

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

Muhamad Irfaid Darajat, Rheinanda Rachmaditasari, dan Mahfud
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: mahfud@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Pabrik pembuatan biodiesel dari Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) dibuat melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi untuk memenuhi kebutuhan konsumsi biodiesel yang meningkat setiap tahunnya. Pabrik biodiesel dari PFAD ini direncanakan dibangun dengan kapasitas 150.000 ton/tahun sepanjang 330 hari per tahun. Pabrik ini diharapkan akan menghasilkan biodiesel untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan pabrik biodiesel adalah Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) yang merupakan produk samping dari pemurnian CPO. Pabrik ini direncanakan akan dibangun di Provinsi Riau, hal ini telah dipertimbangkan melalui beberapa aspek diantaranya adalah ketersediaan Bahan Baku. Esterifikasi dan transesterifikasi akan dilakukan pada suhu 60°C dan pada tekanan 1 atm menggunakan reaktor alir tangki berpengaduk dengan tingkat konversi reaksi 98% untuk esterifikasi dan 99% untuk transesterifikasi. Dari studi evaluasi ekonomi pabrik ini, disimpulkan bahwa didapatkan penaksiran modal (CAPEX) sebesar Rp. 1.446.760.931.219, biaya operasional (OPEX) sebesar Rp. 30.153.852.200. Berdasarkan analisa ekonomi terhadap pabrik ini menunjukkan laju pengembalian modal (IRR) didapatkan sebesar 16,1% dengan waktu pengembalian modal (POT) selama 9,3 tahun. NPV yang didapatkan juga bernilai positif yaitu Rp. 555.177.716.694. Berdasarkan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pabrik biodiesel dengan kapasitas 150.000 ton/tahun adalah layak secara teknis dan ekonomis untuk didirikan.

Kata Kunci—Biodiesel, Esterifikasi, Metil Ester, Palm Fatty Acid Distillate, Transesterifikasi.

I. PENDAHULUAN

ENERGI merupakan salah satu penunjang utama dalam meningkatkan perekonomian suatu negara, khususnya Indonesia. Sumber energi yang saat ini masih dominan digunakan oleh Indonesia yaitu bersumber dari bahan bakar berbasis fosil seperti Bahan Bakar Minyak (BBM) dalam bentuk minyak bumi, gas, dan batu bara. Menurut Direktur Jenderal Energi Baru Terbarukan Kementerian ESDM, Dadan Kusdiana menyebutkan bahwa batu bara masih mendominasi sebesar 38 persen bauran energi primer. Diikuti minyak bumi sebesar 31,6 persen, dan gas alam sebesar 19,2 persen. Padahal, diketahui bahwa jumlah produksi minyak Indonesia setiap tahunnya mengalami penurunan yang dapat terjadi karena kurangnya eksplorasi dan blok migas yang umurnya sudah tua serta berkurangnya produktivitas dari sumur-sumur yang ada.

Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong Pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Bahan Bakar Nabati (BBN) yang merupakan salah satu sumber energi berasal dari bahan organik berupa hewan dan tumbuhan, dianggap sebagai salah satu sumber energi

