

Pra Desain Pabrik Biodiesel dari Crude Calophyllum Inophyllum Oil (CCIO) dengan Metode Kombinasi Microwave Asisted Extraction - Batchwise Solvent Extraction

Dwi Santoso, Abdul Malik Al Mulki, dan Hakun Wirawasista Aparamarta
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: abdulmulki.17022@mhs.its.ac.id

Abstrak—Beberapa tahun belakangan ini, persoalan energi telah menjadi permasalahan yang krusial baik di Indonesia maupun dunia, sehingga terjadi peningkatan harga bahan bakar minyak (BBM). Ketergantungan manusia terhadap bahan bakar fosil (BBF) menyebabkan cadangan sumber energi tersebut makin lama semakin berkurang. Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) merupakan spesies tanaman mangrove dari famili Calophyllaceae. Beberapa keunggulan biodiesel yang dihasilkan dari nyamplung adalah rendemen minyak nyamplung tergolong tinggi yaitu 40-73%. Terdapat tiga tahapan utama dalam pembuatan pabrik biodiesel dari Biji Nyamplung (CCIO) yaitu Persiapan bahan baku pre-treatment, proses pemurnian dan proses pembuatan Biodiesel. Pada pabrik ini proses pemurnian menggunakan metode kombinasi Microwave Assisted Extraction (MAE) - Batchwise Solvent Extraction (BSE). Produk yang dihasilkan dari pabrik ini adalah metil ester (biodiesel) sebagai produk utama dan gliserol sebagai produk samping. Pabrik ini berkapasitas 100.000 ton/tahun dengan operasi selama 24 jam per hari dengan hari kerja 330 hari per tahun. Sumber investasi pabrik Biodiesel dari Biji Nyamplung berasal dari 30% dana pribadi dan 70% dana pinjaman dari Bank (Bank BRI). Dengan perincian analisa ekonomi sebagai berikut, Total Capital Investment (TCI): Rp 266.212.519.031, Net Present Value (NPV): Rp 229.322.898.704, Internal Rate of Return (IRR): 23,8 %, Pay Out Time (POT): 3,97 tahun, Break Event Point (BEP): 49,36 % Kapasitas total. Sehingga dengan hasil tersebut dinilai bahwa pabrik ini layak untuk didirikan.

Kata kunci—Batchwise, Biodiesel, Extraction, Gliserol, Investasi, Microwave, NPV, Nyamplung.

I. PENDAHULUAN

BEBERAPA tahun belakangan ini, persoalan energi telah menjadi permasalahan yang krusial baik di Indonesia maupun dunia, yang mana hal ini memberikan dampak signifikan pada meningkatnya harga bahan bakar minyak (BBM). Ketergantungan manusia terhadap bahan bakar fosil (BBF) menyebabkan cadangan sumber energi tersebut makin lama semakin berkurang. Sejak tahun 1991, produksi minyak Indonesia terus menurun. Penyebabnya adalah produktivitas sumur-sumur yang ada semakin berkurang. Pada 2018, pemerintah menargetkan produksi minyak sekitar 800 ribu barel/hari. Namun, hingga akhir Juli, data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menunjukkan bahwa rata-rata produksi minyak berada pada kisaran 773 ribu barel/hari. Dimana jumlah produksi ini jauh di bawah tahun 2017 yang masih berada pada kisaran 949 ribu barel [1]. Selain itu apabila ditinjau dari segi dampak, meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil menimbulkan

efek rumah kaca yang semakin hari mengancam kesehatan lingkungan. Berikut beberapa sektor yang menjadi penyumbang emisi CO₂ pada lingkungan : Kontributor Emisi Gas Rumah Kaca Global terbesar adalah penggunaan bahan bakar fosil (BBF) dari sektor industri, perumahan, perkantoran, transportasi, dan penyedia energi yang mana menyumbang sekitar 75% dari seluruh emisi gas rumah kaca global [2].

Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil berdampak pula pada perubahan iklim global yang disebabkan oleh meningkatnya efek rumah kaca di atmosfer bumi. Permasalahan emisi dari bahan bakar fosil inilah yang memberikan tekanan kepada setiap negara untuk segera memproduksi dan menggunakan energi yang dapat diperbaharui (*renewable resources*) yang tidak mencemari lingkungan. Untuk mengurangi efek rumah kaca ini perlu ditingkatkan upaya pemanfaatan sumber energi alternatif yang bisa diperbaharui. Sumber energi terbarukan tersebut diantaranya adalah bahan bakar alternatif berupa biodiesel [3].

Untuk mendukung perkembangan biodiesel, pemerintah telah mengeluarkan PP No.79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional dalam penyediaan dan pemenuhan sumber energi dalam negeri diantaranya dengan menetapkan target produksi energi baru dan energi terbarukan paling sedikit 23% pada tahun 2025 dengan mengurangi konsumsi minyak bumi menjadi 25%, serta memberi penugasan kepada Departemen Kehutanan untuk berperandam penyediaan bahan baku biodiesel termasuk pemberian ijin pemanfaatan lahan hutan terutama lahan yang tidak produktif [3].

