

Desain Pabrik Biodiesel dari *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD)

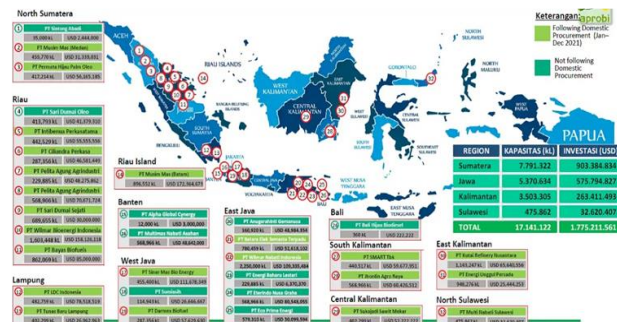
Trinetta Ayumi Luciano, Hikmatun Ni'mah, dan Nabiilah Auralyaa Lisandi
 Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: hikmatun_n@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—*Biofuels* atau Bahan Bakar Nabati (BBN), dianggap sebagai alternatif yang potensial untuk menggantikan Bahan Bakar Minyak (BBM). Dengan peningkatan produksi bioetanol dan biodiesel, Indonesia menjadi peringkat dua pada negara produsen *biofuel* terbesar setelah amerika. Pabrik pembuatan biodiesel dari *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD) dibangun melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi metode Lurgi untuk memenuhi kebutuhan pasar biodiesel yang meningkat setiap tahunnya dengan kapasitas 270.000 ton/tahun. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan pabrik biodiesel adalah PFAD yang merupakan produk samping dari pemurnian *Crude Palm Oil* (CPO). Pabrik ini direncanakan akan dibangun di Provinsi Sumatera Utara di Kawasan Ekonomi Khusus Sei Mangkei, hal ini telah dipertimbangkan melalui beberapa aspek diantaranya adalah ketersediaan bahan baku dan wilayah pemasaran. Proses esterifikasi dan transesterifikasi akan dilakukan pada suhu 60 °C pada tekanan 1 atm dengan tingkat konversi 98% dan 99%. Dalam pembuatan biodiesel ini, H₂SO₄ digunakan sebagai katalis asam dalam proses esterifikasi yang merupakan asam kuat sehingga mampu untuk membantu meningkatkan laju reaksi pada proses esterifikasi. Sedangkan, NaOH digunakan sebagai katalis basa dalam proses transesterifikasi yang merupakan basa kuat untuk mengonversi trigliserida menjadi metil ester. Selain biodiesel, dalam proses ini terdapat produk samping yang dapat dihasilkan yaitu Gliserol yang dihasilkan dari proses transesterifikasi. Dari analisis perhitungan ekonomi, didapatkan modal CAPEX sebesar Rp905.496.880.571, OPEX sebesar Rp41.563.513.988/tahun. NPV yang didapatkan bernilai positif dengan nilai sebesar Rp2.381.564.919.242. Dari perhitungan tersebut, didapatkan IRR sebesar 25,16%, dengan POT selama 7,2 tahun. Sedangkan, BEP (*Break Even Point*) yang didapatkan adalah sebesar 35,35% Dengan hasil analisis yang dilakukan maka disimpulkan bahwa pabrik biodiesel dengan kapasitas 270.000 ton/tahun secara teknis layak untuk didirikan.

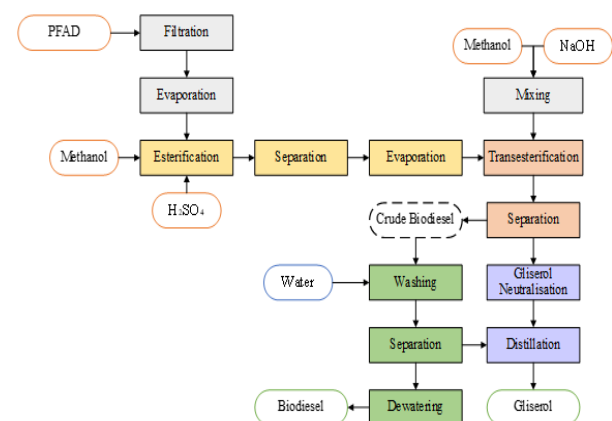
Kata Kunci—Biodiesel, Esterifikasi, *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD), Transesterifikasi.