Tabel 1.
Parameter Pemilihan Proses Produksi Biodiesel

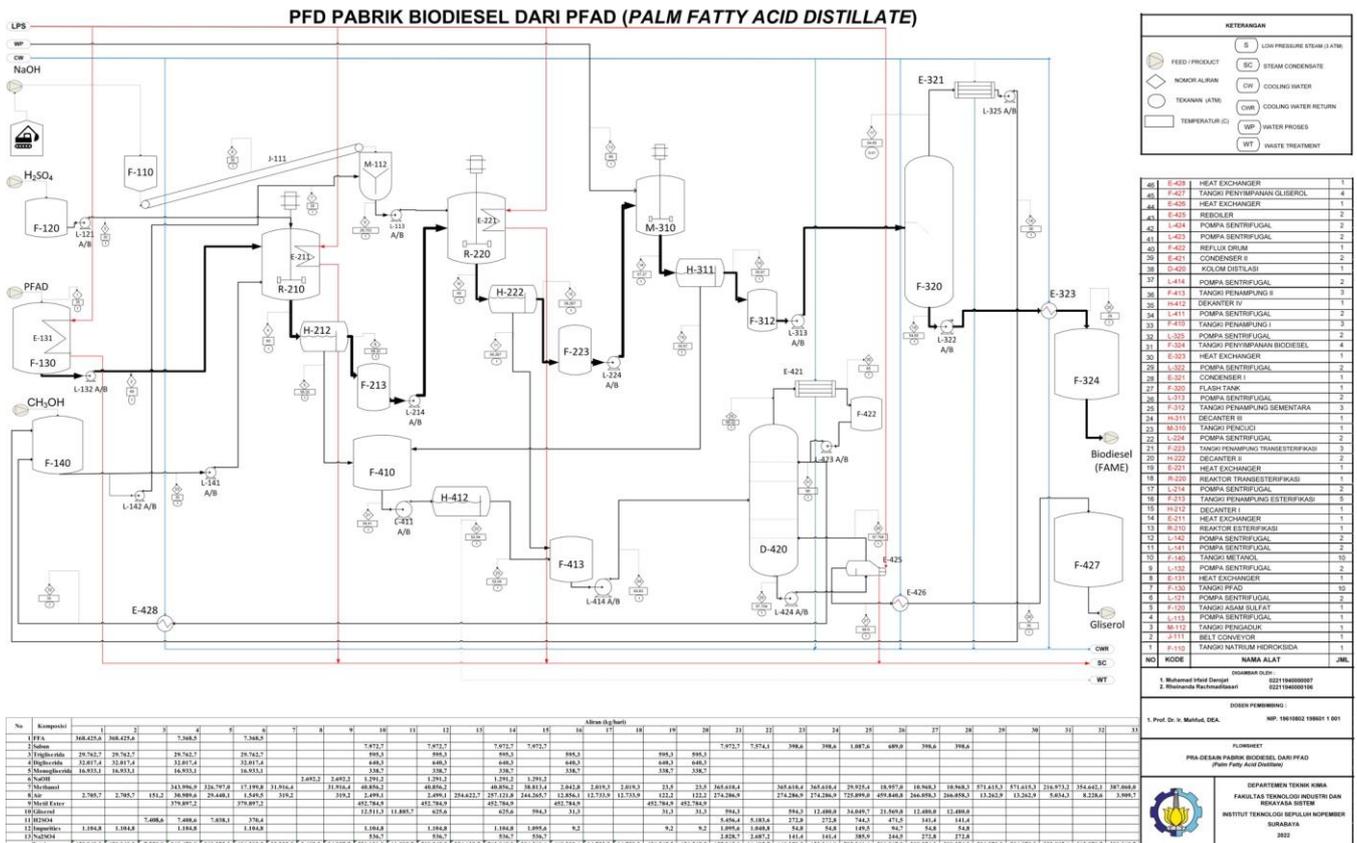
Parameter	Esterifikasi	Ester-Transesterifikasi
Suhu Proses	60-70°C	50-60°C
Tekanan	1 atm	1 atm
Konversi	95-99,5%	Ester : 96-98% Transester : 97-98,5%
Yield	55-75%	80-88%
Kandungan Minyak	Free fatty acid (FFA)	Free fatty acid (FFA), Triglicerida (TG)
Katalis	Asam	Asam, Basa, dan Enzim (Ester : asam. Transester : basa)
Produk	Biodiesel	Biodiesel
Kelebihan	Produk mudah dipisahkan oleh katalis sehingga tidak membutuhkan biaya produksi tambahan untuk melakukan proses lain	Proses yang digunakan lebih cepat dan efisien, yield produksi relatif tinggi karena akan mengkonversi kandungan FFA dan TG menjadi biodiesel lebih cepat
Kekurangan	Katalis yang digunakan relatif mahal dan bersifat korosif, reaksi berjalan lambat untuk konversi TG	Membutuhkan reaktor yang lebih banyak karena menggunakan 2 tahap

yang dapat menggantikan Bahan Bakar Minyak (BBM). Contoh sumber daya energi alternatif yang berasal sumber minyak nabati dan hewani yaitu biodiesel, bioetanol, biogas, biosolar dan biopertamax. Salah satu BBN yang sudah banyak digunakan di dunia yaitu *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) atau yang biasa dikenal dengan biodiesel.

Peningkatan penggunaan biodiesel di dunia membuat banyak negara mulai meningkatkan produksi biodiesel yang tentunya membuat Indonesia juga ingin ikut serta dalam meningkatkan penggunaan dan produksi biodiesel untuk pengganti bahan bakar fosil dibuktikan dengan dirilisnya Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006 pada tahun 2005 mengenai kebijakan energi nasional yang selanjutnya ditindaklanjuti melalui Instruksi Presiden Nomor 1 Tahun 2006 mengenai penyediaan dan pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (BBN).

Industri biodiesel dari tahun ke tahun juga semakin meningkat baik dari segi kuantitas maupun kapasitas produknya, kenaikan ini sejalan dengan keyakinan Pemerintah mengenai perkiraan peningkatan permintaan biodiesel dengan rata-rata pertumbuhan 2,9% per tahun antara tahun 2020-2025 dengan proyeksi konsumsi biodiesel meningkat 7% selama satu dekade mendatang.