Indonesia berhasil memproduksi 630 ribu kiloliter biodiesel, sedangkan tingkat konsumsi adalah 23 ribu kilo liter, dan sebagian besar produksi biodiesel Indonesia adalah berorientasi ekspor. Setiap tahun produksi biodiesel Indonesia memiliki trend pertumbuhan yang positif. Pada tahun 2016, produksi biodiesel Indonesia meningkat pesat menjadi 2.45 juta kilo liter. Seiring dengan meningkatnya konsumsi domestik, dari 23 ribu kilo liter pada tahun 2008, menjadi 2,25 juta kilo liter pada tahun 2016 yang berdampak pada kinerja ekspor biodiesel Indonesia yang menurun. Bahan baku yang dapat digunakan dalam pembuatan biodiesel antara lain adalah Nyamplung [4].

Tanaman nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) adalah pohon yang termasuk kedalam famili *Clusiaceae*. Tanaman ini memiliki persebaran habitat di Afrika Timur, India, Asia Tenggara, Australia dan Pasifik Selatan. Tanaman ini tumbuh di area dengan curah hujan 1000-5000 mm pertahun

Tabel 1.
Syarat mutu biodiesel

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Massa jenis pada 40°C	°C.kg/m ³	850-890
2	Viskositas kinematik pada 40°C	mm ² /s(cS)	2,3-6,0
3	Angka setana	-	Min. 41
4	Titik nyala	°C	Min. 100

Tabel 2.
Sifat fisis dan kimia dari gliserol

Karakteristik	Keterangan
Berat Molekul	92.11 g/mol
Rumus molekul	C ₃ H ₈ O ₃
Viskositas	1300 mPa.s
Titik leleh	(17-18) °C
Impuritas	17% NaCl
Bentuk	Cair
Warna	jernih kekuningan
Titik didih	290°C
Flash point	177°C
Densitas 25°C	1,26 g/cm ³
Sifat kimia	Gliserol dapat mengalami <i>glycolysis</i> atau <i>gluconeogenesis</i> , bersifat higroskopis, Larut dalam air

pada ketinggian 0-200 m diatas permukaan laut. Tanaman nyamplung sangat potensial bila digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel dikarenakan kadar minyak yang tinggi pada biji (40-73 % (w/w)), minyak yang dapat dihasilkan sebesar 4680 kg/ha serta merupakan *non-edible oil* sehingga tidak bersaing dengan kebutuhan pangan (Muhammad, 2014).

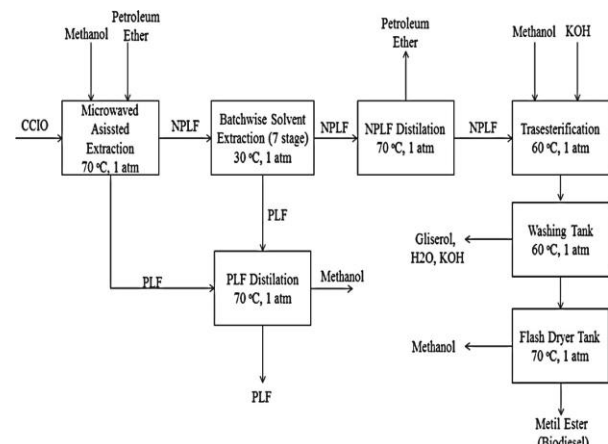
Pada pabrik ini, bahan baku yang digunakan adalah crude minyak biji nyamplung yang didapat dari kerjasama dengan pabrik biodiesel dan *home industry* masyarakat setempat. Berikut spesifikasi nyamplung yang dipasarkan di Indonesia berdasarkan Dewan Standarisasi Nasional dengan nomor SNI 01-3178-1996, Berat jenis (g/cm³): 0.941-0.945, Warna: Hijau gelap dan kental, Kandungan TG: 78,3 %, Kandungan FFA: 8,51%, Angka lodium: 82-98, Angka penyabunan: 192-202. Produk dari pabrik ini yaitu biodiesel sebagai produk utama dan gliserol sebagai produk samping [5].

Tabel 1 merupakan kualitas dari Biodiesel sesuai dengan standar baku mutu yang mengacu pada SNI 7182:2015. Sedangkan untuk gliserol (1,2,3-propanatriol) sering digunakan sebagai pelarut, pemanis, humektan, bahan tambahan pada industri peledak, kosmetik, sabun cair, permen dan pelumas. Gliserol juga dipakai sebagai komponen antibeku suatu campuran dan sumber nutrisi pada kultur fermentasi dalam produksi antibiotik. Data sifat fisis dan kimia gliserol tertera pada Tabel 2.

