

Pra Desain Pabrik Bioetanol dari *Oil Palm Frond* dengan Proses Fermentasi Menggunakan *Saccharomyces Cerevisiae*

Maria Regina Olga Santoso¹, Dewi Farra Prasasya¹, Arief Widjaja^{1*}

Abstrak— Konsumsi minyak yang tak diiringi dengan jumlah produksi akan mengakibatkan ancaman kelangkaan sumber energi. Oleh karena itu, Indonesia merancang REUN dan PP RI. No 79 tahun 2014 yang akan menggunakan Energi Baru Terbarukan sebanyak 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 yang salah satu sumbernya merupakan biomassa dalam rupa pelepah kelapa sawit atau *Oil Palm Frond* (OPF). OPF tersedia melimpah di Indonesia dan berasal dari perkebunan kelapa sawit hasil pemangkasan saat panen, yang utamanya hanya digunakan sebagai pakan ternak dan nutrisi kebun. Kandungan gula sederhana OPF mencapai 647.76 g/L. Pabrik ini direncanakan akan didirikan di Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat dengan estimasi waktu mulai produksi pada tahun 2024. Pabrik bioetanol ini berkapasitas 49.875 kg/jam limbah OPF masuk dan beroperasi selama 24 jam per hari dengan hari kerja 330 hari per tahun untuk menghasilkan 37.000 kL tiap tahunnya. Terdapat 3 tahapan utama dalam proses pembuatan bioetanol dari OPF berbasis jus OPF, yaitu tahap pretreatment, fermentasi, dan pemisahan. Produksi dimulai dengan OPF dipotong menggunakan Cutter, lalu diperas menggunakan roll mill dan air imbibisi bersuhu 70°C dan disaring menghasilkan jus OPF. Kemudian disesuaikan pH dan pemberian nutrisi pada jus OPF serta disterilkan. Aliran kemudian dibagi menjadi dua yaitu pengulturan dalam kondisi aerob 24 jam dan fermentasi jus OPF beserta inokulum dalam kondisi anaerob 36 jam secara *batch*. Beer yang dihasilkan disaring dan dimurnikan dengan distilasi hingga 95% dan dilanjutkan dengan adsorpsi hingga kadar etanol mencapai 99,5%. Modal pabrik bioetanol berasal dari 40% dana pribadi dan 60% pinjaman dari Bank BNI. Dengan perincian analisa ekonomi sebagai berikut : Nilai NPV positif dan nilai Internal rate of Return sebesar 18,01% di atas WACC 10,05% dan bunga bank 9,64%, POT dalam 4,4 tahun, dan BEP sebesar 34,80%. Dilihat dari sensitivitas terhadap IRR, harga jual produk berpengaruh besar dalam nilai IRR.

Kata kunci— *Oil Palm Frond*, Bioetanol, Fermentasi, *Saccharomyces Cerevisiae*, Pra Desain Pabrik

I. PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil adalah sumber energi utama yang digunakan oleh manusia seiring terjadinya revolusi industri, dan telah mempengaruhi pertumbuhan energi dunia. Sumber energi di Indonesia pada tahun 2013 didominasi oleh bahan bakar tak terbarukan hingga mencapai 59,3%. penggunaan bahan bakar fosil memiliki beberapa kelemahan, salah satunya emisi karbon dioksida (CO₂) yang menyebabkan peningkatan global warming di setiap tahunnya dan merupakan energi tak terbarukan [1]. Indonesia adalah salah satu dari 195 negara yang menandatangani Kesepakatan Paris (Paris Agreement). Oleh karena itu, Indonesia memiliki target untuk menurunkan emisi rumah kaca hingga 29% dari kondisi business as usual di tahun 2030. Dalam menyikapi hal tersebut, Pemerintah Indonesia dalam Rencana Umum Energi Nasional (REUN) merencanakan penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) sebanyak 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Konsumsi minyak yang tak diiringi dengan jumlah produksi secara nasional akan mengakibatkan ancaman kelangkaan sumber energi minyak, harga BBM naik, aktivitas industri terhambat, dan dapat mengurangi devisa negara [2]. Indonesia memiliki potensi EBT yang besar meliputi sumber energi surya, energi air dan mikrohidro, energi angin, panas bumi, gelombang laut, dan biomassa. Salah satu potensi EBT adalah bioetanol, yaitu suatu bahan bakar ramah

lingkungan yang diproduksi dari biomassa. Menurut hasil riset Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Indonesia memiliki 60 jenis tanaman yang berpotensi menjadi energi bahan bakar alternatif. Di antaranya adalah tebu, jagung, singkong, ubi serta sago yang bisa dijadikan bioetanol untuk alternatif pengganti bensin [3].