I. PENDAHULUAN

KETERGANTUNGAN global pada bahan bakar fosil, terutama minyak bumi dan batu bara, telah menjadi masalah kritis di seluruh dunia. Bahan bakar fosil telah mendominasi sumber energi dunia selama lebih dari seabad, mendorong pertumbuhan ekonomi yang luar biasa dan mobilitas manusia. Arifin Tasrif, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), telah mengungkapkan bahwa cadangan minyak bumi di Indonesia diperkirakan akan mencukupi untuk periode 9,5 tahun ke depan, sementara cadangan gas bumi Indonesia diperkirakan bisa bertahan hingga 20 tahun lagi. Asumsi ini didasarkan pada pengetahuan saat ini tanpa adanya penemuan baru dan tingkat produksi yang tetap. Cadangan minyak bumi nasional Indonesia mencapai 4,17 miliar barel, dengan cadangan terbukti sebanyak 2,44 miliar barel, dan sisanya adalah



Gambar 1. Pabrik biodiesel di Indonesia.



Gambar 2. Block Diagram Proses.

cadangan yang belum terbukti, sekitar 1,73 miliar barel. Data ini bersumber dari informasi cadangan tahun 2020 dan mengisyaratkan adanya krisis energi, yang menyoroti kebutuhan Pemerintah untuk mencari sumber energi alternatif guna mengatasi meningkatnya konsumsi energi masyarakat yang setiap tahunnya terus bertambah, terutama sebagai pengganti minyak bumi [1].

Penurunan produksi energi fosil, terutama minyak bumi, dan komitmen global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, mendorong Pemerintah untuk terus meningkatkan peran energi baru dan terbarukan sebagai bagian dari upaya untuk menjaga ketahanan dan kemandirian energi. *Biofuels* atau Bahan Bakar Nabati (BBN), yang merupakan salah satu sumber energi yang berasal dari bahan organik seperti hewan dan tumbuhan, dianggap sebagai alternatif yang potensial untuk menggantikan Bahan Bakar Minyak (BBM).

Seiring peningkatan produksi biodiesel di dunia, pemerintah Indonesia ikut berperan dalam peningkatan produksi biodiesel dalam negeri. Pada tahun 2014, tingkat pencampuran *biofuel* ditetapkan 10%, sedangkan melalui Peraturan Menteri ESDM No. 12 tahun 2015, peningkatan campuran biodiesel dari 10% menjadi 15% untuk keperluan transportasi dan industri, dan peningkatan menjadi 25% untuk pembangkit listrik. Hingga tahun 2025, Pemerintah menargetkan pencampuran ditetapkan sebesar 30% (B30).

Tabel 1.
Seleksi Proses

Parameter	Esterifikasi	Ester- Transesterifikasi
Suhu	60 – 80 °C	50 – 60 °C
Tekanan	1 – 2 atm	1 – 2 atm
Jenis Katalis	Asam	Asam, basa, dan enzim
Konversi	80 – 90 %	80 – 95 %
Yield	60 – 80 %	80 – 95 %
Kandungan Minyak	FFA	FFA dan trigliserida
Produk	Biodiesel	Biodiesel
Produk Samping	Air	Gliserol
Kelebihan	Biaya produksi relatif murah, tidak bersifat racun, dan mudah didaur ulang.	Proses lebih cepat dan efisien dengan yield yang lebih tinggi
	Katalis relatif lebih mahal dan bersifat korosif serta proses lebih lambat	Membutuhkan reaktor yang lebih banyak karena memerlukan dua buah reaktor.

Tabel 2.
Komposisi PFAD

Komposisi	Komposisi Berat (%)
Asam lemak bebas	81,7
Trigliserida	14,4
Vitamin E	0,5
Squalen	0,8
Sterol	0,4
Lainnya	2,2

Tabel 3.
Komposisi PFAD

Asam Lemak	Rumus Molekul	Komposisi Berat (%)
Asam Lemak Jenuh		
Miristat	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	1
Palmitat	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	45,6
Stearat	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	3,8
Arakidat	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	0,3
Asam Lemak Tak Jenuh		
Palmitoleat	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	0,2
Oleat	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	33,3
Eikosenoat	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	0,2
Tetrakosanoat	C ₂₄ H ₄₆ O ₂	0,6
Asam Lemak Tak Jenuh Ganda		
Linoleat	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	7,7
Linoleat	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	0,3

Tabel 4.
Persentase Pertumbuhan Pasar Biodiesel di Indonesia

	Konsumsi	Produksi	Impor	Ekspor
<i>Average Growth Ratio</i>	13,85%	9,60%	0,0%	24,63%

Tabel 5.
Pasar Biodiesel di Indonesia Tahun 2028

Tahun	Konsumsi	Produksi	Impor	Ekspor
2028	22.688.882	20.474.002	-	1.569.972

Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (BBN) terutama biodiesel mulai berkembang cepat sejalan dengan pelaksanaan kebijakan mandatori BBN yang mengamankan campuran BBN ke BBM sebesar 20% (B20) pada sektor transportasi.

