

Pra Rancangan Pabrik Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Metode Transesterifikasi dengan Kapasitas 50.000 Ton/Tahun

Caroline Fernanda Sutanto, Fernando Pujiadhi Wiryawan, dan Firman Kurniawansyah
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
e-mail: edof82@gmail.com

Abstrak—Biodiesel merupakan alternatif dari bahan bakar fosil yang bersumber dari minyak nabati atau lemak hewani. Pengembangan biodiesel mengalami kendala diantaranya adalah tingginya harga bahan baku dan biaya produksi yang mengakibatkan harga jual biodiesel yang dihasilkan belum mampu bersaing dengan minyak diesel berbasis minyak bumi. Salah satu upaya dalam pencarian bahan baku yang ekonomis dengan menggunakan *low cost feed stock* contohnya minyak jelantah. Biodiesel dari minyak jelantah ini dipandang lebih ekonomis dari segi biaya bahan baku dibandingkan CPO, dan dapat memanfaatkan limbah rumah tangga sehingga mengurangi polusi di lingkungan. Terdapat 3 tahapan utama dalam proses pembuatan biodiesel dari minyak jelantah, antara lain tahap *pre-treatment* bahan baku, reaksi transesterifikasi dan pemurnian. Produksi diawali dengan tahap *pre-treatment* limbah minyak jelantah yaitu tahap degumming, bleaching, filter kotoran, evaporasi, reaksi esterifikasi dan penetralan. Selanjutnya dilakukan tahapan utama yaitu pembentukan biodiesel dengan reaksi transesterifikasi. Setelah itu dilakukan pemurnian produk dengan evaporasi biodiesel dan merecovery metanol dengan distilasi pada produk gliserol sehingga didapatkan produk utama biodiesel dan produk samping gliserol. Pembiayaan pabrik biodiesel dari minyak jelantah berasal dari 40% dana pribadi dan 60% pinjaman dari Bank. Dengan perincian analisa ekonomi sebagai berikut: Nilai *Net Present Value* positif dan nilai *Internal rate of Return* sebesar 26,98% dan bunga bank 12%, *Pay Out Time* dalam 4,3 tahun, dan Titik Impas sebesar 30,68%. Dilihat dari sensitivitas terhadap IRR, harga jual produk berpengaruh besar dalam nilai IRR.

Kata Kunci—Biodiesel, Minyak Jelantah, Transesterifikasi.

I. PENDAHULUAN

SEIRING perkembangan zaman di era modern ditandai dengan perkembangan teknologi dan juga kebutuhan energi yang berkembang dengan pesat. Peningkatan kebutuhan energi saat ini membuat energi dari fosil (tidak terbarukan) semakin berkurang dari waktu ke waktu. Menipisnya cadangan minyak bumi ini berkebalikan dengan meningkatnya kebutuhan energi terutama di era modern ini. Pertambahan jumlah penduduk yang disertai dengan peningkatan kesejahteraan masyarakat berdampak pada makin meningkatnya kebutuhan akan sarana transportasi dan aktivitas industri. Produksi minyak bumi di Indonesia selama 10 tahun terakhir menunjukkan kecenderungan menurun, dari 346 juta barel pada tahun 2009 menjadi sekitar 283 juta barel di tahun 2018. Penurunan produksi tersebut disebabkan oleh sumur-sumur produksi utama minyak bumi yang umumnya sudah tua, sementara produksi sumur baru relatif masih terbatas. Tanpa adanya temuan cadangan minyak bumi baru, maka dalam 11–12 tahun

ke depan Indonesia tidak mampu memproduksi minyak bumi [1]. Dalam hal ini biodiesel merupakan energi alternatif untuk mengatasi kelangkaan bahan bakar fosil.

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terbuat dari minyak tumbuhan atau lemak hewan. Biodiesel terdiri dari campuran mono-alkyl ester yang berasal dari asam lemak dengan rantai panjang. Biodiesel juga dikenal dengan bahan bakar ramah lingkungan karena menghasilkan emisi gas buang yang relatif lebih bersih dibandingkan dengan solar. Selain itu, penggunaan biodiesel umumnya mudah, karena tidak perlu memodifikasi mesin diesel [2]. Sebagai bahan bakar alternatif, biodiesel dapat digunakan dalam bentuk murni atau dicampur dengan minyak diesel pada perbandingan tertentu.

Biodiesel yang dibuat dengan bahan baku minyak jelantah memiliki yield sebesar 94%. Minyak jelantah mengandung senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik, yang terjadi selama proses penggorengan. Minyak jelantah merupakan triester gliserol dari asam lemak jenuh dan tidak jenuh. Hampir semua minyak goreng murni mengandung 98% trigliserida sedangkan 2% merupakan komponen non-trigliserida seperti monogliserida, tokoferol, asam lemak bebas, fosfolipid, digliserida, serta sedikit komponen zat warna [3].