Tumbuhan nyamplung ini biasanya hanya dimanfaatkan kayunya untuk kebutuhan konstruksi, furniture dan lain-lain. Beberapa keunggulan biodiesel yang dihasilkan dari nyamplung adalah rendemen minyak nyamplung tergolong tinggi yaitu 73% (Soerawidjaja, 2002). Dengan adanya potensi nyamplung yang cukup melimpah di Indonesia, pemanfaatannya sebagai sumber bahan bakar nabati pengganti solar, dapat menjadi alternative mengatasi krisis energi di Indonesia. Dalam Kebijakan Energi Nasional pemerintah menargetkan pada 2025 pemakaian BBN mencapai 5 persen dalam bauran energi nasional (*energy mix*). Tabel 3 merupakan tabel perkembangan produksi dan konsumsi

Tabel 3.
Perkembangan produksi dan konsumsi biodiesel Indonesia

	2013	2014	2015	2016	2017
Beginning stock*	55	7	57	34	34
Production *	2800	3000	1180	2450	2600
Import *	0	0	0	0	0
Eksport *	1800	1350	343	200	100
Consumption *	1048	1600	860	2250	2400
Ending stock *	7	57	34	34	134



Gambar 1. Diagram blok proses pembuatan biodiesel CCIO (*crude calophyllum inophyllum oil*).

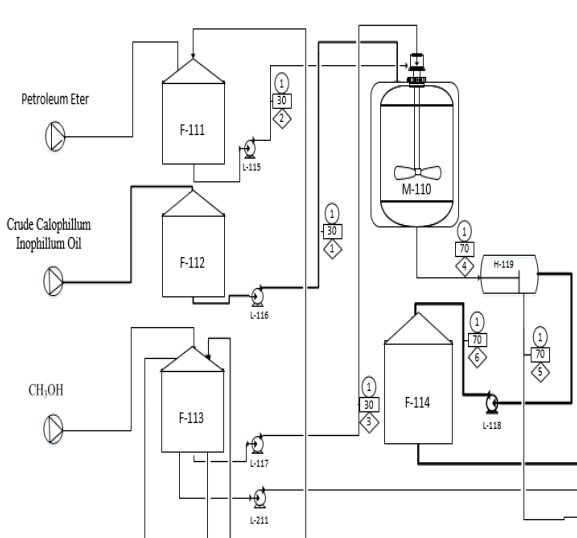
biodiesel Indonesia [6]. Dari Tabel 3, pemerintah didorong dalam merealisasikan program pengembangan BBN dengan perlahan mengurangi pemakaian energi fosil. Sedangkan BBN, baik biodiesel maupun bioethanol, ditingkatkan produksinya.

II. URAIAN PROSES

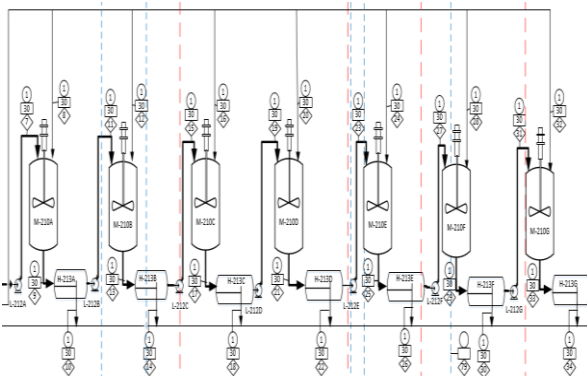
Proses produksi dalam pabrik biodiesel dari *crude oil* nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) ini terbagi menjadi 4 tahap utama, yaitu: tahap *Microwave Assisted Extraction* (MAE), tahap *Batchwise Solvent Extraction* (BSE), tahap Distilasi, dan tahap Transesterifikasi (pembuatan biodiesel). Diagram blok proses untuk pembuatan biodiesel dapat dilihat pada Gambar 1.