Biodiesel adalah bahan bakar nabati untuk mesin/motor diesel yang dibuat dari minyak nabati melalui proses esterifikasi/transesterifikasi. Program wajib penggunaan biodiesel dimulai pada tahun 2008 dengan campuran biodiesel sebesar 2,5%, dan secara bertahap meningkat menjadi 7,5% pada tahun 2010. Antara tahun 2011 hingga 2015, persentase biodiesel ditingkatkan dari 10% menjadi 15%. Pada 1 Januari 2016, kadar biodiesel ditingkatkan menjadi 20% (B20). Program mandatori B20 telah terbukti berhasil dengan adanya insentif dari BPDPKS untuk sektor PSO (*Public Service Obligation*). Hingga Oktober 2019, implementasi biodiesel terus meningkat secara positif, dengan peningkatan tahunan dalam produksi, kebutuhan domestik, dan ekspor. Indonesia memiliki beberapa pabrik biodiesel yang beroperasi ditunjukkan pada Gambar 1 [2].

Namun, biodiesel juga memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah tingginya harga biodiesel jika dibandingkan dengan jenis bahan bakar lainnya, terutama karena bahan baku yang digunakan dalam produksi biodiesel memiliki biaya yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mencari bahan baku alternatif yang lebih ekonomis namun masih mudah diakses dan tidak bersaing dengan sumber bahan makanan. PFAD merupakan produk sampingan dari proses pemurnian minyak kelapa sawit mentah menjadi minyak kelapa sawit yang lebih murni, dan mengandung tingkat asam lemak bebas yang cukup tinggi. Produk antara yang dihasilkan dari industri *refinery* ini dapat diolah lebih lanjut untuk memproduksi biodiesel.

Berdasarkan macam-macam proses untuk mengubah

bahan baku PFAD menjadi produk biodiesel, selanjutnya dilakukan tahapan pemilihan proses yang tepat. Perbandingan kedua proses dapat dilihat pada Tabel 1 [3]. Proses transesterifikasi dilakukan berdasarkan metode Lurgi. Metode ini dipilih karena memberikan nilai konversi paling tinggi sebesar 95% dan menghasilkan produk samping yang bernilai tinggi yaitu gliserol dengan kemurnian hingga 90%.

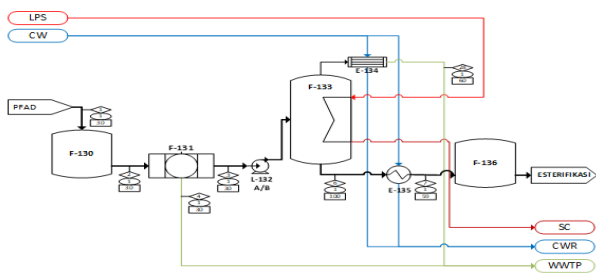
II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku

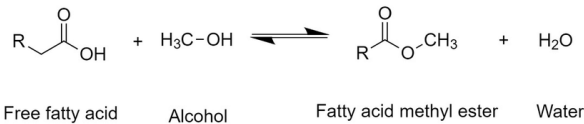
PFAD adalah produk sampingan yang dihasilkan dari proses pemurnian CPO atau minyak kelapa sawit menjadi RBDPO (*Refined, Bleached, and Deodorized Palm Oil*). Dalam proses tersebut, sekitar 4% dari pemurnian CPO akan terpisah menjadi PFAD. PFAD memiliki sifat semi-padat dengan warna coklat cerah atau kekuningan pada suhu kamar, dan ketika dipanaskan akan mencair dan berubah menjadi cokelat. Kandungan asam lemak dalam PFAD terdiri dari asam lemak jenuh dan tidak jenuh. Asam lemak jenuh memiliki ikatan tunggal di antara atom-atom penyusunnya, sedangkan asam lemak tidak jenuh, seperti asam lemak tak jenuh ganda 14, memiliki setidaknya satu ikatan ganda di antara atom-atom penyusunnya [4]. Komposisi dari PFAD ditunjukkan pada Tabel 2 dan jenis asam lemak yang ada pada Tabel 3 [5-6].