Pembuatan biodiesel dari minyak jelantah semakin pesat dengan dilarangnya pemakaian minyak jelantah untuk campuran pakan ternak, karena sifatnya yang karsinogenik (suatu bahan yang dapat mendorong atau menyebabkan kanker) [4]. Alasan dikembangkan biodiesel dari minyak jelantah adalah proses ini lebih ekonomis jika dipandang dari segi biaya bahan baku dibanding menggunakan minyak sawit murni (CPO), karena minyak jelantah merupakan minyak sisa yang kurang termanfaatkan. Hal yang mendukung perkembangan biodiesel dari minyak jelantah adalah Pola konsumsi minyak goreng masyarakat yang sebagian besar menggunakan minyak goreng kelapa sawit untuk menggoreng makanan yang akan dikonsumsi. Hal ini merupakan titik awal dalam penyediaan bahan baku pembuat biodiesel secara kontinu.

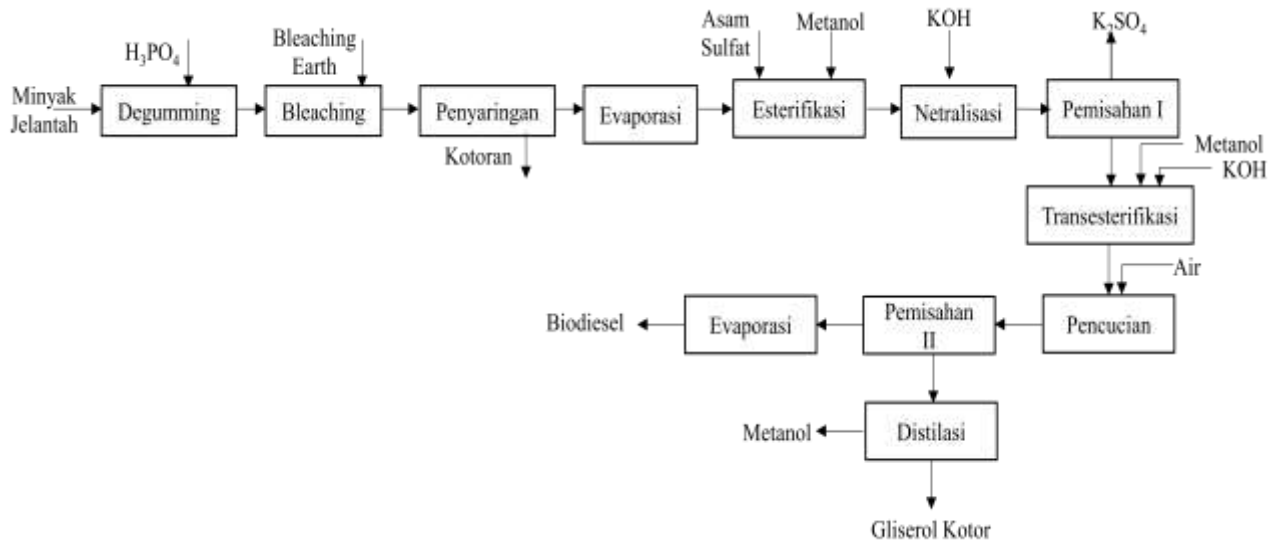
Biodiesel sendiri dari tahun ketahun semakin berkembang guna memenuhi kebutuhan energi dan bahan bakar. Perkembangan tersebut juga diikuti oleh konsumsi, dan ekspor yang semakin besar pula tiap tahunnya. Dengan cadangan Bahan Bakar Minyak (BBM) yang terbatas, peningkatan konsumsi secara alami akan berpengaruh terhadap meningkatnya impor dan subsidi untuk memenuhi kebutuhan energi nasional. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 79 yang disahkan pada tahun 2014

Tabel 1.
Data perkembangan biodiesel di Indonesia dari tahun 2010 hingga 2018 (juta liter)

Data Perkembangan	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Produksi	780	1.812	2.270	2.950	3.500	1.200	3.500	2.800	5.600
Impor	0	0	5	24	0	0	0	0	28
Ekspor	563	1.440	1.608	1.942	1.569	343	476	187	1.772
Konsumsi	223	359	669	1.048	1.845	860	3.008	2.572	3.950

Tabel 2.
Estimasi konsumsi dan produksi pupuk organik

Tahun	Produksi (juta liter)	Import (juta liter)	Export (juta liter)	Konsumsi (juta liter)
2023	159266,5	0	5252729,65	134192,94



Gambar 1. Diagram balok pembuatan biodiesel dari minyak jelantah.

mengenai Kebijakan Energi Nasional, kebutuhan minyak buki, batubara, gas, dan energi baru dan terbarukan (EBT) secara kumulatif akan meningkat hampir 5 kali lipat selama periode 2015-2050. Kebutuhan bioenergi diperkirakan meningkat hingga 14% dari bauran energi primer. Pertumbuhan dari biodiesel di Indonesia dari tahun 2010 hingga 2018 dapat dilihat pada Tabel 1.