A. Tahap *Microwave Assisted Extraction* (MAE)

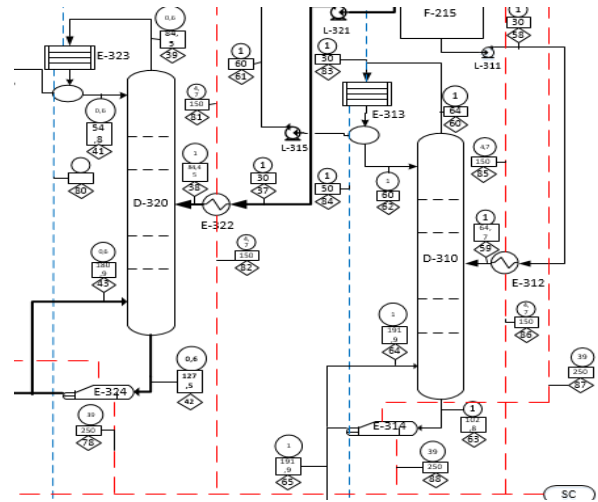
Minyak nyamplung (*crude Calophyllum inophyllum oil*) setelah melalui penyaringan, selanjutnya memasuki tahap pemurnian. *Crude Calophyllum inophyllum oil* mengandung triasilgliserol (TAG), diasilgliserol (DAG), monoasilgliserol (MAG), asam lemak bebas (*free fatty acid* atau FFA), dan senyawa lainnya. Agar bisa digunakan menjadi biodiesel kadar FFA dalam minyak harus kurang dari 3% [3]. Tahap pemurnian bertujuan untuk mengurangi kadar FFA menjadi kurang dari 3%. Pada tahap ini, pemurnian dilakukan dengan cara *microwaved assisted extraction-batchwise solvent extraction* yaitu ekstraksi menggunakan solvent polar dan non-polar, untuk memisahkan senyawa polar dan non-polar yang terdapat dalam *crude Calophyllum inophyllum oil*, sehingga didapatkan fraksi polar (PLF) dan fraksi non-polar (NPLF), dengan bantuan microwave pada awal proses ekstraksi. Senyawa yang termasuk non-polar antara lain



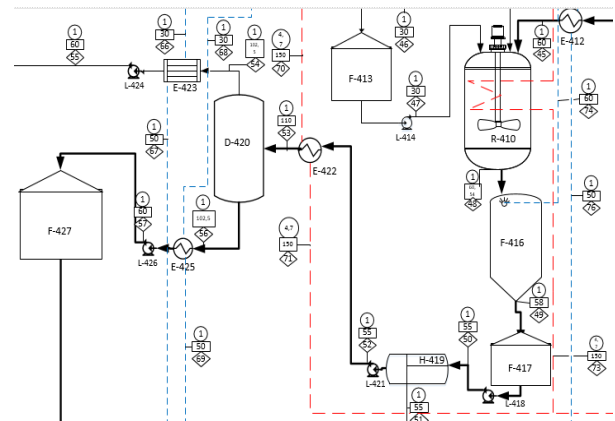
Gambar 2. Tahap microwave assisted extraction (MAE).



Gambar 3. Tahap batchwise solvent extraction (BSE).



Gambar 4. Tahap distilasi.



Gambar 5. Tahap transesterifikasi (pembuatan biodiesel).

TAG, DAG, MAG, sedangkan senyawa yang termasuk polar antara FFA, dan senyawa lainnya. Solvent yang digunakan dalam tahap ini adalah metanol (solvent polar) dan petroleum ether (solvent non-polar). Tahap MAE tertera pada Gambar 2.

B. Tahap Batchwise Solvent Extraction (BSE)

Multi stage batchwise extraction terbagi menjadi dua tahap, *microwaved assisted extraction* dan *batchwise solvent extraction*. Pada tahap *microwaved assisted extraction*, *crude Calophyllum inophyllum oil* akan dipisahkan menjadi dua yaitu PLF dan NPLF. Perbandingan solvent polar dan non-polar yang digunakan adalah 25% metanol dan 75% petroleum ether. Rasio kebutuhan solvent (campuran metanol dan petroleum ether) terhadap *crude Calophyllum inophyllum oil* adalah 5 : 1 [3]. Di dalam microwave, *crude Calophyllum inophyllum oil* akan dicampur dengan solvent metanol dan petroleum ether, setelah itu diaduk selama 45 menit dengan kecepatan 200 rpm pada suhu 30 °C tekanan 1 atm dan daya 450 watt. Setelah pengadukan selesai, campuran minyak dengan solvent akan dialirkan menuju *decanter* untuk pemisahan kedua fraksi. Senyawa NPLF terdapat pada bagian atas dan senyawa PLF terdapat pada bagian bawah. Setelah pemisahan selesai, ekstrak yang berupa senyawa NPLF akan memasuki tahap selanjutnya yaitu *batchwise solvent extraction*.

Pada tahap ini, senyawa NPLF dimurnikan kembali menggunakan metanol pada suhu 30 °C tekanan 1 atm. Pemurnian dilakukan dalam 7 tahap (7 *stages*) agar diperoleh kadar TAG yang tinggi. Hasil dari pemurnian 7

tahap tersebut berupa senyawa NPLF (yang merupakan *refined Calophyllum inophyllum oil*) dan senyawa PLF yang merupakan ekstrak metanol. Dari proses pemurnian tersebut, didapatkan minyak nyamplung dengan kadar TAG sebesar 96,062% dan kadar FFA 1,10% [7]. Tahap BSE tertera pada Gambar 3.

