

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1. Biodiesel

2.1.1 Sumber Bahan Baku

Bahan baku biodiesel harus memenuhi dua persyaratan utama yaitu biaya produksi rendah dan diproduksi pada skala besar. Secara umum ada lebih dari 350 tanaman yang mengandung minyak yang teridentifikasi sebagai sumber bahan baku potensial untuk produksi biodiesel. Selain dari bahan tanaman sumber bahan baku bisa berasal dari limbah yang tidak digunakan dengan persyaratan mengandung lemak (trigliserida). Secara umum bahan baku biodiesel dibagi menjadi tiga generasi sebagai berikut:

2.1.2 Generasi Pertama

Biofuel generasi satu mengacu kepada biofuel yang dibuat dari hasil utama tanaman termasuk tanaman yang menghasilkan pangan. Biofuel yang dihasilkan bisa berupa bioetanol ataupun biodiesel, sebagai contoh seperti minyak sawit, kedelai, bunga matahari, lobak, kelapa dan kacang merupakan generasi pertama dari bahan baku biodiesel karena merupakan bahan baku yang pertama yang digunakan untuk produksi biodiesel. Perkebunannya telah banyak terdapat di banyak negara di seluruh dunia seperti Malaysia, Amerika Serikat dan Jerman. Saat ini, lebih dari 95 % biodiesel dunia dihasilkan dari minyak yang (*edible*) seperti lobak (84 %), minyak bunga matahari (3 %), kedelai (8 %) dan lain-lain (2 %). Namun, penggunaan bahan baku tersebut banyak kekhawatiran seperti krisis makanan versus krisis BBM dan lingkungan yang besar seperti kerusakan tanah, penggundulan hutan dan penggunaan yang berlebihan dari tanah yang subur. Selain itu, dalam 10 tahun terakhir harga minyak nabati meningkat secara drastis yang akan mempengaruhi kelangsungan produksi biodiesel. Selain itu, penggunaan minyak edible untuk menghasilkan biodiesel tidak baik untuk jangka panjang dikarenakan tumbuhnya kesenjangan permintaan dan pasokan minyak seperti di banyak negara. Sebagai contoh menggunakan semua kedelai di AS untuk produksi biodiesel hanya akan memenuhi 6 % kebutuhan diesel (Widayat and Wibowo

2013).

Bahan baku yang dapat diperbaharui yang potensial untuk produksi biodiesel dari minyak nabati edible, non-edible, lemak hewan, minyak daur ulang atau minyak goreng bekas, produk samping minyak *edible*, industri susu serta asam lemak lainnya yang jenuh maupun tidak jenuh yang bervariasi dalam rantai karbon panjang dan tingkat ketidak jenuhannya. Kriteria pemilihan dari minyak nabati adalah : ketersediaan biaya, kualitas minyak (komposisi) dan ketahanan produk (Widayat and Wibowo 2013).

2.1.3 Generasi Kedua

Biodiesel generasi kedua merupakan hidrokarbon turunan dari minyak nabati yang mengalami proses hidrogenasi (hidroproses). Melalui jalur ini, aneka minyak nabati, lemak binatang atau campuran biominyak dan minyak bumi bahkan minyak nabati bekas pakai (misalnya, *waste cooking oil*) bisa diproses sekaligus menghasilkan aneka fraksi hidrokarbon yang siap dipisah-murnikan. Sebagai contoh, hidroproses minyak kelapa sawit, minyak kedelai atau minyak biji bunga matahari menghasilkan turunan hidrokarbon dengan rantai karbon 15 hingga 18 sebagai produk utama. Salah satu solusi untuk mengurangi penggunaan minyak *edible* untuk biodiesel adalah dengan memanfaatkan minyak non *edible*. Sumber-sumber minyak edible telah mendapatkan perhatian dunia karena dengan tersedia di banyak negara di dunia terutama yang tidak cocok untuk tanaman pangan, dapat menghilangkan kompetisi dengan tanaman makanan, mengurangi penggundulan hutan, lebih ramah lingkungan, menghasilkan produk samping yang berguna dan sangat ekonomis dibanding dengan minyak *edible*. Sumber utama untuk produksi biodiesel dari minyak non-edible adalah jarak pagar (*Jatropha curcas*), karanja atau bongre (*Pongamia pinnata*), *Aleurites molucana*, *Pachira glabra naghampa* (*Calophyllum inophyllum*), biji karet (*Hevea brasiliensis*), Desert date (*Balanites aegyptiaca*), *Croton megalocarpus*, dedak, mangga laut (*Cerbera odollam*), *Terminalia belerica*, mimba (*Azadirachta indica*), minyak, biji Koroch (*Pongamia glabra vent*), mahoni (*Madhuca indica*) dan lain-lain (Ahmad *et al.* 2012) (Widayat and Wibowo 2013)

Lemak hewan seperti lemak daging sapi, lemak unggas, lemak babi, minyak

bekas, juga dianggap sebagai baku generasi kedua. Penggunaan bahan baku jenis ini dapat berguna untuk memanfaatkan bahan yang kurang berguna/selalu dibuang. Namun, telah dilaporkan bahwa bahan generasi kedua mungkin tidak cukup banyak untuk memenuhi permintaan energi global. Selain itu, biodiesel yang berasal dari minyak nabati dan lemak hewan memiliki kinerja yang relatif rendah dalam cuaca dingin dan juga untuk berberapa jenis lemak hewan, proses transesterifikasi masih sulit karena mengandung asam lemak jenuh yang tinggi. Apabila menggunakan minyak goreng bekas, infrastruktur pengumpulan dan logistiknya masih menjadi hambatan dari sumber bahan baku yang umumnya tersebar (Widayat and Wibowo 2013).