B. Kapasitas Produksi

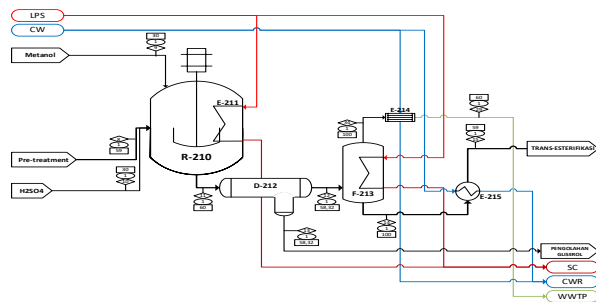
Kapasitas pabrik merupakan salah satu faktor yang harus dipertimbangkan sebelum mendirikan pabrik biodiesel. Perhitungan kapasitas pabrik, dilakukan dengan pencarian data mengenai pertumbuhan produksi, konsumsi, ekspor, dan impor produk biodiesel. Data produksi biodiesel dari pabrik yang sudah ada pada tahun 2022 yaitu sebesar 156.531.



Gambar 3. Unit pre-treatment PFAD.



Gambar 4. Reaksi esterifikasi.



Gambar 5. Unit esterifikasi.

Dari Tabel 4 dapat dilakukan perhitungan perkiraan kapasitas produksi biodiesel pada tahun 2028 dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{2028} = P_{2022} \times (1 + i)^n$$

Dengan P adalah kapasitas produksi dan n adalah selisih tahun, maka dapat dihitung estimasi kapasitas ekspor, produksi, dan konsumsi tahun 2028 pada Tabel 5. Kebutuhan biodiesel pada tahun 2027 dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

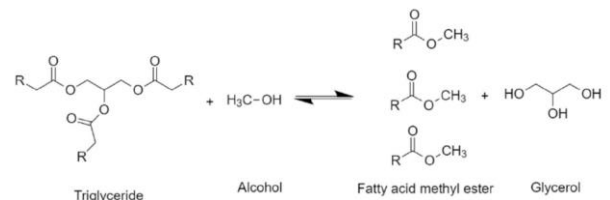
$$Kebutuhan = (Ekspor + Konsumsi) - (Impor + Produksi)$$

Sehingga didapatkan kapasitas pabrik sebesar 270.000 ton/tahun, dengan menyumbang sebesar 8% dari kebutuhan pasar biodiesel.

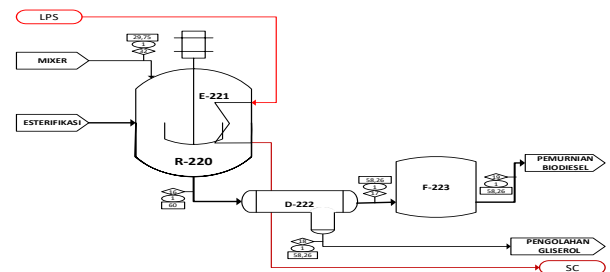
C. Lokasi Pabrik

Tujuan dari penentuan lokasi suatu pabrik adalah menunjang proses produksi dari faktor harga bahan baku hingga pemilihan lokasi. Lokasi pabrik yang dipilih diharapkan dapat membuat proses produksi lebih efisien dan produktif. Beberapa faktor yang dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi produksi adalah pasokan bahan baku; ketersediaan utilitas yang meliputi listrik, air, dan fuel gas; wilayah pemasaran; lahan kosong yang tersedia; sumber tenaga kerja; aksesibilitas dan fasilitas transportasi; hukum dan peraturan; pertimbangan komunitas lokal; iklim dan topografi; dampak terhadap lingkungan.

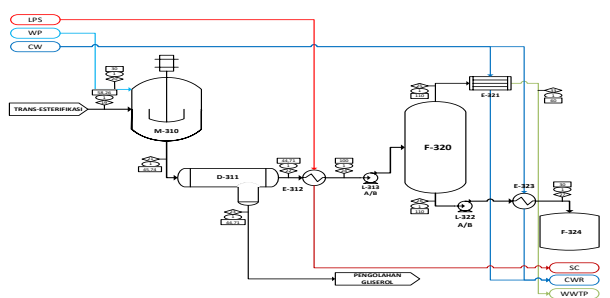
Setelah dilakukan penghitungan bobot untuk setiap parameter menggunakan software expert choice, maka lokasi pabrik biodiesel dari PFAD didirikan di wilayah Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sei Mangkei, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara.



Gambar 6. Reaksi transesterifikasi.



Gambar 7. Unit transesterifikasi.



Gambar 8. Unit purifikasi biodiesel.