C. Tahap Distilasi

NPLF selanjutnya dialirkan ke dalam kolom distilasi untuk memisahkan solvent (petroleum ether) dari NPLF. Proses distilasi dilakukan pada tekanan 1 atm dan suhu 70°C, untuk mencapai suhu operasi maka dibutuhkan *heat exchanger* untuk memanasi NPLF dan solvent sebelum dipisahkan pada kolom distilasi. Pada kolom distilasi terjadi pemisahan antara NPLF dengan solvent petroleum ether. NPLF yang telah dipisahkan, selanjutnya diolah menjadi biodiesel. Tahap distilasi tertera pada Gambar 4.

D. Tahap Transesterifikasi (pembuatan biodiesel)

NPLF yang telah dipisahkan dari solvent (petroleum ether) kemudian diolah menjadi biodiesel (metil ester) dengan menggunakan proses transesterifikasi dengan katalis basa, menghasilkan produk biodiesel hingga 99%. Pada pabrik ini menggunakan proses transesterifikasi dengan katalis basa untuk mengubah NPLF menjadi biodiesel (metil ester), sebab kadar FFA yang dihasilkan dari proses pemurnian MAE-BSE ini adalah 1,10% Sehingga tidak memerlukan proses esterifikasi.

Proses transesterifikasi terhadap minyak NPLF, menggunakan kalium hidroksida (KOH) ditambahkan

Tabel 4.

Hasil perhitungan analisa ekonomi		
No	Keterangan	Jumlah
1.	Biaya tetap (FC)	Rp. 29,416,483,353
2.	Biaya variabel (VC)	
	-Bahan baku	Rp. 1,960,245,490,413
	-Utilitas	Rp. 266,044,749,240
	-Paten dan royalti	Rp. 26,604,474,924
	Total Biaya Variabel (VC)	Rp. 2,252,894,714,577
3.	Biaya semi variabel (SVC)	
	-Tenaga kerja	Rp. 14,308,800,000
	-Pemeliharaan dan perbaikan	Rp. 11,314,032,059
	-Operating supplies	Rp. 1,131,403,206
	-Laboratorium	Rp. 1,430,880,000
	-Supervisor langsung	Rp. 1,430,880,000
	-Plant overhead cost	Rp. 106,417,899,696
	-Pengeluaran umum	Rp. 242,102,399,506
	Total Biaya semi variabel (SVC)	Rp. 378,136,294,467
4.	Total penjualan (S)	Rp. 2,806,998,194,748

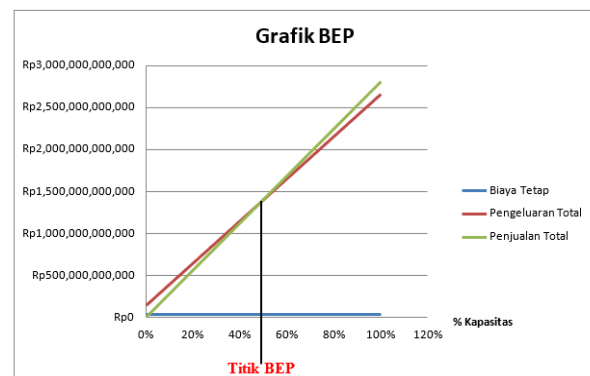
sebanyak 1,25 % wt dari minyak NPLF. Produk transesterifikasi dilarutkan dalam metanol dengan perbandingan methanol : NPLF teresterifikasi adalah 8:1. Penambahan metanol berlebih ini supaya reaksi tidak berbalik ke kiri. Proses transesterifikasi dilakukan pada suhu 65°C dan tekanan 1 atm dengan waktu pengadukan 120 menit [1]. Reaksi transesterifikasi juga dilakukan dalam tangki berpengaduk. Keberadaan pengaduk ini penting untuk memastikan terjadinya reaksi di seluruh bagian reactor, dengan putaran 200 rpm. Produk dari transesterifikasi kemudian masuk ke dalam tangki pencucian (*Washing Tank*) yang berguna mencuci zat-zat pengotor sisa reaksi transesterifikasi dengan menggunakan air pada suhu 60°C (*PT. Wilmar Nabati Indonesia*). Setelah itu dilakukan pemisahan menggunakan dekanter yang akan memisahkan campuran berdasarkan densitasnya dalirkan dalam dekanter untuk dipisahkan menjadi dua lapisan akan berupa fasa metil ester (metil ester, minyak yang tidak bereaksi, metanol) dan fasa gliserol (gliserol, metanol, dan sodium metilate).

