yaitu sebesar 87,3 %.

Rasio molar antara alkohol dan minyak nabati tergantung dari jenis katalis yang digunakan, untuk menjamin reaksi transesterifikasi berlangsung ke arah kanan maka direkomendasikan menggunakan katalis berlebih, perbandingan rasio molar 6 : 1 dari metanol terhadap katalis basa bisa digunakan untuk mendapat rendemen ester yang maksimum atau sekitar 20% metanol menghasilkan Rendemen minyak biodiesel tertinggi (Prihanto and Irawan, 2017a)

b. Suhu reaksi

Naiknya suhu reaksi akan menurunkan viskositas minyak sehingga laju reaksi akan meningkat. Meningkatnya suhu reaksi juga dapat meningkatkan jumlah tumbukkan efektif untuk menghasilkan reaksi sehingga biodiesel yang dihasilkan juga meningkat. (Prihanto and Irawan, 2017a)

Biasanya suhu reaksi transesterifikasi harus di bawah titik didih alkohol untuk mencegah penguapan alkohol. Kisaran suhu reaksi optimal dapat bervariasi dari 50°C hingga 60°C tergantung pada minyak atau lemak yang digunakan (Lestari *et al.*, 2021)

c. Waktu reaksi

Lamanya waktu reaksi dapat meningkatkan yield biodiesel, sehingga meningkatkan produksi biodiesel. Tetapi waktu yang terlalu lama dapat mengakibatkan pengurangan produk biodiesel karena reaksi reversible transesterifikasi yang mengakibatkan hilangnya ester serta pembentukan sabun. (Lestari *et al.*, 2021)

d. Kandungan dan jenis trigliserida dan air

Minyak yang mempunyai nilai FFA < 3 % maka bisa langsung diproses dengan transesterifikasi dengan katalis basa (Ribeiro, Castro and Carvalho,

2017). Kandungan FFA > 5% maka proses harus dilakukan dengan Es-trans (esterifikasi-transesterifikasi). (Prihanto and Irawan, 2017a)

Keberadaan air yang berlebihan dapat menyebabkan sebagian reaksi dapat berubah menjadi reaksi sabun atau saponifikasi yang akan menghasilkan sabun, sehingga meningkatkan viskositas, terbentuknya gel dan dapat menyulitkan pemisahan antara gliserol dan biodiesel.