Pada perkembangannya, biodiesel juga memiliki beberapa kekurangan seperti tingginya harga biodiesel dibandingkan dengan bahan bakar lain karena harga bahan baku yang digunakan dalam pembuatan biodiesel yang mahal. Maka, perlu digunakan bahan baku alternatif yang lebih murah namun masih tetap mudah ditemukan dan tidak berupa



Gambar 1. PFD pabrik biodiesel dari PFAD.

bahan makanan, seperti *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD) yang merupakan hasil produk samping dari proses pemurnian minyak goreng (pengolahan minyak kelapa sawit mentah atau CPO menjadi RBDPO (*Refined, Bleached, and Deodorized Palm Oil*) pada *refinery plant*) yang banyak mengandung *free fatty acid* (FFA).

Pengembangan biodiesel akan menciptakan perluasan lapangan pekerjaan dan meningkatkan pendapatan per kapita penduduk serta dapat membantu terjaminnya *supply* energi di masa datang. Kepedulian masyarakat terhadap bahan bakar yang ramah lingkungan semakin meningkat.

II. DASAR PERANCANGAN

A. Kapasitas Produksi

Menentukan kapasitas dari pabrik termasuk salah satu faktor yang perlu diperhatikan sebelum mendirikan pabrik. Untuk menentukan kapasitas produksi pabrik biodiesel, harus didasarkan pada perhitungan peluang produksi yang ada. Peluang produksi didasarkan pada nilai ekspor, nilai impor, dan konsumsi produk. Selain itu, pertimbangan mengenai kebutuhan biodiesel di Indonesia, kapasitas produksi pabrik komersial yang sudah ada, dan ketersediaan bahan baku. Dalam hal ini harga bahan baku dianggap tidak berubah dan harga jual produk biodiesel juga diasumsikan konstan selama *lifetime* pabrik ini.

Pabrik Biodiesel direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2026. Mengacu pada pemenuhan kebutuhan dalam negeri sebesar 10.000.000 ton/tahun, dengan analogi untuk memenuhi 1,5% kebutuhan biodiesel nasional (dalam ton) pada tahun 2026, sehingga kapasitas pabrik biodiesel menjadi 150.000 ton/ tahun.

B. Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan hal mendasar dan sangat penting dalam perencanaan suatu pabrik mempunyai pengaruh besar terhadap kelangsungan atau keberhasilan pabrik. Hal-hal yang menjadi pertimbangan dalam penentuan lokasi suatu pabrik meliputi biaya operasional, ketersediaan bahan baku, penunjang sarana dan prasarana, ketersediaan sumber air dan listrik, dampak sosial, dan studi lingkungan, dengan aspek utama yang dilihat pada Pabrik Biodiesel adalah aspek ketersediaan bahan baku. Dari data lahan sawit di 5 provinsi utama di Indonesia menunjukkan bahwa Riau merupakan provinsi penghasil kelapa sawit terbesar di Indonesia. Oleh karena itu, provinsi Riau dipilih sebagai lokasi pabrik. Jumlah hasil samping dari pengolahan minyak sawit antara lain adalah PFAD, hal ini tentunya dapat membantu memenuhi kebutuhan bahan baku yang akan digunakan. Berdasarkan luas area perkebunan kelapa sawit di provinsi Riau, tepatnya di Kawasan Industri Tanjung Buton dipilih sebagai lokasi untuk pendirian Pabrik Biodiesel dengan luas area total 0,4973 Ha.

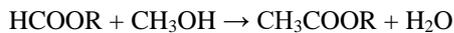
III. SELEKSI PROSES

Dalam pembuatan pabrik biodiesel perlu dilakukan seleksi proses. Seleksi proses bertujuan untuk mengetahui proses mana yang dapat menghasilkan produk yang optimal dari aspek teknis maupun ekonomi. Proses tersebut terdiri dari beberapa tahap mulai dari persiapan bahan baku hingga terbentuknya produk yang diinginkan. Perancangan pabrik biodiesel dari PFAD akan digunakan proses 2 tahap (Esterifikasi dan Transesterifikasi).

A. Proses Esterifikasi - Transesterifikasi

Proses konversi untuk mengurangi kandungan dari asam lemak bebas/FFA yang tinggi dengan mereaksikan minyak nabati dan alkohol menjadi metil ester dan air merupakan definisi dari esterifikasi. Proses ini dapat digunakan pada minyak nabati yang mengandung lemak bebas $\geq 60\%$. Proses esterifikasi dengan katalis asam diperlukan jika minyak nabati mengandung FFA diatas 5% [1]. Kualitas produk biodiesel dapat dipengaruhi oleh reaksi penyabunan yang disebabkan oleh kandungan asam lemak bebas tinggi. Katalis asam kuat merupakan katalis yang umum digunakan dalam proses esterifikasi. Beberapa contoh katalis asam kuat seperti asam sulfat, asam sulfonat organik atau resin penukar kation asam kuat. Proses ini sulit untuk menggunakan katalis basa. Hal ini dikarenakan akan terbentuknya air yang menyebabkan reaksi penyabunan dan metil ester yang dihasilkan menggunakan katalis asam bersifat korosif yang menyebabkan efek karat pada peralatan.