Kemudian fame masuk ke tahap pemurnian biodiesel ini menggunakan decanter, *washing tank*, flash tank. Campuran kaya metil ester, dialirkan ke *heater* untuk dipanaskan sebelum masuk ke *flash tank* untuk menghilangkan kadar air dan metanol yang masih terkandung. Sedangkan lapisan lain dari decanter (gliserol, metanol, dan sodium hidroksida, dan minyak yang tidak bereaksi) dialirkan ke tangki penampung untuk diolah lebih lanjut. Kemudian biodiesel yang mengandung air dipanaskan menggunakan *heater* pada suhu 130°C agar air dapat menguap dan sisa metanol menguap seluruhnya, setelah itu biodiesel diumpankan ke dalam *flash tank* sehingga air dan metanol yang terkandung dalam biodiesel akan menguap, dan metanol diumpankan ke dalam *condenser* untuk diubah menjadi fasa cair, sehingga dihasilkan produk biodiesel dengan kandungan air < 0,05% sesuai dengan Standar SNI 7182:2015.

Lapisan bawah dari dekanter (gliserol, metanol, dan sodium hidroksida, dan minyak yang tidak bereaksi) masuk ke kolom tangki penampung untuk disimpan demi pengolahan lebih lanjut. Tahap transesterifikasi tertera pada Gambar 5.

III. MATERIAL BALANCE

Berikut merupakan hasil perhitungan dari *material balance* pra desain pabrik biodiesel dari Crude Calophyllum



Gambar 6. Grafik break even point (BEP).

Inophyllum Oil (CCIO) dengan metode kombinasi Microwave Asisted Extraction - Batchwise Solvent Extraction dengan kapasitas *feed* CCIO, Petroleum Eter, dan Methanol sebanyak 105,590.6 kg/jam untuk menghasilkan produk utama biodiesel (metil ester) sebanyak 12,579.5 kg/jam dan produk samping berupa gliserol sebanyak 1,333.3 kg/jam dan PLF *Crude* sebanyak 4905.559 kg/jam.

IV. ANALISA EKONOMI

Salah satu parameter dalam pendirian suatu pabrik adalah analisa ekonomi. Dengan analisa ekonomi dapat diketahui apakah pabrik tersebut layak untuk didirikan atau tidak. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan untung-rugi dalam mendirikan pabrik biodiesel dari Crude Calophyllum Inophyllum Oil (CCIO) dengan metode kombinasi Microwave Asisted Extraction - Batchwise Solvent Extraction adalah [8]:

1. *Net Present Value* (NPV)
2. Laju Pengembalian Modal (*Internal Rate of Return / IRR*)
3. Waktu Pengembalian Modal Minimum (*Pay Out Time / POT*)
4. Titik Impas (*Break Even Point / BEP*)

Untuk menentukan faktor-faktor di atas terlebih dahulu perlu diketahui:

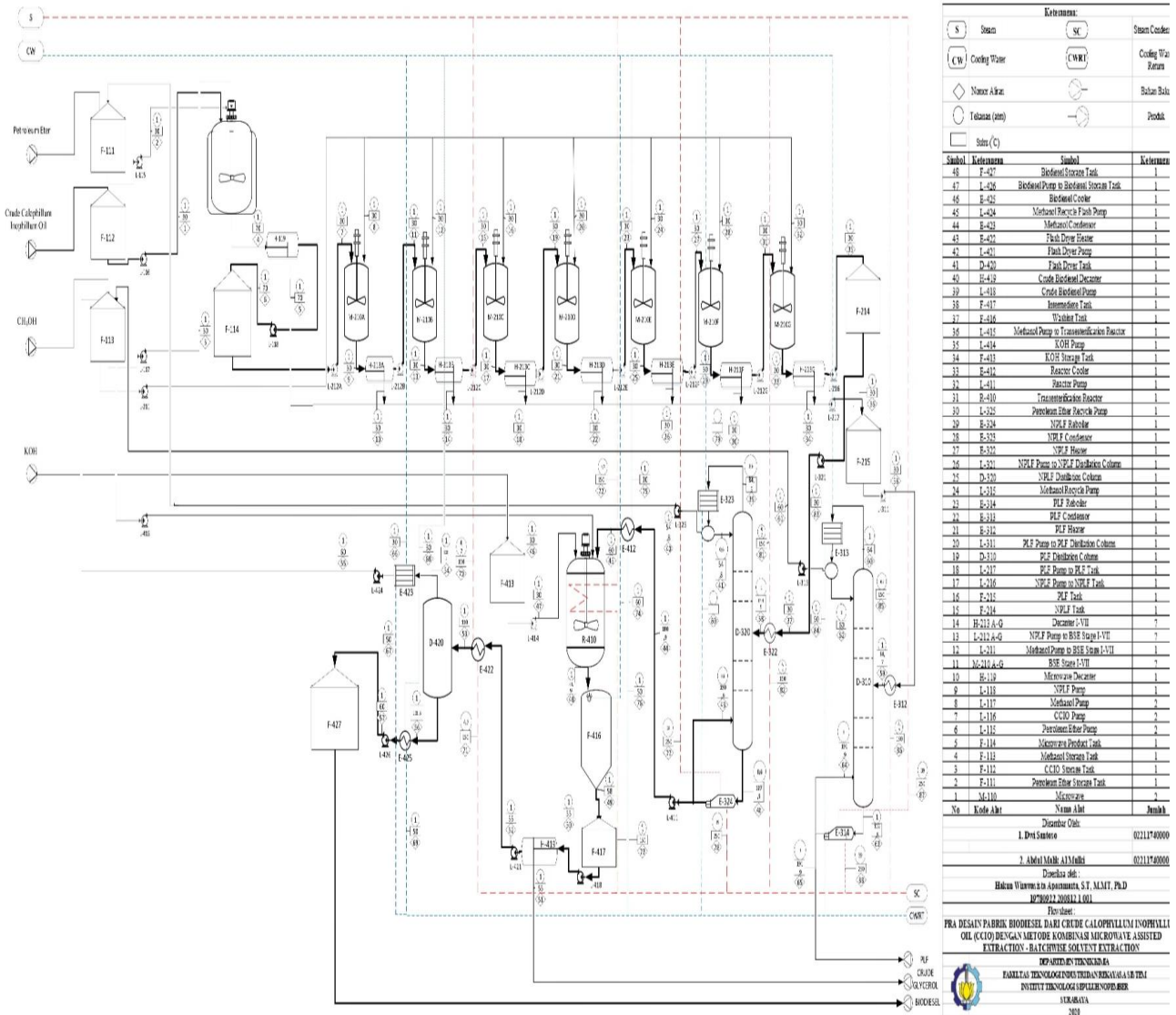
A. Total Capital Investment (TCI)