2.1.3.1 Minyak Goreng

Produksi biodiesel dari minyak goreng bekas sebagai pengganti petrodiesel merupakan salah satu langkah untuk memecahkan masalah pencemaran lingkungan, minyak goreng bekas atau jelantah dari industri pangan dan rumah tangga cukup banyak tersedia di Indonesia. Minyak jelantah ini tidak baik jika digunakan kembali untuk memasak karena banyak mengandung asam lemak bebas dan radikal yang dapat membahayakan kesehatan. Konversi langsung minyak jelantah atau minyak goreng bekas menjadi biodiesel sudah cukup lama dilakukan oleh para peneliti biodiesel namun beberapa mengalami kegagalan, karena minyak goreng bekas mengandung asam lemak bebas dengan konsentrasi cukup tinggi. Perlu diketahui jika kandungan FFA $<15\%$, maka disebut “lemak kuning”, lebih dari itu disebut “lemak coklat”, harganya 2-3 kali lebih murah daripada minyak goreng baru. Manajemen minyak goreng bekas menimbulkan tantangan besar pada pembuangan dan kemungkinan kontaminasi pada air. Untuk mengurangi biaya produksi, sebagian besar minyak goreng secara ilegal dibuang ke sungai dan tempat pembuangan sampah yang menyebabkan polusi lingkungan, penggunaan minyak goreng bekas untuk produksi biodiesel sebagai pengganti petrodiesel menawarkan keuntungan yang signifikan karena mampu menurunkan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, biodiesel yang berasal dari minyak goreng bekas telah dipatenkan komersial sebagai bahan bakar alternatif mesin diesel di pasar Eropa dan Amerika Serikat (Widayat and Wibowo 2013).

Konversi minyak goreng bekas menjadi metil ester melalui proses transesterifikasi dapat mengurangi berat molekul hingga sepertiganya, mengurangi viskositas sekitar satu per tujuh, sedikit menurunkan titik nyala, meningkatkan volatilitas serta mengurangi titik tuang meneliti sifat propertis metil ester dari minyak goreng bekas yang secara umum mirip dengan petrodiesel. Nilai kalor metil ester dari minyak goreng bekas lebih rendah dibandingkan dengan petrodiesel. Angka setana dan titik nyala biodiesel menjadi lebih tinggi daripada petrodiesel, viskositas biodieselnnya menjadi sedikit lebih tinggi daripada petrodiesel. Dengan demikian, metil ester dari minyak goreng bekas dapat digunakan dalam mesin diesel tanpa modifikasi apapun (Widayat and Wibowo 2013).

Kadar FFA dalam minyak goreng bekas dapat mencapai > 10 % berat maka penggunaan katalis asam lebih disukai, tapi membutuhkan metanol berlebih yang sangat banyak, tekanan tinggi (170-180 kPa) dan peralatan baja stainless cukup mahal. Selain itu, hasil dari produk yang rendah (82 % konversi massa dengan 200 % kelebihan metanol) ketika menggunakan H_2SO_4 sebagai katalis. Untuk menghindari masalah yang terkait dengan penggunaan katalis asam dan basa, terutama masalah penyabunan dan waktu reaksi yang lambat, banyak peneliti telah mengembangkan proses dua tahap proses esterifikasi-transesterifikasi. Dalam tahap pertama, esterifikasi FFA dengan menggunakan katalis asam untuk mengurangi tingkat FFA hingga kurang dari 1 % (Sarin 2012).

Tahap kedua transesterifikasi dengan katalis basa, seperti NaOH atau KOH. Esterifikasi katalis asam menggunakan H_2SO_4 sebagai katalis dan transesterifikasi dua tahap yang menghasilkan 97,22 % konversi FFA dan TG menjadi FAME. Penggunaan Fe_3SO_4 2 % berat sebagai katalis asam dan KOH 1 % berat sebagai katalis basa dimana reaksi dilansungkan pada 368 K selama 4 jam dengan rasio molar minyak terhadap metanol (1:10). Proses produksi dengan dua tahap akan memberikan keuntungan yaitu air limbah yang bebas asam, efisiensi tinggi, biaya peralatan murah dan mudah untuk recovery katalis dibandingkan dengan proses 1 tahap (Widayat and Wibowo 2013)

Karakteristik minyak goreng bekas memiliki kandungan trigliserida yang cukup tinggi mencapai 85 % dan kandungan FFA 11,2 % (Rincón *et al.* 2011).

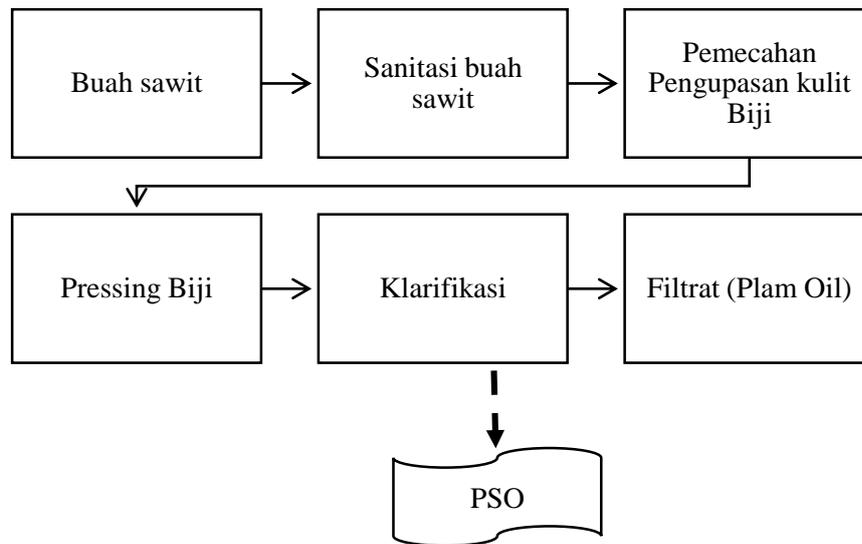
Minyak goreng bekas sebagaimana disajikan pada tabel 2.1 adalah karakteristik dari minyak goreng bekas menurut (Banani *et al.* 2015).