III. URAIAN PROSES

Secara garis besar, proses dalam pabrik ini terbagi menjadi 5 unit yaitu unit pre-treatment, unit esterifikasi, unit transesterifikasi, unit purifikasi biodiesel, dan unit purifikasi gliserol. Block diagram dari pabrik ini dapat dilihat pada Gambar 2.

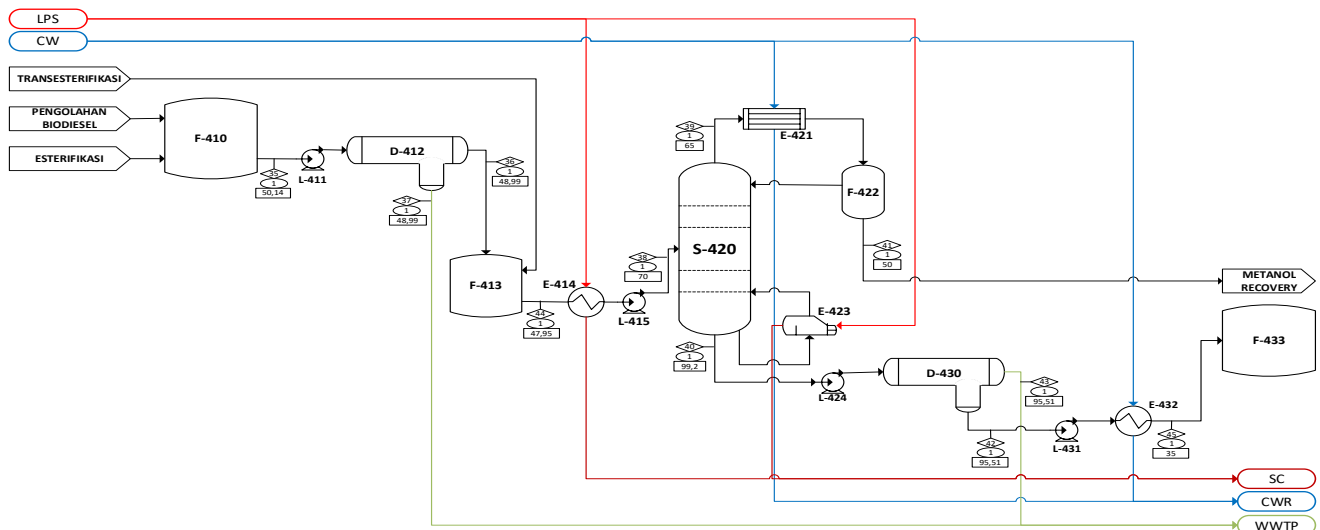
A. Unit Pre-Treatment

Proses pre-treatment bertujuan untuk memurnikan PFAD dengan menghilangkan impurities yang terkandung dalam PFAD. PFAD disaring menggunakan filter press (F-131) untuk memisahkan solid impurities di dalam PFAD. Kemudian, PFAD dialirkan melalui evaporator (F-133) untuk mengurangi kadar air dalam PFAD pada suhu 100°C selama 15 menit sehingga air akan menguap melalui bagian atas evaporator sedangkan komponen lain akan keluar melalui bagian bawah menuju tangki reaktor esterifikasi [7]. Setelah itu, PFAD dilelehkan untuk memudahkan reaksi dengan alkohol karena keadaan cair memungkinkan kontak yang lebih baik antara reaktan dan distribusi panas yang lebih merata. Dalam tahap ini, pemanasan dalam evaporator menggunakan coil steam karena panas yang dihasilkan lebih baik dalam perpindahan panas dibandingkan dengan jacket steam. Hal tersebut disebabkan karena fluida dalam tangki tidak bereaksi terhadap panas yang dihasilkan.

Persiapan bahan baku tambahan juga tidak kalah penting dalam pembuatan produk di suatu industri. Bahan baku pendukung yang perlu disiapkan sebelum masuk ke dalam reaktor esterifikasi (R-210) adalah metanol dan H₂SO₄ yang digunakan sebagai katalisa untuk menurunkan kadar FFA dalam PFAD sehingga tidak menimbulkan reaksi

Tabel 6.
Spesifikasi Produk Biodiesel dan Gliserol

Produk	Komponen	Kandungan	Total
Biodiesel	Trigliserida	0,13%	100%
	Digliserida	0,14%	
	Monogliserida	0,07%	
	Metanol	0,01%	
	Air	0,14%	
	Metil Ester	99,50%	
	Gliserol	0,01%	
	Impurities/Air	0,00%	
Gliserol	Sabun	0,14%	100%
	Air	9,53%	
	Gliserol	90,32%	
	Impurities	0,01%	



Gambar 9. Unit purifikasi gliserol.

penyabunan. Selain itu, NaOH juga dibutuhkan sebagai katalis dalam reaktor transesterifikasi (R-220) untuk meningkatkan yield biodiesel yang dihasilkan (Gambar 3).