Total capital investment adalah jumlah modal yang diperlukan untuk mendirikan suatu pabrik mulai dari awal hingga pabrik selesai dibangun dan siap beroperasi. *Total capital investment* dibagi atas dua bagian, yaitu Fixed Capital Investment (FCI). FCI merupakan jumlah dari biaya langsung/*direct cost* (DC) dan biaya tidak langsung/*indirect cost* (IC). Biaya tidak langsung meliputi: biaya teknik dan supervise, ongkos pemborong, dan biaya tidak terduga lainnya dan *Working Capital Investment* (WCI).

B. Total Production Cost (TPC)

Total production cost (total biaya produksi) terdiri dari *Manufacturing Cost* (Biaya Produksi) yaitu biaya yang dikeluarkan untuk menunjang operasi pabrik yang berhubungan dengan operasi produksi dan peralatan proses yang terdiri dari *Direct Production Cost* (biaya produksi langsung), *Fixed Charges* (biaya tetap), *Plant Overhead Cost* (biaya tambahan pabrik).

General Expenses (Biaya Umum) yaitu biaya yang dikeluarkan oleh pabrik yang berhubungan dengan operasi



Gambar 7. Process Flow Diagram (PFD) pra desain pabrik biodiesel dari crude calophyllum inophyllum oil (CCIO) dengan metode kombinasi microwave asisted extraction - batchwise solvent extraction.

pabrik, seperti biaya administrasi, biaya pemasaran dan distribusi, biaya penelitian dan pengembangan (*research and development*), dan pajak pendapatan.

C. Profitability

Beberapa asumsi yang digunakan dalam analisa ini adalah umur pabrik 10 tahun dengan kapasitas produksi sebagai berikut Tahun pertama 60%, tahun kedua 80%, tahun ketiga sampai ke sepuluh 100%. Pajak pendapatan (Pasal 17 Ayat 2 UU PPh No.17, Tahun 2012):

- 1. Kurang dari Rp 5.000.000 = 5%
- 2. Antara Rp 5.000.000 – Rp 250.000.000 = 15%
- 3. Antara Rp 250.000.000– Rp 500.000.000 = 25%
- 4. Lebih dari Rp 500.000.000 = 30%

BEP dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$BEP = \frac{FC + 0,3 SVC}{S - 0,7SVC - VC} \times 100\%$$

Dari hasil perhitungan pada neraca ekonomi yang tertera pada Tabel 4 didapatkan IRR sebesar 23,8 % dan BEP sebesar 49,36 % dimana POT selama 3,97 tahun. Dengan bunga 9.75% per tahun. Pabrik diperkirakan bertahan selama 10 tahun dengan lama waktu pembangunan selama 2 tahun.