Tabel 2.1. Karakteristik Fisika Kimia minyak Goreng Bekas (Banani *et al.* 2015)

Parameter	Unit	Nilai
Viskositas (pada 40°C)	mm ² /s	23.12
Densitas (pada 15°C)	g/cm ³	0.91
Kadar Air	PPM	1765
Bilangan Asam	mg KOH/g	32.83

2.1.3.2 Palm Sludge Oil

Palm Sludge Oil (PSO) adalah produk sampingan yang diperoleh dari penggilingan minyak sawit (gambar 2.1). PSO banyak digunakan untuk membuat sabun cuci dan untuk memproduksi sabun kalsium dan untuk formulasi pakan ternak. Sifat dan komposisi PSO dapat berbeda sesuai dengan variasi dalam bahan baku minyak sawit dan proses pemurnian secara alkalin. Analisis menggunakan headspace-gas-chromatographic (HSGC) dan analisis gas-kromatografi dari ekstrak dari distilasi uap didapat kadar air rata-rata 0,98 % , asam lemak bebas 62,6 % (asam palmitat), nilai peroksida 4,1 meq / kg, nilai iodin 50,2, nilai saponifikasi 186 dan materi tak tersertifikasi 0,53 profil HSGC dari beberapa sampel menunjukkan adanya satu hingga tiga puncak, sedangkan ekstrak distilasi uap menunjukkan adanya aldehida, keton, furan dan asam (Kuntom *et al.*, 1994).



Gambar 2.1 Alur Produksi Palm Sludge Oil (Singh *et al.* 2010)

Palm Sludge Oil (PSO) adalah bahan baku yang signifikan dengan kandungan trigliserida dan asam lemak lebih dari 40 % untuk produksi biodiesel.

2.1.4 Generasi Ketiga

Biofuel generasi tiga mengacu kepada pembuatan biofuel dari bahan hasil panen budidaya algae atau dari bahan mikroorganisme seperti bakteri dan jamur (Leong *et al.* 2018), mikroalga telah muncul menjadi bahan baku generasi ketiga untuk produksi biodiesel. Mikroalga adalah mikroorganisme fotosintetik yang dapat mengkonversi sinar matahari, air dan CO₂, menjadi biomassa ganggang dan dilakukan dengan lebih efisien daripada tanaman konvensional. Ini merupakan bahan baku yang sangat menjanjikan karena kemampuan fotosintesis yang tinggi untuk menghasilkan biomassa laju pertumbuhan dan produktivitas yang lebih tinggi serta kandungan minyak yang tinggi dibandingkan dengan bahan baku *edible* dan *non-edible*. Mikroalga memiliki potensi untuk menghasilkan minyak sampai dengan 25 kali lebih tinggi daripada minyak kelapa sawit dan 250 kali dari kedelai. Hal ini dikarenakan mikroalga dapat tumbuh di ruang terbuka atau bioreaktor. Mikroalga lebih mudah untuk dikultivasi daripada kebanyakan tanaman lainnya, sehingga diyakini bahwa mikroalga dapat berperan penting dalam memecahkan

masalah antara produksi makanan dengan produksi biodiesel di masa depan. Mikroalga sepertinya menjadi satu-satunya sumber bahan-bahan baku biodiesel yang mampu memenuhi kebutuhan global akan kebutuhan transportasi dan dapat dikembangkan secara terus- menerus di mas depan. Hambatan utama dalam komersialisasi mikroalga adalah biaya produksi yang tinggi karena diperrlukan strain alga yang menghasilkan *yield* minyak yang tinggi dan efektif pada bioreaktor berskala besar (Widayat and Wibowo 2013).

2.1.5 Proses Pembuatan Biodiesel

Pada proses pembuatan biodiesel, minyak nabati ditransesterifikasikan dengan alkohol dengann bantuan pemanasan dan katalis. Katalis yang digunakan dalam produksi biodiesel dibagi dalam dua kategori umum,yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Jika katalis berada dalam fasa cair yang sama dengan reaktan selama proses transesterifikasi, maka disebut transesterifikasi katalitik homogen, sedangkan jika katalis berada dalam fasa yang berbeda (yaitu padatan, cairan yang tak campur (immiscible atau gas) yang berbeda dengan reaktan yang cairan maka disebut transesterifikasi katalit heterogen Pada metode katalitik, pemilihan katalis yang sesuai adalah hal penting untuk menurunkan biaya produksi biodiesel. Saat ini biodiesel komersial diproduksi menggunakan katalis homogen (de Blasio. 2019).