Dalam menghasilkan reaksi dengan konversi sempurna pada temperatur rendah maka jumlah reaktan metanol ditambahkan berlebih. Berikut adalah reaksi pada proses esterifikasi:



Asam lemak (HCOOR), Metanol (CH₃OH), Metil Ester (CH₃COOR), dan Air (H₂O). Proses esterifikasi biasanya diikuti dengan proses transesterifikasi, namun sebelumnya air dan katalis asam serta kandungannya dihilangkan terlebih dahulu.

Reaksi esterifikasi dilakukan dengan cara mencampurkan asam lemak bebas dan methanol dengan bantuan katalis asam sulfat dengan konsentrasi 98% kemudian dipanaskan pada suhu tertentu agar menghasilkan biodiesel dan air. Temperatur yang digunakan adalah 60°C dan tekanan sebesar 1 atm dibuat konstan. Konversi reaksi esterifikasi yang dipakai adalah 95-99%.

Selanjutnya, proses dilanjutkan dengan transesterifikasi. Transesterifikasi merupakan proses konversi trigliserida menjadi alkil ester melalui reaksi dengan alkohol serta menghasilkan gliserol sebagai produk samping. Transesterifikasi bertujuan untuk mengoptimalkan pembentukan biodiesel dari rantai asam lemak pada *Palm fatty acid distillate* (PFAD). Beberapa jenis alkohol yang digunakan dalam proses transesterifikasi adalah metanol, etanol, propanol, butanol, dan *amyl* alkohol. Metanol merupakan jenis alkohol monohidrik sebagai sumber gugus alkil yang paling umum digunakan, dikarenakan memiliki rantai pendek, lebih polar harga yang murah dan reaktivitasnya yang paling tinggi.

Katalis yang dapat digunakan pada proses ini adalah katalis asam, basa, atau enzim. Namun katalis basa yang paling umum digunakan dalam penggunaan komersial, yakni NaOH dan KOH pada asam lemak bebas berkadar <1%. Namun, pada minyak nabati dengan kadar lemak bebasnya >1% perlu dilakukan deasidifikasi melalui reaksi metanolisis atau gliserolisis. Katalis basa mampu menghasilkan biodiesel dengan konversi dan yield yang tinggi dengan waktu yang relatif singkat. Namun, kelemahan proses ini adalah sangat sensitif terhadap kemurnian reaktan dan reaksi berjalan lambat.

Pada reaksi yang menggunakan katalis basa, trigliserida

dan metanol yang digunakan sebaiknya anhidrat atau mendekati, karena air dapat menyebabkan terjadi reaksi saponifikasi yang menghasilkan sabun. Selain itu, jika minyak berkadar FFA tinggi (>5%) langsung di transesterifikasi dengan katalis basa maka akan menghasilkan sabun. Terbentuknya sabun dalam jumlah yang besar dapat menghambat pemisahan gliserol dari metil ester dan berakibat terbentuknya emulsi selama proses pencucian. Sehingga proses esterifikasi sebagai tahap awal untuk mengkonversi FFA menjadi metil ester sehingga mengurangi kadar FFA dan minyak nabati dan selanjutnya dilakukan transesterifikasi dengan katalis basa untuk mengkonversi trigliserida menjadi metil ester [1]. Sabun yang terbentuk menyebabkan penurunan perolehan ester dan menyulitkan pemisahan ester dan gliserol. Selain itu, kandungan asam lemak bebas juga harus rendah. Apabila kandungan asam lemak bebas dan air dalam trigliseridanya tinggi maka katalis asam lebih cocok untuk digunakan.

Selain digunakan katalis asam dan basa, enzim jenis lipase juga dapat digunakan sebagai katalis pada proses pembuatan biodiesel. Katalis enzim mempunyai toleransi yang baik untuk minyak nabati berkadar FFA tinggi sehingga tidak diperlukan pengolahan pendahuluan seperti refining atau esterifikasi dengan katalis asam. Jadi dengan satu tahap reaksi karena esterifikasi dan transesterifikasi dapat berlangsung secara simultan dalam satu reaktor. Namun, penggunaan katalis enzim mempunyai beberapa kelemahan yaitu harganya yang mahal dibandingkan katalis asam atau basa, konversi reaksi tidak dapat berlangsung sempurna dan enzim mudah menjadi rusak atau tidak aktif karena kontak dengan kontaminan dalam minyak nabati maupun alkohol rantai pendek polar [1].