Etanol merupakan bahan bakar alternatif karena dapat dicampur dengan bensin. Penggunaan etanol sebagai bahan bakar kendaraan dapat menjadi solusi menarik karena memiliki bilangan oktan yang tinggi, tekanan uap rendah, tidak beracun, dan ramah lingkungan karena menghasilkan CO₂ yang lebih rendah jika dibandingkan dengan BBM. Bioetanol dapat dibakar untuk menghasilkan karbon dioksida dan air serta dapat digunakan sebagai bahan bakar baik sendiri maupun dicampur dengan petrol (bensin) [4]. Spesifikasi Bioetanol SNI seperti pada Tabel.1. Pada aplikasi di dunia industri, bioetanol sering diproduksi dari bahan baku agrikultural yang mengandung glukosa. Hingga kini, industri bioetanol umumnya menggunakan teknologi G1 (gula sederhana dan pati) dan G2 (lignoselulosa) [3]. Mikroba yang paling umum digunakan dalam industri fermentasi alkohol adalah keluarga ragi, terutama spesies *Saccharomyces cerevisiae* dengan yield 90-92% [5]. Karakteristik *S. cerevisiae* mengandung enzim yang menghidrolisis disakarida menjadi gula sederhana dan katalis dalam fermentasi feedstocks generasi pertama (glukosa, fruktosa, sukrosa, dan maltosa) dalam kondisi industri berskala besar.

¹ Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya, 60111, Indonesia.

*Email: arief_w@chem-eng.its.ac.id

Tabel.1 Spesifikasi Bioetanol SNI (Standar Nasional Indonesia) 7390:2008 Gasohol

No	Sifat	Unit, min/max	Spesifikasi
1	Kadar Ethanol	%-v,min	99,5 (Sebelum denaturasi) 99,4 (Setelah denaturasi)
2	Kadar Metanol	Mg/L,max	300
3	Kadar air	%-v, max	1
4	Kadar denaturan	%-v,min	2
		%-v,max	5
5	Kadar tembaga (Cu)	mg/L, max	0,1
6	Keasaman sebagai CH ₃ COOH	mg/L,max	30
7	Tampakan		Jernih dan terang, tidak ada endapan dan kotoran
8	Kadar ion klorida	mg/L,max	40
9	Kandungan belerang	mg/L,max	50
10	Kadar getah (gum),dicuci	Mg/100 mL, max	5,0
11	pH		6,5-9,0

OPF (*Oil Palm Frond*) adalah bagian pelepah daun dari kelapa sawit yang dihasilkan pada saat panen OPF merupakan biomassa yang sering kali menjadi limbah dan selama ini hampir tidak diperhatikan oleh masyarakat. Beberapa bagian masyarakat telah berusaha mengurangi limbah yang dihasilkan hampir setiap hari. dengan membuat berbagai kerajinan. Akan tetapi, Limbah tersebut cukup banyak karena dihasilkan setiap pemangkasan saat panen maupun *bi-yearly maintenance* [7].

Berdasarkan studi literatur dan keterangan warga lokal, OPF di Indonesia dimanfaatkan hanya sebatas sebagai bahan pakan ternak, daur ulang nutrisi kebun, dan dibakar. Di negara Malaysia, Pelepah sawit telah menjadi bahan baku potensial untuk produksi biosugars dan bioenergi. Penelitian pemanfaatan OPF sebagai bahan baku bioplastik maupun bioetanol menjadikan OPF berpotensi menghasilkan nilai jual yang tinggi. Spesifikasi OPF seperti pada Tabel.2. OPF yang diperas akan menghasilkan jus petiole yang mengandung karbohidrat dalam jumlah banyak dengan rupa gula sederhana hingga mencapai 647,76 g/L sehingga berpotensi sebagai bahan baku bioethanol [8]. Pada 25 kg OPF segar dapat dikonversi menjadi 12,5 kg (50-45%) jus petiole dengan menggunakan sugarcane pressing machines. Jus petiole mengandung gula sebanyak $76,09 \pm 2,85$ gram/liter dan 30% mengandung selulosa sehingga metode G1 dapat dilakukan untuk pembuatan bioetanol dari OPF [9]. Potensi pasar bioetanol berbahan dasar jus petiole sangat besar. Indonesia sendiri belum memiliki pabrik bioetanol berbahan baku jus petiole, bahan baku yang digunakan (mollases) memiliki kekurangan mahalanya bahan baku dan persaingan penggunaan sebagai bahan makanan manusia. Selain itu, menurut Badan Pusat Statistika (2019) Indonesia sebagai penghasil kelapa sawit utama dunia dan memiliki perkebunan sawit seluas 14.724,60 ribu hektar, menjadikan bahan baku OPF berlimpah.