Biodiesel banyak dibutuhkan oleh Negara Indonesia dan juga Dunia. Biodiesel yang menggunakan bahan baku minyak jelantah masih jarang diproduksi. Minyak jelantah atau *waste cooking oil* yang merupakan limbah dari penggorengan ini sangat karsinogenik dan dapat merusak lingkungan jika dibuang ke lingkungan langsung. Banyaknya peluang pengumpulan minyak jelantah, juga mendukung terbentuknya pabrik biodiesel ini. Sehingga dapat dibuat kesimpulan bahwa pabrik biodiesel menggunakan minyak jelantah ini layak untuk didirikan.

Seleksi proses yang dapat dipilih dalam proses pembuatan biodiesel adalah reaksi transesterifikasi. Ada 3 jenis transesterifikasinya antara lain transesterifikasi menggunakan katalis asam, katalis basa dan dengan superkritis metanol.

Proses transesterifikasi yang dipilih adalah proses transesterifikasi menggunakan katalis basa dimana proses berlangsungnya reaksi lebih cepat yaitu sekitar 1 jam, dilakukan pada tekanan 1 atm dan suhu 63°C. Proses transesterifikasi dengan katalis basa dapat dilakukan menggunakan perbandingan rasio alkohol/minyak 6 : 1 dengan konversi yang tinggi hingga 99,5%. Namun reaksi menggunakan katalis basa memiliki kekurangan yaitu

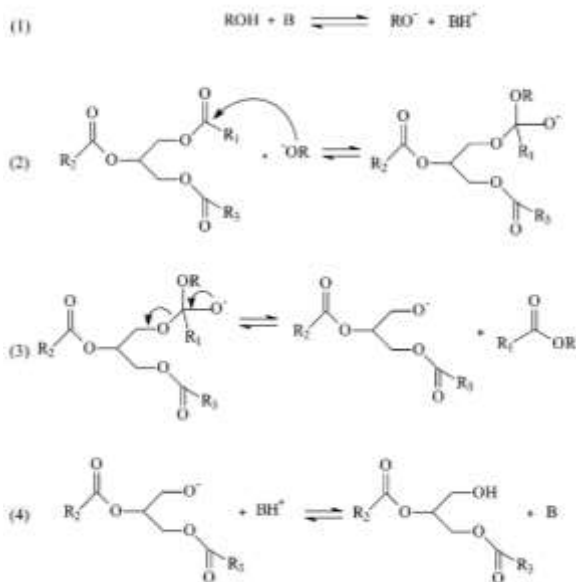
sensitif terhadap adanya asam lemak bebas dan juga air, oleh karena itu sebelum reaksi transesterifikasi dilakukan maka perlu dilakukan reaksi esterifikasi [5].

Reaksi esterifikasi mengacu pada reaksi asam karboksilat, dalam hal ini asam lemak dengan alkohol untuk menghasilkan ester. Reaksi esterifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu jumlah pereaksi metanol dan asam lemak bebas, waktu reaksi, suhu, konversi katalis dan kandungan air pada minyak. Reaksi esterifikasi dilakukan pada tahap produksi biodiesel dengan menggunakan minyak yang memiliki kadar asam lemak bebas lebih dari 2% dimana reaksi ini bertujuan untuk menurunkan kadarnya hingga kurang dari 2%. Reaktan metanol digunakan dengan berlebih agar proses konversi dapat berjalan sempurna. Semakin tinggi jumlah metanol yang digunakan dan kandungan asam lemak bebas pada minyak, maka semakin tinggi rendemen metil ester serta semakin kecil kandungan asam lemak bebas di akhir reaksi [6].

II. KAPASITAS DAN LOKASI PABRIK

Pabrik biodiesel dari minyak jelantah ini ditargetkan untuk mulai beroperasi pada tahun 2023. Dalam penentuan kapasitas pabrik yang akan dibuat, maka diambil data estimasi produksi, import, ekspor dan konsumsi biodiesel pada tahun 2023 yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa produksi biodiesel belum mencukupi kebutuhan ekspor dan konsumsi, oleh karena itu terdapat potensi pendirian pabrik biodiesel terutama menggunakan minyak jelantah dalam rangka pemenuhan kebutuhan ekspor dan konsumsi pada tahun



Gambar 2. Mekanisme reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa.