Secara umum proses pembuatan biodiesel ditunjukkan dalam Tabel 1. Seleksi proses pembuatan biodiesel dari Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) didasari dari kandungan yang terdapat kandungan terbesar dari *Free Fatty Acid* sebesar 81,7% dan gliserida sebesar 14,4% dan sisanya yaitu bahan bioaktif seperti vitamin E (0,5%), squalene (0,8%), sterol (0,4%) dan lainnya (2,2%). maka dipilih proses esterifikasi-transesterifikasi dengan lisensi dari Foolproof Biodiesel Proses. Proses ester-transesterifikasi dipilih karena kandungan FFA dari PFAD yang cukup tinggi sehingga perlu adanya proses untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan FFA yang tinggi dengan penambahan alkohol berupa metanol dan katalis asam homogen (H₂SO₄) dilanjut dengan reaksi transesterifikasi untuk mengubah trigliserida yang tersisa dalam PFAD. Alkohol rantai pendek berupa metanol dipilih karena harganya yang murah dan pemisahan emulsi setelah reaksi dapat dilakukan lebih mudah jika dibandingkan dengan etanol. Katalis asam digunakan untuk mengonversi FFA menjadi FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) serta menghindari terjadinya proses saponifikasi atau reaksi penyabunan ketika dilakukan proses transesterifikasi yang menyebabkan penurunan yield biodiesel dan pemisahan antara produk yang katalis dan kandungan lainnya akan sulit. Pengonversian FFA menjadi FAME dilakukan untuk menambah yield biodiesel yang dihasilkan. Selain itu, H₂SO₄ memiliki sifat menyerap air sehingga akan mengarahkan reaksi esterifikasi kearah produk sehingga produk yang dihasilkan akan lebih banyak.

Kemudian, dilakukan proses lanjutan berupa

transesterifikasi untuk mengonversi kandungan gliserida menjadi FAME dengan bantuan katalis homogen basa kuat (NaOH) dan menghasilkan produk samping berupa gliserin. Katalis NaOH dipilih karena tersedia dalam jumlah banyak, mudah didapat, murah, dan menghasilkan konversi biodiesel yang tinggi. Reaksi ini juga berlangsung pada tekanan dan suhu yang rendah. Dari penjelasan tersebut, dengan proses yang dipilih yaitu proses esterifikasi-transesterifikasi, diharapkan akan menghasilkan yield FAME yang tinggi. Gambar 1 menyajikan PFD pabrik biodiesel dari PFAD.

IV. URAIAN PROSES

A. Tahap Persiapan Bahan Baku

Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) yang berada pada tangki penyimpanan bahan baku (F-130) yang kemudian akan digunakan harus dilakukan pemanasan terlebih dahulu menggunakan *coil steam* hingga suhunya mencapai 60°C. Penggunaan *coil steam* adalah karena pemanasan yang dihasilkan lebih baik transfer panasnya jika dibandingkan dengan *jacket steam* karena fluida dalam tangki yang dipanaskan tidak memiliki masalah properti ketika dipanaskan suhu 60°C, maka lebih efektif digunakan *coil steam* di dalam reaktor. Pemanasan bertujuan untuk mencairkan PFAD (titik leleh PFAD adalah 50°C) dan siap untuk dialirkan ke reaktor esterifikasi. Selain persiapan PFAD sebagai bahan baku utama, diperlukan juga adanya persiapan untuk bahan baku pendukung sebelum dimasukkan ke reaktor esterifikasi berupa metanol dan H₂SO₄ yang digunakan sebagai katalis untuk menurunkan kadar FFA pada PFAD sehingga tidak menimbulkan penyabunan pada produk serta NaOH sebagai katalis pada tahap transesterifikasi untuk memaksimalkan yield biodiesel yang akan dihasilkan.

Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) yang berada pada tangki penyimpanan bahan baku (F-110) yang kemudian akan digunakan harus dilakukan pemanasan terlebih dahulu menggunakan *heater* hingga suhunya mencapai 60°C. Selain persiapan PFAD sebagai bahan baku utama, diperlukan juga adanya persiapan untuk bahan baku pendukung sebelum dimasukkan ke reaktor esterifikasi berupa metanol dan H₂SO₄ yang digunakan sebagai katalis untuk menurunkan kadar FFA pada PFAD sehingga tidak menimbulkan penyabunan pada produk.