Operasi pabrik 330 hari/tahun dan 24 jam/hari. Grafik BEP tertera pada Gambar 6. Adapun rincian dari segi ekonomi adalah sebagai berikut:

- 1. Modal Investasi : Rp 297.639.749.066 / tahun
- 2. Biaya Produksi : Rp 2.660.447.492.396 / tahun
- 3. Hasil Penjualan : Rp 2.806.998.194.748 / tahun
- 4. IRR : 23,8 %
- 5. BEP : 49,36 %
- 6. POT : 3,97 tahun

V. KESIMPULAN

Pabrik biodiesel dari Crude Calophyllum Inophyllum Oil (CCIO) dengan metode kombinasi Microwave Asisted Extraction - Batchwise Solvent Extraction ini direncanakan akan didirikan di Provinsi Jawa Tengah, tepatnya di Kabupaten Cilacap. Pabrik ini direncanakan beroperasi secara *batch kontinyu*, 24 jam/hari, selama 330 hari per tahun dengan kapasitas 100.000 ton/tahun. Proses produksi dalam pabrik biodiesel dari *crude oil* nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) ini terbagi menjadi 4 tahap utama, yaitu: tahap *Microwave Assisted Extraction* (MAE), tahap *Batchwise Solvent Extraction* (BSE), tahap Distilasi, dan tahap

Transesterifikasi (pembuatan biodiesel). Pada tahap MAE, *crude oil* nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) di ekstraksi hingga terpisah menjadi 2 layer, yaitu Polar Lipid Fraction (PLF) dan Non-Polar Lipid Fraction (NPLF). Kemudian, masuk ke tahap BSE dimana NPLF di cuci sebanyak 7 stages untuk memurnikan kandungan TAG dan menurunkan kadar FFA yang ada di NPLF. Selanjutnya, masuk ke tahap distilasi dimana solvent petroleum ether akan dipisahkan dari NPLF dan solvent methanol akan dipisahkan dari PLF. Selanjutnya, masuk ke tahap Transesterifikasi (pembuatan biodiesel) dimana NPLF yang telah dipisahkan dari solvent (petroleum ether) kemudian diolah menjadi biodiesel (metil ester) dengan menggunakan proses transesterifikasi dengan katalis basa, menghasilkan produk biodiesel hingga 99%. Berdasarkan hasil analisa ekonomi didapatkan nilai Laju Pengembalian Modal IRR (*Internal Rate of Return*) sebesar 23,8 % yang lebih tinggi dari suku bunga bank yaitu 9.75% per tahun dengan waktu pengembalian modal POT (*Pay Out Time*) selama 3,97 tahun dan *Break Event Point* (BEP) pada 49,36 % Kapasitas Produksi. Oleh karena itu, Pabrik biodiesel dari Crude *Calophyllum Inophyllum* Oil (CCIO) dengan metode kombinasi Microwave Asisted Extraction - Batchwise Solvent Extraction layak didirikan. Gambar 7 merupakan *Process Flow Diagram* (PFD) Pra Desain Pabrik Biodiesel Dari Crude *Calophyllum Inophyllum* Oil (CCIO) Dengan Metode Kombinasi Microwave Asisted Extraction -

Batchwise Solvent Extraction.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. W. Aparamarta, S. Gunawan, H. Husin, B. Azhar, and H. T. Aditya, "The effect of high oleic and linoleic fatty acid composition for quality and economical of biodiesel from crude *Calophyllum inophyllum* oil (CCIO) with microwave-assisted extraction (MAE), batchwise solvent extraction (BSE), and combination of MAE-BSE meth," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 3240--3248, 2020.
- [2] B. Leksono, Y. Lisnawati, E. Rahman, and K. Putri, "Potensi Tegakan Dan Karakteristik Lahan Enam Populasi Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) Ras Jawa," in *Prosiding workshop sintesa hasil penelitian hutan tanaman*, 2010, pp. 397--408.
- [3] H. W. Aparamarta, T. Saputra, A. Claratika, Y.-H. Ju, and S. Gunawan, "Separation and purification of triacylglycerols from nyamplung (*calophyllum inophyllum*) oil by batchwise solvent extraction," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 55, no. 11, pp. 3113--3119, 2016.
- [4] A. Rasyid, "Asam lemak omega-3 dari minyak ikan.," *Oseana*, vol. 28, no. 3, pp. 11--16, 2003.
- [5] T. Soerawidjaya, *Perbandingan Bahan Bakar Cair Alternatif Pengganti Solar*. Jakarta: Balai Penelitian Penerapan Teknologi, 2005.
- [6] S. Bustomi, *Yamplung (Calophyllum Inophyllum L.): Sumber Energi Biofuel yang Potensial*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, 2012.
- [7] A. Sartika, Nurhayati, and Muhdarina, "Esterifikasi Minyak Goreng Bekas dengan Katalis H₂SO₄ dan Transesterifikasi dengan Katalis Cao dari Cangkang Kerang Darah: Variasi Kondisi Esterifikasi," Departemen Kimia, Riau University, 2015.
- [8] W. Du, Y. Xu, D. Liu, and J. Zeng, "Comparative study on lipasecatalyzed transformation of soyabean oil for biodiesel production with acyl acceptors," *J. Mol. Catal. B Enzym.*, vol. 30, no. 3--4, pp. 125--129, 2004.