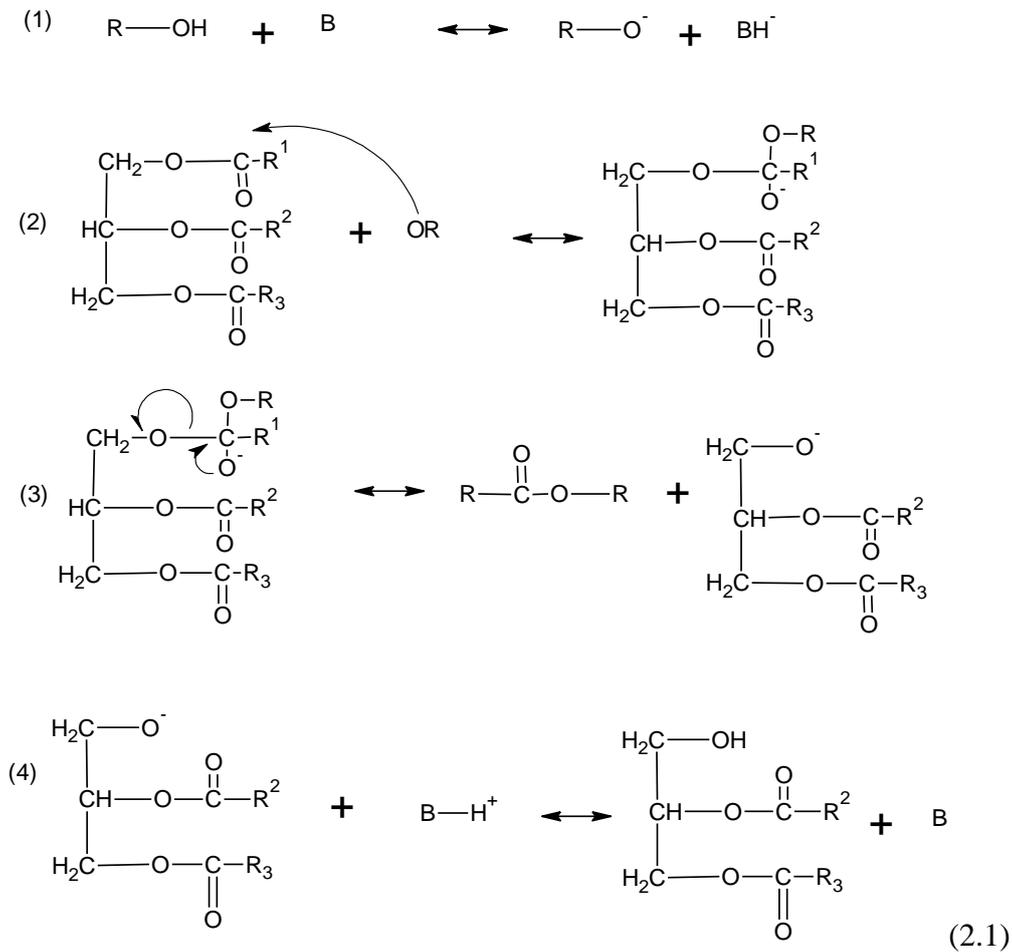
Katalis dalam reaktor berpengaduk sambil dipanaskan selama waktu tentu hingga reaksi selesai. Setelah reaksi selesai akan terbentuk 2 lapisan yang tak saling campur yaitu lapisan atas adalah biodiesel dan lapisan bawah adalah gliserol dengan sisa alkohol. Biodiesel lalu dicuci dengan air lalu dikeringkan untuk mendapat biodiesel murni. Sedangkan fasa gliserol dan alkohol akan dipisahkan menjadi gliserol dan alkohol schingga alkoholnya dapat dipakai kembali. Faktor yang mempengaruhi pemilihan jenis katalis adalah kadar asam lemak bebas (FFA) yang terkandung di dalam minyak. Untuk minyak yang memiliki kadar FFA yang kecil, penggunaan katalis basa akan memberikan konversi yang lebih baik dalam waktu yang relatif singkat. Untuk minyak yang memiliki kadar FFA yang cukup tinggi, perlu dilakukan esterifikasi dengan katalis asam yang diikuti den transesterifikasi.

Reaksi menggunakan katalis enzimatis tidak sensitif terhadap kandungan FFA dan air dalam minyak, karena reaksi enzimatis dapat digunakan untuk transesterifikasi pada minyak goreng. Berbagai penelitian telah dilakukan dengan menggunakan bahan baku minyak yang berbeda, berbagai jenis alkohol (metanol, etanol, butanol), serta berbagai katalis, termasuk katalis homogen seperti NaOH, KOH dan H₂SO₄, dan katalis heterogen seperti lipase, CaO dan MgO (Widayat and Wibowo 2013) (Van Gerpen. 2005).

2.1.5.1 Katalis Basa Homogen

Berberapa jenis katalis basa homogen yang digunakan untuk transesterifikasi minyak nabati yang paling umum di antaranya adalah natrium hidroksida (NaOH), natrium metoksida (NaOCH₃), kalium hidroksida (KOH) dan (KOCH₃). Adapun mekanisme reaksi transesterifikasi dengan katalis basa homogen terdiri dari 4 tahapan: (1) katalis basa akan membentuk spesies aktif (2) terjadi penyerangan nukleofilik RO⁻ ke gugus karbonil pada trigliserida yang memintermediate tetrahedral, (3) terjadi perpecahan pada intermediate tersebut menghasilkan monoester, (4) Regenerasi spesies aktif RO⁻. Tahapan tersebut terjadi juga paa R1 kan R,3 Gambaran mekanisme reaksinya lebih detail dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Widayat and Wibowo 2013).