B. Tahap Reaksi Esterifikasi

Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) yang telah dipanaskan dan telah mencair dipompakan ke dalam reaktor esterifikasi yang bertujuan untuk mengolah kandungan senyawa FFA (*Free Fatty Acid*) pada PFAD menjadi senyawa Metil Ester. Reaksi esterifikasi berlangsung dalam reaktor alir tangki berpengaduk (RATB) pada suhu 60°C dan tekanan 1 atm. Reaktor esterifikasi terjadi pada reaktor tangki berpengaduk dengan *coil steam*.

Pada proses esterifikasi digunakan pula reaktan berupa metanol (CH₃OH) 99% dan katalis asam sulfat (H₂SO₄) 98%. Pemilihan katalis H₂SO₄ didasarkan dengan pertimbangan bahwa proses esterifikasi membutuhkan bantuan katalis kuat yang bersifat homogen. Perbandingan molar antara metanol terhadap PFAD terhadap H₂SO₄ adalah 8:1:0,05 dengan besar konversi yaitu 98% [2].

Diperlukan penggunaan reaktan (metanol) berlebih karena reaksi yang terjadi adalah reaksi bolak balik (*reversible*) sehingga jika reaktan berupa ekse, diharapkan reaksi akan bergeser ke kanan dan reaksi menjadi tidak balik sehingga produk yang dihasilkan akan meningkat. Selain itu, ekse metanol digunakan agar air yang terbentuk dari reaksi dapat diserap oleh metanol sehingga tidak menghalangi jalannya reaksi pengubahan asam lemak bebas menjadi metil ester. Reaksi esterifikasi ini bertujuan untuk menurunkan kadar asam lemak bebas dalam PFAD agar dapat terjadi reaksi transesterifikasi pada proses selanjutnya dan untuk menghindari terbentuknya reaksi saponifikasi. Produk utama yang dihasilkan dari proses esterifikasi adalah metil ester. Sedangkan komponen lainnya yang keluar dari reaktor esterifikasi adalah trigliserida, metanol, air, H₂SO₄, FAME, dan sisa FFA. Sisa trigliserida yang ada dapat dimanfaatkan untuk proses selanjutnya yaitu proses transesterifikasi.

Sebelum masuk reaktor transesterifikasi, harus dilakukan pemisahan produk esterifikasi melalui proses separasi untuk menghilangkan kadar air, H₂SO₄, serta metanol yang tersisa dengan proses separasi gravitasi. Hal ini dilakukan karena air dapat mengganggu proses transesterifikasi dengan mengonsumsi katalis basa. Pada saat diberikan katalis basa berlebih dan pada keadaan reaksi saponifikasi, air yang terbentuk dapat bereaksi dengan katalis sehingga jumlahnya menjadi berkurang [1]. Alat yang digunakan pada proses separasi adalah *decanter* (*decanter* 1). *Decanter* dapat memisahkan produk menjadi bagian produk atas dan produk bawah. Produk atas (metil ester dan FFA) dari *decanter* 1 dikirim ke reaktor transesterifikasi dan produk bawah (metanol, H₂SO₄, dan air) dialirkan ke tangki penampung. Tahap selanjutnya, metil ester dari tangki penampung esterifikasi kemudian dipompa untuk dilanjutkan ke tahap transesterifikasi dengan menggunakan alat reaktor transesterifikasi.

C. Tahap Reaksi Transesterifikasi

Proses transesterifikasi merupakan proses lanjutan yang dilakukan setelah proses esterifikasi. Sisa trigliserida yang belum bereaksi pada tahap esterifikasi akan direaksikan kembali dengan metanol dan dengan bantuan katalis basa untuk diubah menjadi metil ester dengan produk samping berupa gliserol yang dilakukan pada kondisi operasi suhu 60°C dan tekanan 1 atm. Faktor penting yang akan mempengaruhi yield dari biodiesel adalah rasio molar alkohol terhadap trigliserida. Secara stoikiometri, transesterifikasi membutuhkan 3 mol alkohol untuk 1 mol trigliserida akan menghasilkan yield 3 FAME dan 1 mol gliserol. Agar reaksi dapat bergeser ke arah produk, alkohol yang ditambahkan harus berlebih dari kebutuhan stoikiometrinya. Dalam beberapa penelitian, perbandingan yang digunakan antara 3,3 - 5,25: 1 dengan perolehan metil ester 97-99%. Dalam industri biasanya digunakan perbandingan 6:1 yang diperoleh konversinya sebesar 99%. Peningkatan alkohol terhadap trigliserida dapat meningkatkan konversi lemak menjadi ester dalam waktu yang singkat namun menyulitkan pemisahan gliserol. Sehingga yield biodiesel meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi alkohol. Sehingga perbandingan rasio molar dari metanol terhadap trigliserida terhadap katalis NaOH yang digunakan adalah 6:1:0,15 [3].