2023. Berdasarkan data yang telah diproyeksikan, maka ditetapkan bahwa pabrik biodiesel dari minyak jelantah yang akan dibangun ini memiliki kapasitas 50.000 ton/tahun.

Dalam penentuan lokasi pabrik ada 3 aspek utama yang dipertimbangkan yaitu aspek produksi dan distribusi yang terdiri dari ketersediaan bahan baku, lokasi pemasaran, aksesibilitas dan fasilitas transportasi, aspek sumber daya alam (SDA) dan sumber daya manusia (SDM) yang terdiri dari sumber energi listrik, ketersediaan air dan sumber tenaga kerja. Dan aspek hukum dan topografi yaitu hukum dan peraturan serta iklim dan topografi [7]. Berdasarkan aspek-aspek tersebut, ditetapkan 3 alternatif lokasi pabrik yaitu provinsi Jawa Timur, Jawa Barat dan Provinsi Kalimantan Timur, kemudian dilakukan pembobotan berdasarkan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), sehingga ditetapkan lokasi pendirian pabrik berada di Kota Gresik, Provinsi Jawa Timur.

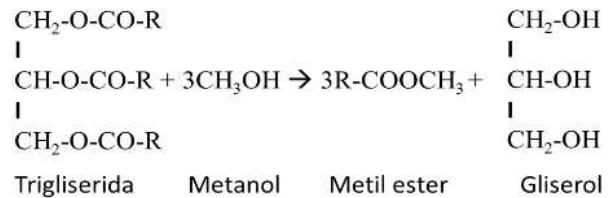
Pertimbangan Gresik sebagai lokasi pabrik karena jumlah restoran dan hotel sebanyak 4.169 buah sebagai sumber bahan baku minyak jelantah sehingga tidak kesulitan dalam pemenuhan kebutuhan bahan baku serta mengurangi *transportation cost*, terdapat 3 titik lokasi pencampuran B-30 sebagai tempat penjualan biodiesel nantinya, dan memiliki jumlah angkatan kerja yang belum bekerja sekitar 850 ribu orang dengan UMR sebesar Rp 1.868.777,-. Jumlah energi listrik dan air yang memadai di daerah Gresik karena merupakan daerah industri, serta transportasi yang mudah dijangkau dengan 33 pelabuhan. Lokasi pabrik biodiesel dari minyak jelantah ini akan didirikan berada di Gending, dekat Segoromadu, Kecamatan Kebomas, Kabupaten Gresik, Jawa Timur.

III. URAIAN PROSES

Proses pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dengan metode reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa meliputi beberapa tahap yang dapat dilihat pada Gambar 1.

A. Tahap Pre-Treatment Bahan Baku

Tahap *pre-treatment* terdiri dari beberapa proses yaitu proses degumming, proses bleaching, proses penyaringan



Gambar 3. Reaksi transesterifikasi.

Tabel 3. Spesifikasi hasil produk biodiesel

Spesifikasi	Standar	Hasil
Kadar Abu	0,02 %	0,00005%
Angka Asam	0,5 mg KOH/g	0,018 mg KOH/g
Gliserol Total	0,24 %	0,232%
Trigliserida	Mak 0,8%	2,676%
Kadar Biodiesel	Min 96,5%	96,86%

atau filtrasi, proses evaporasi, proses esterifikasi dan proses penetralan. Bahan baku utama yang digunakan adalah minyak jelantah dan metanol sebagai pereaksi, yang didukung oleh beberapa bahan penunjang seperti H_3PO_4 , *bleaching earth*, H_2SO_4 , dan KOH.

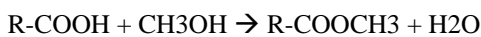
Bahan baku utama yaitu minyak jelantah akan ditampung pada tangki penyimpanan dan dipanaskan hingga suhu 70°C sebelum dialirkan ke tangki mixer degumming. Pada tangki ini minyak akan ditambah dengan H_3PO_4 sehingga terjadi reaksi degumming pada suhu 70°C . Kandungan fosfolipid yang tinggi dalam minyak jelantah ini akan bereaksi dengan asam fosfat sehingga menghasilkan gum fosfat dan CaHPO_4 . Asam fosfat yang digunakan memiliki konsentrasi sebesar 85%. Setelah itu minyak jelantah akan masuk ke tangki bleaching untuk mengadsorpsi impurities dan gumm dari proses degumming. Pada proses ini dilakukan dengan penambahan *bleaching earth* sebagai pengadsorpsi. Keluaran tangki bleaching ini akan masuk ke filter press untuk memisahkan kotoran dalam minyak jelantah. Filter yang digunakan berjenis *plate and frame*. Setelah disaring dari kotoran maka minyak jelantah akan dievaporasi hingga kandungan airnya habis. Evaporator yang digunakan berupa steam heated evaporator dimana pemanas yang digunakan adalah steam. Dalam evaporator ini, minyak jelantah akan diuapkan pada suhu 105°C dan tekanan 1 atm. Pada suhu 105°C ini diharapkan penguapan air pada minyak jelantah dapat maksimum teruapkan sehingga tercapai minyak dengan kandungan air yang rendah. Setelah dari evaporator, minyak jelantah akan dialirkan menggunakan pompa menuju pendingin berjenis shell and tube. Cooler ini akan mendinginkan suhu minyak jelantah dari 105°C menjadi 63°C menggunakan media berupa air pendingin yang memiliki suhu 30°C .