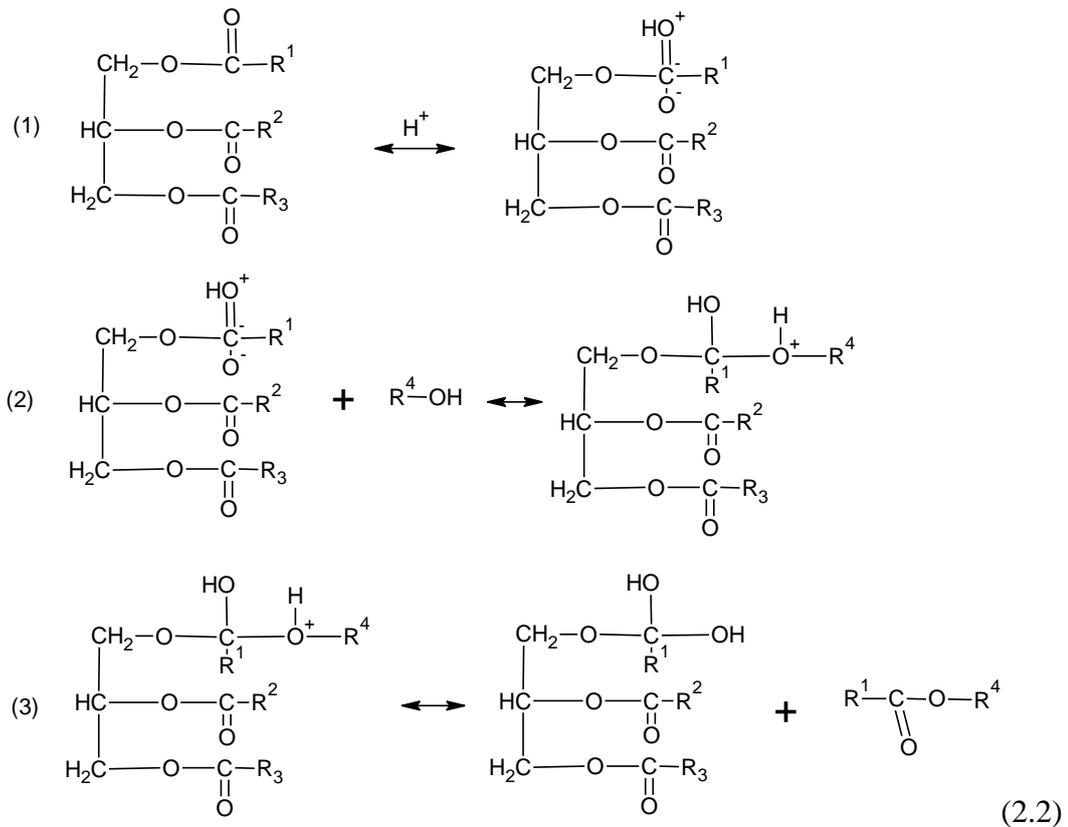
Penggunaan NaOH sebagai katalis sebih disukai dibanding KOH dikarenakan tidak terlalu mengemulsi, memudahkan dalam proses pemisahan gliserol dan harga lebih murah. Natrium Metoksida menjadi katalis yang lebih efektif daripada NaOH dikarenakan NaOCH₃ Akan mengurai menjadi CH₃O⁻ dan Na⁺ dan tidak akan membentuk air seperti menggunakan NaOH atau KOH. Selain itu pemakaian katalis hanya 50 % dari katalis NaOH, namun pemakaian katalis NaOCH₃ masih jarang karena harganya yang cukup mahal. Kalium Hidroksida (KOH) adalah katalis basa yang secara luas digunakan dalam proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi menggunakan KOH menghasilkan produk yang lebih baik dan proses pemisahan lebih mudah, sehingga KOH lebih disukai dibandingkan dengan NaOH (Widayat and Wibowo 2013).



dengan B adalah Katalis Basa, R_1, R_2, R_3 adalah Rantai karbon Asam Lemak dan R adalah Gugus Alkil Alkohol

2.1.5.2 Katalis Asam Homogen

Katalis asam yang paling umum digunakan sebagai reaksi transesterifikasi antara lain Asam Sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl), asam fosfat (H_3PO_4) dan asam-asam organik sulfonat. Mekanisme reaksi transesterifikasi dengan katalis asam homogen terdiri dari 3 tahapan: (1) terjadi protonasi pada gugus karbonil trigliserida oleh katalis asam terjadi penyerangan nukleofilik oleh alkohol membentuk intermediate tetrahedral (3) terjadi migrasi proton dan pemecahan intermediate menjadi monoester. Tahapan tersebut terjadi juga pada R_2 dan R_3 (Widayat and Wibowo 2013).



dengan R_1, R_2, R_3 adalah Rantai karbon Asam Lemak dan R_4 adalah Gugus Alkil Alkohol

Katalis asam terbukti sangat efisien dan populer untuk proses transesterifikasi tetapi katalis ini tidak menunjukkan hasil yang baik ketika bahan memiliki kadar air dan asam lemak bebas yang tinggi. Katalis asam sangat sensitif terhadap kandungan air yang menyebabkan pembentukan sabun dan pemisahan menjadi sulit. Bilangan asam sebagian besar minyak non-edible lebih tinggi daripada kinerja katalis basa. Sehingga dalam kasus tersebut harus digunakan katalis asam, permasalahan yang terkait dengan katalis ini adalah jumlah alkohol yang lebih tinggi, suhu dan tekanan reaksi yang lebih tinggi dan laju reaksi lambat, menyebabkan korosi ada reaktor dan isu lingkungan yang menjadi hambatan dalam penggunaan katalis asam. Katalis asam biasanya digunakan untuk esterifikasi dua tahap. Pada tahap pertama FFA akan bereaksi dengan alkohol dengan katalis asam sehingga bilangan asamnya berkurang dan kemudian minyak tersebut direaksikan kembali dengan metanol dengan katalis basa. Dengan pretreatment kandungan FFA

akan menurun hingga masuk ke range transesterifikasi basa Umumnya bilangan asam diturunkan hingga <1, selanjutnya minyak ditransesterifikasikan dengan menggunakan natrium atau kalium hidroksida sebagai katalis. Bahan baku yang memiliki kandungan FFA yang tinggi dianjurkan untuk di(trans) esterifikasikan secara dua tahap (Widayat and Wibowo 2013).