Metanol yang digunakan berasal dari tangki penyimpanan yang kemudian dibagi alirannya menggunakan *splitter* lalu dipompa menuju *heater* untuk dipanaskan hingga suhu 60°C lalu dipompa menuju reaktor transesterifikasi. Kemudian NaOH padatan yang berasal dari tangki penyimpanan dicampurkan dengan metanol dalam *mixer* agar menghasilkan ion metoksida yang lebih reaktif terhadap reaksi transesterifikasi. Hasil keluaran *mixer* kemudian menuju reaktor transesterifikasi. Mekanisme reaksi transesterifikasi terkatalisis basa dimulai dengan serangan ion metoksida pada atom karbon karbonil trigliserida menghasilkan intermediet tetrahedral kemudian mengalami eliminasi yang diikuti terbentuknya metil ester (biodiesel) dan ion gliserida yang terlihat pada mekanisme reaksi transesterifikasi. Katalis NaOH akan bereaksi dengan metanol terlebih dahulu membentuk ion metoksida yang selanjutnya menjadi pereaksi nukleofil. Reaksi pembentukan ester dalam kondisi basa dengan ion metoksida disebut reaksi nukleofilik.

D. Tahap Pemurnian (Finishing)

Tahap pemurnian dilakukan setelah biodiesel melewati tahap transesterifikasi. Biodiesel yang dihasilkan akan dibawa ke *decanter* 2 untuk memisahkan gliserol yang dihasilkan pada tahap transesterifikasi. Hasil bagian atas *decanter* 2 dipompa menuju tangki penyimpanan transesterifikasi lalu dipompa kembali untuk dibawa menuju *washing tower* yang menggunakan tangki berpengaduk untuk mempercepat homogenisasi antara metil ester beserta impurities dengan air untuk dilakukan proses pencucian dengan menggunakan air untuk pemisahan pada *decanter* nantinya. Tujuan dari proses pencucian yaitu mencuci dan memisahkan metil ester dari gliserol, sisa katalis, sisa metanol yang tidak bereaksi, sabun, serta *impurities* yang terkandung di dalamnya sehingga dihasilkan metil ester dengan kemurnian yang tinggi.

Reaksi yang terjadi adalah air akan berikatan dengan gliserol dan metanol yang bersifat nonpolar sehingga saat diumpankan pada proses selanjutnya, gliserol dan metanol dapat dikurangi kadarnya dari metil ester sehingga kandungan dari gliserol pada *byproduct treatment* juga dapat meningkat. Metil ester tidak akan ikut terlarut karena merupakan senyawa yang polar. Penambahan air pada proses ini umumnya 50% dari total minyak yang akan dicuci dan air minimal bersuhu 30°C agar nilai kelarutan dari pengotor semakin meningkat. Selanjutnya biodiesel akan dibawa menuju alat *decanter* (*decanter* 3) untuk memisahkan metil ester dengan campuran air, gliserol dan metanol karena kedua campuran ini merupakan campuran yang tidak dapat larut. Pemisahan ini dilakukan dengan dasar perbedaan massa jenis dari kandungan senyawa. Biodiesel sebagai fraksi ringan akan terpisah dan berada di atas, sedangkan gliserin, metanol, katalis, dan juga sabun sebagai fraksi berat berada di bawah. Proses pemisahan tersebut akan menghasilkan 2 *output* yaitu *output* yang akan mengolah biodiesel lebih lanjut dan *output* yang akan mengalirkan produk samping *crude* gliserol menuju proses pemurnian *crude* gliserol untuk memperoleh gliserol murni.

Kemudian pada *output* biodiesel dari *decanter* akan dilakukan proses pemurnian dengan menguapkan metanol dan air sehingga diperoleh metil ester yang lebih murni.

Output biodiesel akan dipompa menuju flash tank untuk dilakukan pemisahan antara metil ester dengan metanol. Proses pemurnian biodiesel dilakukan menggunakan *flash tank* (dengan pompa vakum) untuk meminimalkan harga yang dikeluarkan dan penggunaan vakum dianggap cukup untuk memurnikan biodiesel. Kandungan metanol yang teruapkan kemudian dipompa menuju tangki penampung metanol untuk digunakan sebagai metanol *recovery*. Sementara itu, metil ester yang telah dimurnikan dipompa menuju tangki penampung dan dapat didistribusikan.