Selain minyak jelantah sebagai bahan baku utama, ada juga asam sulfat, KOH dan Metanol sebagai bahan baku penunjang. Karena reaksi dilakukan pada suhu 63°C maka setiap bahan yang akan masuk ke reaktor akan dipanaskan terlebih dahulu. Metanol sebagai bahan baku penunjang yang disimpan pada tangki penyimpanan tertutup dengan tekanan 1 atm dan suhu 30°C . Metanol dialirkan untuk dipanaskan menggunakan *heat exchanger* berjenis *shell and tube*, yang mengubah suhu methanol dari 30°C menjadi 63°C . Selain metanol, asam sulfat yang berada di tangki penyimpanan tertutup dengan kondisi operasi 30°C dan tekanan 1 atm, juga dipanaskan terlebih dahulu

menggunakan *heat exchanger* berjenis *double pipe* yang akan memanaskan asam sulfat dari suhu 30°C menjadi suhu 63°C menggunakan media pemanas steam.

B. Tahap Esterifikasi

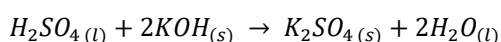
Pada proses ini minyak jelantah yang sudah didinginkan akan direaksikan dengan methanol karena asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak jelantah lebih dari 2%. Proses ini dinamakan proses esterifikasi, yang mereaksikan asam lemak bebas dalam minyak jelantah dengan methanol berlebih sehingga menghasilkan biodiesel dan air [8]. Metanol yang digunakan memiliki kemurnian 98% dengan perbandingan stoikiometri metanol dan minyak adalah 6:1 agar hasil biodiesalnya semakin banyak dan banyak asam lemak bebas yang bereaksi sehingga kandungannya dalam minyak jelantah akan menurun. Proses esterifikasi ini akan dibantu dengan katalis asam sulfat dengan kemurnian 98% sebesar 1% dari jumlah volume minyak jelantah yang akan direaksikan. Reaksi akan dilakukan pada suhu 63°C dan tekanan 1 atm menggunakan reaktor alir tangki berpengaduk, hingga menghasilkan minyak jelantah dengan kandungan asam lemak bebas yang rendah sekitar kurang dari 0,5%. Reaktor ini merupakan reaktor kontinu dengan pengadukan yang rendah sehingga semua kandungan asam lemak bebas dapat bereaksi dengan metanolnya. Reaktor ini menggunakan jaket pendingin karena reaksi esterifikasi ini merupakan reaksi eksothermal atau mengeluarkan panas, sehingga untuk menjaga suhu reaksi pada reaktor konstan, maka jaket pendingin diperlukan. Konversi reaksi reaktor esterifikasi sebesar 98% [9]. Produk Reaktor esterifikasi berupa biodiesel, H₂O, Triolein dan reaktan yang tidak terkonversi seperti metanol dan katalis asam sulfat. Hasil reaktor ini akan dilanjutkan untuk masuk tahap reaksi netralisasi. Reaksi Esterifikasi :



FFA metanol metil ester air

C. Tahap Netralisasi

Setelah melalui tahap esterifikasi yang benuansa asam, sebelum memasuki tahap transesterifikasi yang benuansa basa, maka diperlukan tahapan penetralan agar reaktor transesterifikasi tidak terkorosi akibat adanya garam. Tahap penetralan ini dengan penambahan katalis KOH sebagai basa kuat sehingga bereaksi dengan asam sulfat sehingga akan menghasilkan garam. Proses penetralan ini berlangsung pada tangki berpengaduk agar KOH dan H₂SO₄ dapat bercampur dengan sempurna sehingga biodiesel dan sisa reaktan yang tidak bereaksi benuansa netral. Reaksi Penetralan atau penggaraman yaitu:



Dari reaksi penetralan ini akan terbentuk garam K₂SO₄ yang baik untuk dibuat pupuk. Semakin tinggi suhu reaksi yang digunakan maka semakin banyak massa pupuk Kalium Sulfat yang terbentuk, dan semakin lama waktu pengadukan, maka semakin banyak juga molekul – molekul yang reaktan yang bereaksi sehingga pupuk Kalium sulfat yang terbentuk juga semakin banyak [10]. Tangki penetralan ini berlangsung pada suhu keluaran reaktor esterifikasi yaitu bersuhu 63°C dan akan dijaga pada suhu tersebut dengan diberi jaket pendingin karena reaksi penetralan ini bersifat

eksotermal atau mengeluarkan panas, reaksi juga berlangsung pada tekanan 1 atm. Tangki ini dilengkapi dengan pengaduk yang berputar perlahan sehingga dengan adanya pengadukan, maka garam yang terbentuk tidak dibiarkan untuk mengendap dibawah, namun akan terbawa aliran menuju tahap selanjutnya untuk dipisahkan.