2.2 Karakteristik Biodiesel

Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk Biodiesel dikeluarkan oleh BSN dengan nomor SNI 7182:2015 yang sudah merevisi SNI 04-7182-2006 dan SNI 7182:2012 tentang Biodiesel. Adapun syarat mutu biodiesel tersebut dapat dilihat dari tabel berikut (Badan Standarisasi Nasional 2015).

Tabel 2.2 Kualitas Biodiesel menurut SNI 7182:2015

No	Parameter Uji	Satuan, min/maks	Persyaratan	Metode Uji
1	Massa jenis pada 40°C	kg/m ³	850 -890	ASTM D 1298 atau ASTM D 4052
2	Viskositas Kinematik pada 40°C	mm ² /s (cSt)	2,3 - 6,0	ASTM D 445
3	Angka setana	Min	51	ASTM D 613 atau 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)		nomor 1	ASTM D 130
7	Residu karbon	% -massa, maks		ASTM D 4530 atau ASTM D 189
	dalam per contoh asli, atau		0,05	
	dalam 10 % ampas distilasi		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 atau ASTM D 4294 atau ASTM D 2622
12	Fosfor	mg/kg, maks	10	AOCS Ca 12-55
13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5	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, min	96,5	
17	Angka iodium	% -massa(g-I ₂ /100g), maks	115	AOCS Cd 1-25
18	Kadar monogliserida	% -massa, maks	0,8	ASTM D 6584
19	Kestabilan oksidasi	Menit		
	Periode induksi metode rancimat, atau		360	EN 15751
	Periode induksi metode petro oksidasi		27	ASTM D 7545

2.3 Kajian Teknoekonomi

Analisa tekno ekonomi adalah suatu metode teori analisa untuk menggabungkan analisa aspek teknik implementasi suatu teknologi dengan nilai ekonomisnya (Lauer 2008). Ada beberapa parameter yang dijadikan acuan dalam melakukan analisis proyek/investasi ada untuk menentukan diterima atau tidaknya

suatu usulan proyek, atau untuk menentukan pilihan antara berbagai macam usulan proyek. Dalam semua kriteria itu, baik manfaat (benefit) ataupun biaya dinyatakan dalam nilai sekarang (present value). Beberapa kriteria tersebut adalah diantaranya (Blank and Tarquin 2012).

Dalam kaitannya dengan proses produksi, biaya dikategorikan dalam dua kelompok besar, yaitu biaya utama dan biaya *overhead*. Biaya utama adalah biaya yang timbul sebagai akibat dilakukannya proses yang terkait langsung dengan produk yang dibuat. Umumnya biaya ini dikelompokkan dalam biaya tenaga kerja langsung dan biaya bahan baku. Biaya *overhead* merupakan biaya yang tidak terlibat secara langsung dalam proses produksi, namun diperlukan untuk kelancaran proses produksi tersebut. Biaya ini biasanya memiliki sifat sebagai biaya tetap. Oleh karena itu, proporsi biaya *overhead* dalam elemen *Cost of Goods Manufactured* akan menempati porsi yang lebih besar sehingga diperlukan kalkulasi dan pembebanannya kepada *Cost of Goods Manufactured* sesuai dengan proporsi aktivitas yang dikonsumsi. Penentuan *Cost of Goods Manufactured* yang lebih akurat penting bagi manajemen sebagai dasar untuk pembuatan keputusan. Penentuan *Cost of Goods Manufactured* persediaan produk jadi dan produk dalam proses yang akan disajikan dalam neraca. Biaya *overhead* dialokasikan secara tidak tetap kepada *Cost of Goods Manufactured* dalam sistem kalkulasi biaya tradisional. Hal ini akan menghasilkan *Cost of Goods Manufactured* yang tidak akurat atau terjadinya distorsi penentuan *Cost of Goods Manufactured* sehingga tidak bisa diandalkan dalam mengukur efisiensi dan produktivitas. Perhitungan biaya didasarkan asumsi bahwa produk individual menyebabkan timbulnya biaya. Dengan asumsi tersebut, sistem tradisional membebankan biaya ke produk berdasarkan konsumsi biaya yang berhubungan dengan jumlah unit yang diproduksi. Biaya *overhead* diasumsikan proporsional dengan jumlah unit yang diproduksi dalam sistem tradisional. Pada kenyataannya banyak sumber daya, sumber data atau biaya-biaya yang timbul dari aktivitas-aktivitas yang tidak berhubungan dengan volume produksi. *Activity Based Costing* (ABC) memerlukan dua tahap yaitu pertama biaya overhead dibebankan kepada aktivitas-aktivitas dan

bukan pada unit organisasi, kemudian tahap kedua adalah membebaskan biaya aktivitas pada produk. *Cost of Goods Manufactured* yang lebih akurat.