B. Unit Esterifikasi

Proses esterifikasi digunakan untuk mengolah kandungan FFA dalam PFAD menjadi metil ester. Jenis reaktor adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) dengan tekanan 1 atm dan suhu 60°C. Pada tahap ini, pemanasan dilakukan menggunakan *coil steam* karena memiliki luas transfer panas yang lebih besar [8].

Reaksi esterifikasi adalah reaksi untuk menurunkan kadar FFA dalam PFAD agar tidak terjadi reaksi saponifikasi pada proses transesterifikasi. Dalam proses esterifikasi digunakan metanol 99% sebagai reaktan dan menyerap air yang terbentuk dari reaksi. Reaktan berlebih diperlukan karena reaksi yang terjadi adalah reaksi reversibel sehingga reaksi akan bergeser ke kanan dan reaksi tidak balik dan produk yang dihasilkan meningkat. H₂SO₄ digunakan sebagai katalis karena sifatnya yang merupakan asam kuat dan harga bahan baku yang relatif murah sehingga lebih efisien dalam proses esterifikasi. Perbandingan molar antara metanol:PFAD:H₂SO₄ adalah 8:1:0,05 dengan konversi sebesar 98% [5].

Produk yang dihasilkan oleh reaksi esterifikasi pada Gambar 4 adalah metil ester beserta trigliserida, metanol, air, H₂SO₄, FAME, dan FFA sisa [9]. Setelah itu, metil ester dan FFA dipisahkan dengan metanol, H₂SO₄, dan air menggunakan decanter I (D-212). Air dihilangkan karena

dapat mengganggu proses transesterifikasi dengan bereaksi terhadap katalis basa. Metil ester dialirkan menuju evaporator (F-213) untuk mengurangi kadar air dalam produk agar proses transesterifikasi lebih efisien dan tidak terganggu oleh sisa air dalam produk. Pengurangan kadar air dilakukan pada suhu titik didih air dan produk dilanjutkan menuju *cooler* (E-215) untuk menurunkan suhu produk dari 100 °C menjadi 59 °C agar sesuai dengan kondisi operasi dalam proses transesterifikasi. Produk bawah pada Gambar 5 dialirkan menuju tangki penyimpanan sementara gliserol I (F-410).

C. Unit Transesterifikasi

Proses transesterifikasi adalah proses untuk mereaksikan kembali sisa trigliserida yang belum bereaksi dalam proses esterifikasi. Sisa trigliserida direaksikan dengan metanol dengan bantuan katalis basa untuk diubah menjadi metil ester. Jenis reaktor adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) dengan tekanan 1 atm dan suhu 60°C.

Secara stoikiometri, transesterifikasi membutuhkan 3 mol alkohol untuk 1 mol trigliserida sehingga menghasilkan 3 mol FAME dan 1 mol gliserol. Reaksi dapat bergeser ke arah produk jika ditambahkan alkohol secara berlebih dari kebutuhan stoikiometrinya. Dalam industri, rasio yang digunakan adalah 6:1 dengan konversi sebesar 99%. Yield biodiesel dapat meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi alkohol. Rasio molar antara metanol:trigliserida:NaOH adalah 6:1:0,15 [10].

Metanol dimasukkan ke dalam *mixer* untuk dicampurkan dengan NaOH agar menghasilkan ion metoksida (NaOCH₃)

yang lebih reaktif terhadap reaksi transesterifikasi (Gambar 6) [9]. Setelah itu, campuran tersebut dialirkan ke dalam reaktor transesterifikasi untuk direaksikan dengan FFA (Gambar 7).

D. Unit Purifikasi Biodiesel

Reaksi transesterifikasi menghasilkan produk biodiesel yang dialirkan ke decanter II (D-222) untuk memisahkan gliserol (produk bawah) yang dialirkan menuju tangki penyimpanan sementara gliserol II (F-413). Biodiesel (produk atas) dialirkan menuju *washing tank* (M-310) dengan tangki berpengaduk dengan air sebanyak 50% dari total minyak untuk mencuci dan memisahkan metil ester dari gliserol, sisa katalis, sisa metanol, sabun, dan *impurities* yang lain. Untuk 1 L metil ester digunakan 3 L air untuk pencucian hingga pH netral (Gambar 8) [11].