Setelah dari tangki penetralan, selanjutnya akan dipisahkan menggunakan filter press. Filter Press ini berjenis Plate and Frame yang akan memisahkan garam Kalium Sulfat sebagai padatan dengan cairan yang berupa biodiesel, air, minyak jelantah, dan metanolnya. Cairan yang terpisahkan akan melewati medium filter dan akan ditampung terlebih dahulu di tangki penampungan sementara. Garam Kalium Sulfat yang berupa padatan ini akan terperangkap pada medium filter dan akan menjadi cake untuk masuk ke dalam waste water treatment dan diolah sebelum dibuang ataupun dijual ke pabrik pupuk. Cairan yang berhasil lolos akan dipompakan ke reaktor Transesterifikasi menuju tahap transesterifikasi.

D. Tahap Transesterifikasi

Sebelum masuk ke tahap transesterifikasi, katalis KOH akan dicampurkan terlebih dahulu dengan metanol di mixer. Mixer yang digunakan berupa tangki berpengaduk dengan pengaduk berupa tree blade propeller. Setelah dicampurkan pada tangki pencampuran atau mixer, methanol dan KOH tersebut akan dipompakan menuju Reaktor Transesterifikasi.

Pada produksi biodiesel, prinsip proses transesterifikasi adalah mengeluarkan gliserin dari minyak dan mereaksikan gliserida dengan alkohol (methanol) menjadi metil ester. Reaksi Transesterifikasinya tertera pada Gambar 3.

Reaksi transesterifikasi dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal, dimana faktor internal meliputi kondisi yang berasal dari minyak, seperti kadar air dan asam lemak bebas. Faktor eksternal yang berpengaruh antara lain jenis katalis dan konsentrasinya, perbandingan molar antara alkohol dengan minyak dan jenis alkohol, suhu dan lama reaksi [11]. Molekul trigliserida (triglyceride) dari minyak nabati akan bereaksi dengan molekul alkohol rantai pendek, melepaskan molekul ester, dan terkonversi menjadi digliserida (diglyceride), kemudian monogliserida (monoglyceride) dan terakhir jadi gliserol (glycerol) [12].

Katalis basa seperti NaOH akan terdisosiasi membentuk ion-ion seperti Na⁺ dan OH⁻, yang akan bereaksi dengan alkohol untuk membentuk alkoksida aktif. Sebagai nukleofil kuat, alkoksida ini akan segera menyerang atom karbonil dari trigliserida, dan akan terbentuk intermediate yang tidak stabil. Atom oksigen akan memberikan sepasang elektron ke atom karbonil sehingga membentuk ikatan rangkap dua. Molekul alkil ester kemudian akan terdisosiasi dari intermediate tetrahedral. Langkah ini akan terulang lagi pada digliserida dan monogliserida, hingga menghasilkan molekul gliserol [12]. Proses ini diilustrasikan di Gambar 2.

Reaktor transesterifikasi berupa *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dan reaktan-reaktan akan masuk dari bagian atas reaktor yang kemudian akan dilakukan pengadukan di dalam reaktor untuk homogenisasi dan pengontakkan antar reaktan sehingga dapat bereaksi dengan optimal. Kondisi operasi pada reaktor transesterifikasi adalah suhu 63°C dan tekanan 1 atm selama 60 menit. Dalam reaktor ini memiliki konversi yang cukup tinggi

hingga 99,5% dengan rasio molar antar alkohol dan minyak 6 : 1 dan konsentrasi KOH 1% wt dari minyak. Produk dari reaktor ini berupa metil ester, gliserol, methanol yang belum tereaksi, dan minyak yang belum tereaksi yang pada proses selanjutnya akan dilakukan pemisahan untuk menghasilkan produk utama dan produk samping. Reaktor transesterifikasi ini dilengkapi dengan pengaduk dan jaket pendingin karena reaksinya yang eksotermis [13].

E. Tahap Pencucian

Biodiesel dari hasil Transesterifikasi memiliki kadar katalis yang tinggi sehingga dapat terbentuk sabun sehingga perlu untuk dilakukan pencucian. Pencucian menggunakan air hangat pada suhu sekitar 60°C. Pencucian yang dilakukan dengan menggunakan air hangat ini bertujuan untuk melarutkan sabun yang ada pada biodiesel karena katalis basa.