2.3.1 Net Present Value (NPV)

Metode ini adalah merupakan selisih antara nilai penerimaan saat ini (*benefit*) dan nilai sekarang (*cost*). Perlu ditetapkan dahulu tingkat suku bunga (*discount rate*) untuk menentukan NPV dan pengeluaran. Apabila penerimaan-penerimaan kas bersih di masa yang akan datang lebih besar dari nilai investasi sekarang, maka proyek ini menguntungkan (proyek diterima). Jika (NPV negative) lebih kecil maka proyek ditolak karena dinilai tidak menguntungkan. Jika NPV lebih besar daripada nol maka proyek diterima (Blank and Tarquin 2012). Jika nilai NPV menjadi nol maka proyek tidak layak. Secara matematis dapat dituliskan rumus sebagai berikut (Newman *et al.*, 2004):

$$NPV = PVb - PVC \quad (2.3)$$

dimana *PVB* adalah nilai sekarang penerimaan (*benefit*), *PVC* adalah nilai sekarang pengeluaran (*cost*), *Bt* adalah penerimaan pada tahun “*t*”, *Ct* adalah pengeluaran atau biaya pada tahun “*t*” dan *T* adalah tingkat suku bunga pertahun NPV adalah selisih antara *present value benefit* dengan *present value cost*. Hasil NPV dari suatu proyek dikatakan layak secara ekonomi adalah yang menghasilkan nilai NPV bernilai positif (Isya and Anggraini 2016).

2.3.2 Periode Nilai Kembali (*Payback Periode*)

Periode nilai kembali (*payback periode*) didefinisikan sebagai jumlah periode (waktu) yang dibutuhkan untuk mengembalikan dana investasi yang ditanamkan, Payback Periode dibagi menjadi dua (2) jenis yaitu (Blank and Tarquin 2012):

- a. Periode Modal Kembali Konvensional (*Conventional Payback Periode*)

Persamaan Periode Modal Kembali Konvensional:

$$\sum_{n=0}^{np} Fn > 1 \quad (2.4)$$

Payback Period (n) adalah jumlah tahun yang dibutuhkan untuk memulihkan investasi awal dari aliran kas keuntungan sesudah pajak. Arus kas bersih sudah tidak mengalami nilai negatif atau tidak memiliki hutang.

2.3.3 Tingkat Pengembalian Internal (Internal Rate of Return)

Dalam konsep *time value of money*, dikenal dengan dua nilai mata uang, yaitu *present value* dan *future value*. *Rate (interest)* ditentukan untuk dapat menghitung *present value* atau *future value* tetapi pada proses analisis proyek, *rate (interest)* yang terjadi akibat keputusan investasi harus dicari sebagai pertimbangan dasar dalam menilai proyek yang dimaksud layak atau tidak layaknya suatu proyek. Tolak ukur *rate* yang dapat diterima, diputuskan oleh pengambil keputusan, umumnya di atas *rate* bunga bank yang berlaku pada saat itu. Artinya, bila *rate* yang dihasilkan oleh kegiatan investasi proyek lebih besar dari bunga bank yang berlaku saat itu, investasi tersebut ditanyakan layak. Persamaan untuk menghitung IRR adalah (Newman *et al.*, 2004):

$$IRR = \sum_{n=1}^n x \frac{An}{(1+r)^n} - \sum_{n=0}^n x \frac{In}{(1+r)^n} \quad (2.7)$$

dimana An adalah nilai aliran kas pemasukan sesudah pajak (keuntungan), In adalah nilai belanja modal (biaya), r adalah nilai IRR setelah mencari dengan coba-coba dan n adalah periode waktu n

Arti IRR apabila mempunyai lebih besar dari biaya marjinal modal perusahaan, maka nilai perusahaan akan bertambah. Normalnya, proyek dengan nilai IRR tertinggi dapat diharapkan untuk paling meningkatkan perusahaan. Akan tetapi, resiko proyek tetap harus dihitung ketika membuat keputusan akhir (Blank and Tarquin 2012). EIRR digunakan untuk mengetahui tingkat suku bunga pada saat nilai NPV menjadi nol. Nilai IRR dari suatu proyek harus lebih besar dari nilai suku bunga yang berlaku atau yang ditetapkan metoda tingkat pengembalian (IRR) berdasarkan pada penentuan nilai tingkat suku bunga yang berlaku, dimana semua

keuntungan masa depan yang diekuivalenkan ke nilai sekarang (Isya and Anggraini 2016).

2.3.4 Circular Economy

Circular economy adalah ekonomi yang dibangun dari sistem konsumsi dan produksi masyarakat yang memaksimalkan layanan yang dihasilkan saling terkait Antara bahan dari alam, masyarakat sekitar dan kembali lagi ke lingkungan membentuk hubungan linier dan arus keluaran berupa energi yang dihasilkan. Hal ini dilakukan dengan menggunakan skema perputaran bahan berupa limbah menghasilkan sumber energi terbarukan pada system ekonomi yang berorientasi pada sustainibilitas keuangan. Ekonomi sirkuler yang berhasil berkontribusi pada ketiga dimensi (lingkungan, energy, dan sustainibilitas) pembangunan berkelanjutan (Korhonen *et al.*, 2018). Pendekatan ekonomi sirkular didukung oleh pendekatan yang didasarkan pada efisiensi sumber daya atau eko, keberlanjutan, tanggung jawab sosial perusahaan (CSR), triple bottom line dan sebagainya, tetapi ini tidak berfokus pada sistem dan mungkin dapat digolongkan sebagai strategi yang mendorong itu 'kurang buruk', bukan 'lebih baik' (Weetman 2016). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi ekonomi (ekonomi sirkuler) produksi biodiesel yang dibuat dari WCO dan PSO dengan memanfaatkan pabrik jalur Corporate Social Responsibility di wilayah Semarang barat atau dengan pemanfaatan limbah PSO tidak terpakai dari pabrik disekitar untuk untuk didaur ulang menjadi biodiesel menggunakan mesin dengan kapasitas 50-70 kg per batch. Produksi biodiesel digunakan untuk bahan bakar boiler, Skema ini dirancang utamanya untuk mengurangi pencemaran lingkungan namun dari sisi keekonomian didapatkan keseimbangan Antara pendapatan dan pengeluaran

2.4 Pencemaran Lingkungan

2.4.1 Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂)

Gas Rumah Kaca (GRK) adalah gas-gas di atmosfer yang bertanggung jawab sebagai penyebab pemanasan global dan perubahan iklim. Gas-gas rumah kaca yang utama adalah karbondioksida (CO₂), metana (CH₄) dan nitrogen oksida (N₂O). Emisi karbon dioksida (CO₂) dari pembakaran bahan bakar fosil adalah *fluks* karbon tahunan terbesar yang dibuang ke atmosfer dan mewakili sumber dominan gas yang memicu efek rumah kaca (Gurney *et al*, 2012). Penurunan konsumsi bahan bakar fosil akan menurunkan emisi CO₂.