Kemudian, produk dialirkan menuju decanter III (D-311) untuk memisahkan metil ester dengan gliserol, air, dan metanol karena larutan tersebut tidak dapat larut. Pemisahan ini dilakukan dengan adanya perbedaan massa jenis dari senyawa tersebut.

Biodiesel sebagai fraksi ringan akan terpisah dan berada di atas, sedangkan gliserol, metanol, katalis, dan sabun berada di bawah. Produk samping *crude* gliserol akan dialirkan menuju pengolahan gliserol.

Pemurnian biodiesel dilanjutkan dengan penguapan metanol dan air (produk atas) pada *flash tank* (F-320) sehingga diperoleh biodiesel (produk bawah) yang lebih murni. Biodiesel dialirkan menuju *cooler* (E-323) untuk menyesuaikan suhu penyimpanan biodiesel di suhu 30°C dan dialirkan menuju tangki penyimpanan biodiesel (F-324).

E. Unit Purifikasi Gliserol

Decanter III (D-311) menghasilkan produk bawah berupa gliserol, metanol, katalis, dan sabun yang diolah menjadi *crude* gliserol dengan menyimpannya di tangki penyimpanan sementara gliserol I (F-410).

Setelah itu, gliserol dialirkan menuju decanter IV (D-412) untuk memisahkan gliserol, metanol, dan *impurities* lain (produk atas) dengan sabun, asam sulfat, Na₂SO₄ dan *impurities* lain (produk bawah). Gliserol dialirkan menuju tangki penyimpanan sementara gliserol II (F-413) dan dialirkan menuju *heater* (E-414) untuk menyesuaikan suhu hingga 70°C sebelum masuk kolom distilasi (S-420).

Gliserol dipisahkan dengan metanol dan air di kolom distilasi. Pada proses distilasi tersebut, menggunakan unit *reboiler* (E-423) dan kondensor (E-421) untuk *recycle* gliserol yang ikut menguap sehingga proses pemurnian dapat lebih efisien dan diperoleh gliserol dengan kemurnian tinggi.

Metanol yang diuapkan menjadi produk atas kemudian dialirkan sebagai metanol *recovery*. Sedangkan untuk gliserol pada Gambar 9 dialirkan menuju decanter V (D-430) untuk memisahkan gliserol dengan *impurities* lain sehingga gliserol semakin murni dan siap untuk dialirkan menuju tangki penyimpanan gliserol (F-433).

IV. MATERIAL BALANCE

Berdasarkan hasil dari perhitungan neraca massa dengan operasi pabrik 330 hari/tahun, 24 jam/hari, dan basis yang digunakan adalah kg/jam, dibutuhkan bahan baku PFAD sebanyak 33.781,741 kg/jam yang akan menghasilkan produk

biodiesel sebanyak 34.090,91 kg/jam dan produk samping gliserol sebanyak 1035,056 kg//jam. Spesifikasi produk dari pabrik ini dapat dilihat pada Tabel 6.

V. ANALISA EKONOMI

A. Permodalan

Permodalan pada penelitian ini meliputi:

1) Capital Expenditure (CAPEX)

Capital Expenditure (CAPEX) adalah biaya-biaya yang dikeluarkan dalam rangka memperoleh aset tetap, meningkatkan operasional dan kapasitas produktif aset tetap, serta memperpanjang masa manfaat aset tetap yakni sebesar Rp905.496.880.571

2) Operating Expenditure (OPEX)

OPEX merupakan biaya yang terkait dengan operasional perusahaan meliputi biaya penjualan dan administrasi, biaya iklan, biaya penyusutan, serta perbaikan dan pemeliharaan yakni total sebesar Rp41.563.513.988

B. Net Present Value (NPV)

NPV merupakan selisih antara nilai arus kas masuk dan nilai arus kas keluar pada sebuah periode waktu. NPV membandingkan nilai investasi sekarang, dengan nilainya di masa yang mendatang. Perhitungan NPV dapat menentukan analisis potensi keuntungan sebuah proyek atas investasi yang dilakukan yakni sebesar Rp2.381.564.919.242. NPV bernilai lebih dari nol (NPV > 0) menandakan bahwa proyeksi pendapatan yang dihasilkan atau investasi melebihi dari proyeksi biaya yang dikeluarkan sehingga perusahaan layak untuk didirikan.