Pada proses ini, alat yang digunakan berupa *washing column* yang bekerja pada suhu 60°C dan tekanan 1 atm. Air bersih untuk pencucian di-spray dari bagian atas kolom dan akan berkontak dengan biodiesel. Air yang di-spray ini akan turun sepanjang lapisan biodiesel dengan melarutkan sisa-sisa katalis dan kotoran. Pada kolom pencucian ini juga dilakukan pengadukan mekanis untuk mengontakkan air dengan biodiesel agar proses pencucian berjalan optimal. Hasil cucian Biodiesel ini kemudian dialirkan ke decanter untuk tahap pemisahan II.

Tahapan pemisahan ini berfungsi untuk memisahkan produk utama yang diinginkan dengan produk samping yaitu memisahkan biodiesel dengan gliserol dan methanol. Tahap pemisahan ini dilakukan menggunakan decanter berupa centrifugal separator yang memanfaatkan prinsip gerakan sentrifugal dan perbedaan berat jenis dari zat. Zat yang lebih berat yang pada proses ini adalah gliserol, methanol dan katalis akan terpisah dari biodiesel dan keluar di bagian bawah decanter, sedangkan metil ester akan keluar di bagian atas decanter. Karena komponen biodiesel mempunyai densitas yang berbeda dan tidak saling melarutkan maka akan diperoleh dua lapisan di dalam decanter. Lapisan atas merupakan komponen dengan densitas yang lebih kecil (light component) atau disebut fraksi ringan, yaitu metil ester (biodiesel), sedangkan lapisan bawah atau 27 fraksi berat (heavy component) berupa bahan-bahan sisa reaksi yaitu dimana jumlah terbanyak berupa methanol, katalis, gliserol, dan air. Lapisan atas yang keluar akan menuju tahapan evaporasi, sedangkan lapisan bawah akan menuju heater untuk dipanaskan hingga suhu 91,8°C sebagai suhu feed dalam kolom distilasi. Dalam kolom distilasi metanol yang terikat dalam air dan gliserol akan dipisahkan dan direcovery kembali ke dalam sistem, sedangkan gliserol menjadi produk samping.

F. Tahap Pengeringan (Drying)

Produk biodiesel akan masuk ke tahap pengeringan menggunakan evaporator. Biodiesel dari tahap penyaringan II masih mengandung sedikit metanol dan juga air, oleh sebab itu diperlukan proses pemisahan berdasarkan perbedaan titik didih menggunakan evaporator. Dengan adanya perbedaan titik didih, campuran metanol dan air akan menguap terlebih dahulu dan menjadi produk atas dari evaporator, sedangkan produk bawahnya berupa biodiesel dengan kemurnian 98,6 % sesuai produk yang diinginkan.

Evaporator ini akan memanaskan hingga menguapkan larutan – larutan yang masuk dengan titik didih dari campuran metanol dan air dengan tekanan 1 atm, evaporator yang digunakan adalah evaporator berjenis steam heated evaporator.

Setelah biodiesel dipanaskan untuk menghilangkan sisa air dan mendapatkan kemurnian yang lebih tinggi, dilakukan pendinginan biodiesel pada shell and tube heat exchanger hingga suhunya turun dari 105°C menjadi suhu 30°C. Dari cooler atau pendingin, biodiesel dengan kemurnian 96,86% sesuai yang diinginkan akan masuk ke tangki penyimpanan akhir sebelum dijual ke PT. Pertamina. Spesifikasi produk biodiesel dari minyak jelantah yang dihasilkan terdapat pada Tabel 3.

IV. NERACA MASSA

Berdasarkan perhitungan neraca massa dengan asumsi pabrik beroperasi 24 jam selama 330 hari per tahun, dibutuhkan bahan baku limbah minyak jelantah sebanyak 8.354,78 kg/jam, metanol sebanyak 769,96 kg/jam, KOH sebanyak 137,39 kg/jam, Asam Sulfat sebanyak 68,64 kg/jam, bleaching earth sebanyak 115,35 kg/jam dan asam fosfat sebanyak 4,85 kg/jam. Pabrik biodiesel dari minyak jelantah ini akan menghasilkan biodiesel sebanyak 6.402,528 kg/jam dan gliserol kotor sebanyak 3.352,848 kg/jam.

V. ANALISIS EKONOMI

Dari hasil perhitungan pada neraca ekonomi didapatkan *Total Cost Investment* pabrik ini sebesar Rp 596.469.076.025,- dengan bunga bank 12% per tahunnya. Selain itu, diperoleh IRR sebesar 26,98% dan BEP sebesar 30,68% dimana pengembalian modalnya selama 4,3 tahun. Umur dari pabrik ini diperkirakan selama 10 tahun dengan masa periode pembangunannya selama 2 tahun dan operasi pabrik ini 330 hari/tahun.