2.4.2 Biological Oxygen Demand (BOD)

BOD dapat mencerminkan tingkat pencemaran suatu badan air oleh buangan organik, semakin tinggi nilai BOD berarti semakin besar tingkat pencemaran. Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan penduduk atau industri, serta untuk mendesain sistem-sistem pengolahan biologis yang tepat untuk air yang tercemar tersebut. Penguraian zat organik merupakan peristiwa ilmiah, jika sewaktu-waktu badan air dicemari oleh zat organik maka bakteri dapat menghabiskan oksigen terlarut dalam air selama proses oksidasi tersebut, yang dapat mengakibatkan kematian pada ikan-ikan dalam air dan keadaan menjadi anaerobik dan dapat menimbulkan bau busuk pada air tersebut (Metcalf and Eddy 2003) (Pamungkas 2016)

2.5 Penelitian Sebelumnya

Produksi biodiesel dengan bahan baku yang memiliki kandungan *Free Fatty Acid* (FFA) yang cukup tinggi (>2 %) pada umumnya berlangsung pada dua tahap reaksi yaitu esterifikasi (Tahap 1) dan transesterifikasi (tahap 2). Dengan bahan baku *Palm Sludge Oil/Palm Acid Oily* yang dilakukan oleh (Škrbić *et al*, 2015) melakukan proses esterifikasi terhadap *Palm Sludge Oil* dengan kandungan FFA ± 50 % menggunakan H₂SO₄ dengan rasio % b/b 0,92 % , 1,84 % , 4,60 % dan didapatkan hasil kadar FFA < 2 % dengan H₂SO₄ 4,60 % pada konsentrasi metanol dan minyak minimal 1:6. Metode dengan katalis P-toluenesulfonic acid (PTSA)

dilakukan oleh (Hayyan *et al.*, 2010) diperoleh kondisi optimal untuk pembuatan biodiesel adalah P-toluenesulfonic acid (PTSA) 0.75 % b/b, Rasio oil dan metanol 10:1, pada suhu 60 °C dan 60 menit waktu reaksi. Proses esterifikasi menggunakan Trifluoro methane sulfonic acid (TFMSA) dilakukan oleh (A. Hayyan *et al.* 2013) didapatkan hasil yang optimum pada perbandingan 0.75 % TFMSA terhadap PSO (% b/b) Dengan 10 : 1 molar ratio (methanol terhadap PSO, temperatur reaksi 60 °C dan 40menit waktu reaksi. Pembuatan biodiesel dengan kandungan FFA tinggi dapat dilakukan dengan satu tahap reaksi seperti yang dilakukan oleh (Manurung *et al.*, 2017) menggunakan choline chloride dan glycerol pada rasio molar (1:2) dengan kondisi Deep Eutectic Solvent (DES) pada suhu 80°C pada 400RPM selama 1 jam didapatkan *yield* biodiesel 83-99 % . Pada penelitian ini digunakan metode pembuatan biodiesel yang dilakukan oleh (Sahar *et al.* 2018) menggunakan dua tahap reaksi menggunakan rasio metanol terhadap bahan baku 1:3 dan waktu reaksi 2 jam pada suhu 50°C dengan katalis HCL 0,2 % metode ini mampu menurunkan kadar FFA antara 60-70 % (reaksi tahap 1) dan proses transesterifikasi menggunakan rasio 1:3 metanol terhadap bahan baku dan katalis KOH 1 % pada suhu 60°C pada waktu 60 menit didapatkan hasil yang paling optimum dengan *yield* 88-94 % . Setelah didapatkan biodiesel maka dilakukan perhitungan kelayakan ekonomi, kelayakan ekonomi produksi biodiesel dilakukan oleh (Glisic *et al.*, 2016) didapatkan produksi dengan kapasitas lebih dari 100.000 ton akan memberikan pengembalian investasi positif setelah 10 tahun, dengan kondisi pembuatan dengan metode supercritical menghasilkan laba yang lebih sedikit dibanding dengan metode konvensional (reaksi 2 tahap).

Kajian tekno ekonomi pembuatan biodiesel dengan bahan palm acid oil telah dilakukan oleh (Marchetti and Errazu 2008) menggunakan metode produksi dengan supercritical proses dan didapatkan hasil pemakaian energi yang tinggi karena cenderung membutuhkan jenis peralatan dan teknologi relatif baru. Sehingga dari dipenilitan ini selain memperhatikan faktor kelayakan usaha seperti COGM, *Net Present Value*, *Internal Rate of Return*, *Return Of Investment*, *BEP* selain itu terdapat analisa secara keekonomian dengan incremental analysis untuk membandingkan pilihan metode yang dilakukan pada penelitian ini dengan metode

tersebut diatas. Berdasarkan perhitunagn keekonomian tersebut diharapkan metode pembuatan biodiesel yang dilakukan pada penelitian ini memberikan alternatif terbaik dikarenakan sumber bahan baku lokal, dan tenaga kerja membutuhkan biaya relatif lebih rendah dibanding dengan penelitian tersesebut diatas.