C. Internal Rate of Return (IRR)

IRR berdasarkan *discounted cash flow* adalah tingkat bunga tertentu, dimana seluruh penerimaan akan dapat menutup seluruh jumlah pengeluaran modal yakni sebesar 25,16% dengan bunga bank 8% per tahun.

D. Pay Out Time (POT)

POT merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal suatu pabrik yaitu minimum adalah 7,2 tahun. Nilai POT ini menunjukkan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan karena POT yang didapatkan lebih kecil dari perkiraan usia pabrik yaitu 20 tahun.

E. Break Even Point (BEP)

Analisis titik impas digunakan untuk mengetahui besarnya kapasitas produksi yang harus ditetapkan ketika biaya produksi total tepat sama dengan hasil penjualan. Biaya tetap (FC), biaya *variable* (VC), dan biaya *semi-variable* (SVC) tidak dipengaruhi oleh kapasitas produksi yakni sebesar 98359 ton atau 35,35% dari total produksi saat ini.

VI. KESIMPULAN

Pabrik biodiesel dari PFAD ini memenuhi persyaratan dari aspek teknis, ekonomis, dan lingkungan. Sehingga, dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) Perencanaan operasi: kontinu, 24 jam/hari, selama 330 hari/tahun. (2) Kapasitas produksi: 34.090,91 kg/jam. (3) Kebutuhan bahan baku:

33.781,741 kg PFAD/jam. (4) Umur pabrik: 20 tahun. (5) Masa konstruksi: 5 tahun. (6) Analisa ekonomi: CAPEX: Rp905.496.880.571, OPEX: Rp41.563.513.988, NPV: Rp 2.381.356.439.193.242, IRR: 25,16%, POT: 7,2 tahun, BEP: 35,35%. Berdasarkan data-data tersebut yang sudah ditinjau dari aspek teknis dan aspek ekonomis, pabrik biodiesel dari PFAD ini sudah memenuhi syarat untuk dilanjutkan ke tingkat perencanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Institute, *Statistical Review of World Energy*, 72nd ed. London: Energy Institute, 2023. ISSN: 2976-7857.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Realisasi Implementasi Biodiesel Indonesia*, 1st ed. Jakarta: Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2019. [Online]. Available: <https://ebtke.esdm.go.id/>
- [3] A. Afandi, "Simulasi Proses Pembuatan Biodiesel dengan bantuan Chemcad Menggunakan Metode Hybrid dan Perhitungan Awal Ekonominya," Departemen Eksistensi Teknik Kimia, Universitas Indonesia, 2008.
- [4] M. Khaer, F. Akbar, and I. Zahrina, "Perengkahan Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menjadi Biofuel Menggunakan Katalis H-Zeolit dengan Variasi Temperature Reaksi dan Nisbah Berat H-Zeolit per PFAD," Departemen Teknik Kimia, Universitas Riau, 2013.
- [5] A. G. M. Top, "Production and utilization of palm fatty acid distillate (pfad)," *Lipid Technol.*, vol. 22, no. 1, pp. 11–13, 2010, doi: 10.1002/lite.200900070.
- [6] S. Chongkhong, C. Tongurai, P. Chetpattananondh, and C. Bunyakan, "Biodiesel production by esterification of palm fatty acid distillate," *Biomass and Bioenergy*, vol. 31, no. 8, pp. 563–568, 2007, doi: 10.1016/j.biombioe.2007.03.001.
- [7] A. V. Malvade and S. T. Satpute, "Production of palm fatty acid distillate biodiesel and effects of its blends on performance of single cylinder diesel engine," *Procedia Eng.*, vol. 64, pp. 1485–1494, 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.09.230.
- [8] K. C. K. Sastradipraja, *Perpindahan Panas: Dasar dan Praktis dari Perspektif Akademisi dan Praktisi*, 1st ed. Jakarta: Indie Press, 2022. ISSN: 6239912743.
- [9] J. A. Tavizón-Pozos *et al.*, "State of art of alkaline earth metal oxides catalysts used in the transesterification of oils for biodiesel production," *Energies*, vol. 14, no. 4, p. 1031, 2021, doi: 10.3390/en14041031.
- [10] D. Y. C. Leung and Y. Guo, "Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production," *Fuel Process. Technol.*, vol. 87, no. 10, pp. 883–890, 2006, doi: 10.1016/j.fuproc.2006.06.003.
- [11] L. Suprianti and Y. Kurniawan, "Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar dengan Proses Transesterifikasi," Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2006.