VI. KESIMPULAN

Dari hasil yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Perencanaan Operasi : kontinyu, 24 jam/hari, selama 330 hari/tahun
2. Kapasitas Produksi : 50.000 ton/tahun
3. Bahan Baku Utama : 66.169,836 ton minyak jelantah / tahun dan 6.098,067 ton metanol / tahun
4. Lokasi Pabrik : Gending, Kabupaten Gresik, Jawa Timur
5. Umur Pabrik : 10 tahun
6. Masa Konstruksi : 2 tahun
7. Analisa Ekonomi:
 - a. Permodalan
 - Modal Tetap (FCI) : Rp 477.175.260.820,-
 - Modal Kerja (WCI) : Rp 119.293.815.205,-
 - Investasi Total (TCI) / CAPEX : Rp 596.469.076.025,-
 - Biaya Produksi Total / OPEX : Rp 10.151,81,- per liter biodiesel
 - b. Penerimaan
 - Hasil Penjualan per tahun : Rp 1.021.012.279.144,-

c. Rentabilitas

Bunga Bank : 12 %

Laju Inflasi : 10 %

d. Kelayakan Ekonomi

Net Present Value (NPV) : +Rp 466.224.728.907,-

Laju Pengembalian Modal (IRR) : 26,98 %

Waktu Pengembalian Modal (POT) : 4,3 tahun

Break Even Point (BEP) : 30,68 %

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Dewantoro and F. Asri, "Pra Rancangan Pabrik Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Proses Esterifikasi Dan Transesterifikasi Kapasitas 7.500 Ton/Tahun," Departemen Teknik Kimia: Universitas Islam Indonesia, 2018.
- [2] D. Y. Tomasila and P. H. Suharti, "Analisa Ekonomi pra rancangan pabrik kimia pembuatan biodiesel berbahan baku minyak jelantah dengan katalis KOH kapasitas 37.000 ton/tahun," *DISTILAT J. Teknol. SEPARASI*, vol. 6, no. 2, pp. 373--380, 2020.
- [3] P. Ebong, D. Owu, and E. Isong, "Influence of palm oil (*elaesis guineensis*) on health," *Plant Foods Hum. Nutr.*, vol. 53, no. 3, pp. 209--222, 1999.
- [4] A. Hanafie, A. Haslinah, Qalaman, and A. Made, "Permodelan karakteristik biodiesel dari minyak jelantah," *ILTEK J. Teknol.*, vol. 12, no. 2, pp. 1775--1779, 2017.
- [5] P. R. Dewati, A. H. Purbohandono, and A. Budiman, "Pre-treatment process of biodiesel production from waste cooking oil," *Eksergi*, vol. 11, no. 1, pp. 57--61, 2013.
- [6] M. Nasikin and W. Nurhayanti, "Penggunaan metode netralisasi dan pre-esterifikasi untuk mengurangi asam lemak bebas pada CPO (crude palm oil) dan pengaruhnya terhadap yield metilester," *J. Teknol.*, vol. 1, 2004.
- [7] M. S. Peters, K. D. Timmerhaus, and R. E. West, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. New York: McGraw-Hill, 2003.
- [8] R. Efendi, H. A. N. Faiz, and E. R. Firdaus, "Pembuatan Biodiesel Minyak Jelantah Menggunakan Metode Esterifikasi- Transesterifikasi Berdasarkan Jumlah Pemakaian Minyak Jelantah," in *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2018, pp. 402--409.
- [9] N. Suleman and M. Papatungan, "Esterifikasi dan transesterifikasi stearin sawit untuk pembuatan biodiesel," *J. Tek.*, vol. 17, no. 1, pp. 66--77, 2019.
- [10] I. Aziz, S. Nurbayti, and B. Ulum, "Esterifikasi asam lemak bebas dari minyak goreng bekas," *J. Kim. Val.*, vol. 2, no. 2, 2011.
- [11] N. H. Maharani and Zuliyana, "Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) Dari Minyak Dedak Dan Metanol Dengan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi," Departemen Teknik Kimia: Universitas Diponegoro, 2011.
- [12] D. N. Modi, "Biodiesel production using supercritical methanol," Chemical Engineering Department: Missouri University of Science and Technology, 2010.
- [13] D. A. Setyawardhani, S. Distantina, H. Henfiana, and A. S. Dewi, "Pembuatan Biodiesel dari Asam Lemak Jenuh Minyak Biji Karet," Departemen Teknik Kimia: Universitas Diponegoro, 2010.