Sedangkan *output* lain dari *decanter* 3 akan dilakukan proses pengolahan *byproduct* yaitu *output crude* gliserol yang disimpan pada tangki penampung sementara terlebih dahulu bersamaan dengan produk bawah *decanter* 1. Didalam tangki penampung sementara terdapat reaksi netralisasi antara katalis asam dari esterifikasi dan katalis basa dari transesterifikasi proses ini bertujuan untuk menarik ion natrium yang terdapat dalam gliserol kotor. Kemudian, dilakukan pemisahan kembali campuran pada tangki penampung dengan *decanter* (*decanter* 4), gliserol yang berada pada lapisan atas *decanter* 4 dipompa menuju *heater* untuk memanaskan suhunya menjadi 80°C sesuai dengan kondisi operasi kolom distilasi. Selanjutnya gliserol dimurnikan dengan cara memisahkan kandungan metanol pada gliserol menggunakan kolom distilasi. Pada proses distilasi ini menggunakan unit reboiler dan kondensor untuk *me-recycle* kandungan gliserol yang ikut menguap sehingga proses distilasi lebih efisien dan diperoleh gliserol dengan kemurnian yang tinggi. Kandungan metanol yang teruapkan kemudian dipompa menuju tangki penampung metanol untuk digunakan sebagai metanol *recovery*. Selanjutnya gliserol yang telah dimurnikan dipompa menuju tangki penampung gliserol dan dapat didistribusikan. Sedangkan bagian bawah dari *decanter* 4 akan dialirkan ke pengolahan limbah.

V. NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI

A. Neraca Massa

Berdasarkan hasil perhitungan neraca massa, kapasitas produksi pabrik biodiesel sebesar 150.000 ton/tahun. Kebutuhan PFAD yang digunakan sebagai bahan baku utama sebesar 147.569 ton/tahun. Bahan baku penunjang yang digunakan, yaitu Methanol sebanyak 18.544 ton/tahun, katalis NaOH solid sebanyak 840,5 ton/tahun dan H₂SO₄ 98% sebesar 2520 ton/tahun serta H₂O sebagai pencuci sebesar 41,670 ton/tahun.

B. Neraca Energi

Berdasarkan hasil perhitungan neraca energi, total kebutuhan panas pabrik biodiesel dari PFAD adalah sebesar 83.635.364,8 kJ/jam dengan total kebutuhan powernya adalah 34 Hp.

VI. ANALISA EKONOMI

Analisis ekonomi merupakan salah satu parameter suatu pabrik tersebut layak didirikan atau tidak. Untuk menentukan kelayakan suatu pabrik secara ekonomi, diperlukan perhitungan bahan baku yang dibutuhkan dan produk yang dihasilkan menurut neraca massa, harga

peralatan untuk proses berdasarkan spesifikasi peralatan yang dibutuhkan serta analisa biaya yang diperlukan untuk beroperasi dan utilitas, jumlah dan gaji karyawan serta pengadaan lahan untuk pengoperasian Pabrik Biodiesel. Dari data yang diperoleh serta pengolahan data, hasil perhitungan pada neraca ekonomi didapatkan Total Capital Investment pabrik ini sebesar Rp 1.677.426.400.938,00. Biaya produksi total per tahun sebesar Rp 1.559.080.620.873,00 dengan. hasil penjualan per tahun sebesar Rp 1.997.593.171.863,00 untuk kapasitas produksi 150.000 ton/tahun. Umur dari pabrik ini diperkirakan selama 20 tahun. Pabrik beroperasi selama 330 hari/tahun. Pabrik memiliki beberapa parameter kelayakan didirikannya suatu pabrik yaitu Interest Rate of Return (IRR) dan Pay Out Time (POT). Dari hasil pengolahan data diperoleh IRR sebesar 16,1% dan BEP sebesar 49% dimana pengembalian modalnya selama 9,3 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan karena POT yang didapatkan lebih kecil dari perkiraan usia peralatan dan IRR lebih besar dari bunga bank.

VII. KESIMPULAN

Pabrik Biodiesel dari Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) yang didirikan di Provinsi Riau telah dilakukan analisis dengan hasil IRR 16,1% dengan pengembalian modalnya selama 9,3 tahun dan dapat disimpulkan bahwa Pabrik Biodiesel baik untuk dikaji lebih lanjut karena telah layak secara teknis dan ekonomi untuk dibangun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Joelianingsih, J., Tambunan, Armansyah H and Nabetani, H., Sagara, Y. and Abdullah, "Perkembangan proses pembuatan biodiesel sebagai bahan bakar nabati (Bbn)," *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 20, no. 3, 2006, doi: 10.19028/jtep.020.3.%25p.
- [2] Chongkhong, S., Tongurai, C. and Chetpattananondh, "Continuous esterification for biodiesel production from palm fatty acid distillate using economical process," *Renew. energy*, vol. 34, no. 4, pp. 1059–1063, 2009, doi: 10.1016/j.renene.2008.07.008.
- [3] Guo, Y. and Leung, D. Y. C., "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.