Tabel.2 Spesifikasi *Oil Palm Frond*

Komponen	Komposisi (%massa)
----------	--------------------

Air	47.8%
Sukrosa	3.1%
Glukosa	20.4%
Fruktosa	4.5%
Selulosa	11.9%
Hemiseluosa	4.7%
Lignin	4.4%
CaO	1.7%
MgO	0.7%
K ₂ O	0.8%

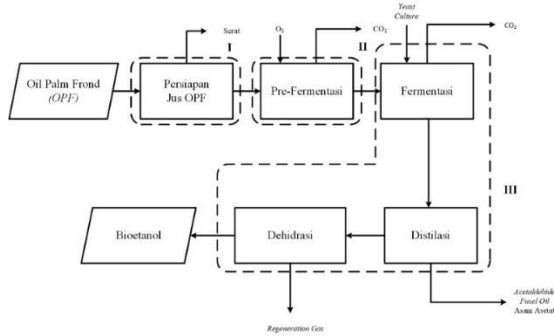
Penentuan lokasi suatu pabrik memiliki pengaruh besar terhadap keberlangsungan dan keberhasilan pabrik. Pada pemilihan lokasi pendirian pabrik bioetanol ini, telah dilakukan beberapa pertimbangan diantaranya seperti ketersediaan bahan baku, lokasi pemasaran, sumber energi listrik dan air, sumber tenaga kerja, aksesibilitas dan fasilitas transportasi, hukum dan peraturan, iklim dan topografi.

Kabupaten Sanggau memiliki total luas perkebunan sawit terluas kedua di Kalimantan Barat sehingga menjadi alasan kuat lokasi pendirian pabrik bioetanol berbahan dasar pelepah sawit. Selain itu, topografi dan iklim tropis di lokasi pabrik menjadi ideal dalam proses fermentasi yang memerlukan suhu tidak terlalu panas maupun terlalu dingin. Kabupaten Sanggau berpenduduk 470.224 orang dengan Kecamatan Tayan Hilir berpenduduk 35.546, yang merupakan 8% dari total penduduk di Kabupaten Sanggau [12]. Persentase angkatan kerja terhadap penduduk usia kerja sebesar 69,87% dengan persentase yang mencari pekerjaan sebesar 51,85% terhadap penduduk usia kerja [12]. TPAK atau Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja merupakan persentase penduduk usia 15 tahun ke atas yang merupakan angkatan kerja [12]. Selain itu, Kabupaten Sanggau dilewati oleh aliran Sungai Kapuas, sungai terpanjang di Indonesia. Hal ini menandakan lokasi pabrik bioetanol ini cukup strategis karena ketersediaan air yang melimpah, dapat digunakan untuk keperluan proses maupun sanitasi. Selain itu, lokasi Pabrik berdekatan dengan Pembangkit listrik Tenaga Uap PT. ICA dan PLTU Sanggau yang berjarak kurang dari 25 km dari lokasi sehingga mempermudah pembuatan jalur listrik. Dilihat dari posisi geografis, Kabupaten Sanggau merupakan wilayah yang potensial untuk pengembangan industri karena kemudahan akses transportasi udara (sekitar 119 km) dari Bandara Internasional Supadio, transportasi laut (sekitar 2,5 km) dari Dermaga Tayan dan transportasi darat karena adanya jalan utama Jalan A. Yani dan Jalan Pembangunan. Oleh karena itu, Kabupaten Sanggau sangat potensial untuk didirikan pabrik bioethanol menggunakan bahan baku OPF.

II. URAIAN PROSES

Pembuatan bioetanol ini terdiri dari beberapa unit proses yang akan digunakan. Secara garis besar seperti pada Gambar.2 merupakan tahapan unit yang akan digunakan yaitu tahap persiapan, tahap pre-treatment, tahap fermentasi, dan tahap distilasi. Blok *Flow Diagram* untuk

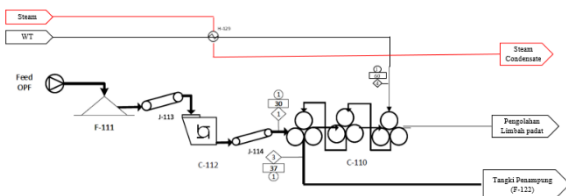
proses pembuatan bioethanol dapat dilihat pada gambar berikut [3]:



Gambar 1. Block Flow Diagram Proses pembuatan Bioethanol

1. Tahap Persiapan

Bahan baku fermentasi didapatkan dari ekstraksi oil palm frond (OPF). OPF disimpan di dalam gudang penyimpanan (F-111) yang kemudian dialirkan menggunakan belt conveyor (J-113) menuju rotary knife cutter (C-112) untuk memotong pelapah kelapa menjadi kecil-kecil. Setelah itu, OPF dialirkan menuju roll mill (C-110) menggunakan belt conveyor (J-114) yang dialiri dengan air imbibisi. Air imbibisi digunakan untuk mengurangi loss pada gula. Pemilihan air imbibisi 70°C karena apabila suhu air imbibisi yang terlalu tinggi akan menyebabkan zat lilin yang terkandung dalam pelapah kelapa sawit larut sehingga dapat menimbulkan terjadinya slip ketika pada rol gilingan dan apabila suhu air imbibisi kurang panas maka tidak dapat membuka sel-sel pada pelapah kelapa sawit sehingga masih mengandung gula pada limbah padat yang dihasilkan [9]. Setelah itu, jus OPF yang telah diekstrak ditampung pada tangki penampung (F-122). Lalu jus OPF dialirkan menuju rotary drum filter (H-121) yang bertujuan untuk memisahkan kotoran padat yang masih terikat pada jus OPF. Limbah padat yang dipisahkan dari jus OPF kemudian dialirkan dengan screw conveyor (J-123) menuju pengolahan limbah seperti pada Gambar. 3.



Gambar 3. Unit Proses Pre-treatment

2. Tahap Pre-treatment

Tahap ini bertujuan untuk mempersiapkan kondisi bahan baku untuk diumpungkan ke fermentor seperti pada Gambar.4. Pada proses penurunan pH dan penambahan nutrisi, jus OPF yang keluar dari rotary drum filter (H-121) ditampung di dalam tangki penampung (F-124). Kemudian dipompa masuk ke dalam tangki pencampur (M-120). tingkat keasaman jus OPF disamakan dan dikendalikan dengan larutan H₂SO₄ 98% yang berasal dari tangki penyimpanan (F-128) dan air yang bertujuan untuk menjaga kondisi jus OPF pada pH optimum yeast *Saccharomyces Cereviceae* pada yang berada di rentang 4-4,5. Selain itu, dilakukan pula penambahan nutrisi urea

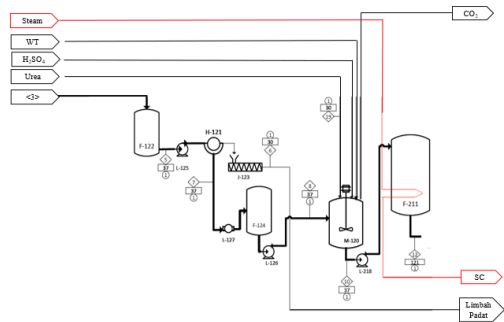
(CO(NH₂)₂) yang berasal dari tangki penyimpanan (F-222) untuk meningkatkan kinerja yeast dalam proses fermentasi [11].

Selanjutnya proses sterilisasi, *Output* dari tangki pencampur (M-120) berupa jus OPF mentah, yang selanjutnya dipompa menuju tangki sterilisasi (F-211). Keuntungan dari proses sterilisasi yaitu agar di dalam proses tidak terjadi kontaminasi biologis. Sterilisasi dilakukan melalui proses pertukaran panas dengan sistem HTST (*High Temperature Short Time*) yang berasal dari coil yang berisi saturated steam hingga suhu 121°C. Jus OPF hasil sterilisasi dilewatkan dengan cooler (H-212) dengan cooling water sebagai fluida pendingin agar suhunya turun hingga 32°C. Setelah itu dipompa menuju ke Tangki Penampung Jus OPF Steril (F-213).

Jus OPF dari tangki penampung kemudian dibagi menjadi dua aliran, 10% jus steril dipompa ke tangki starter (R-220) dan 90% masuk ke tangki fermentor (R-210). Proses dalam tangki starter berlangsung pada suhu 32°C selama 24 jam. Pada tangki starter (R-220) ditambahkan yeast yang berasal dari tangki penyimpanan (F-223), nutrient berupa diammonium phospat (NH₄)₂HPO₄ yang berasal dari tangki penyimpanan (F-224). Tambahan nutrisi ini merupakan sumber unsur P yang berguna untuk keperluan pertumbuhan yeast. Selain bahan-bahan tersebut, ditambahkan juga Turkey Red Oil sebagai *antifoam*. Setelah inokulum dalam tangki starter selesai, selanjutnya akan dipompa ke tangki fermentor (R-210).

Tahap ini bertujuan untuk melatih yeast agar dapat beradaptasi dengan lingkungannya sehingga dapat berkembang biak dengan baik dan untuk mengaktifkan ragi agar mampu melakukan proses perubahan gula menjadi alkohol.

Yeast yang dipakai adalah yeast *S.cereviceae*. *S. cereviceae* menghasilkan enzim invertase yang mengubah sukrosa menjadi glukosa dan enzim zymase yang mengubah glukosa menjadi etanol. Di dalam tangki starter berjacket pendingin yang berfungsi untuk menstabilkan suhu didalam tangki starter (R-220) selama proses berlangsung. Hal ini disebabkan karena proses ini bersifat eksotermis. Tahap ini berlangsung selama 24 jam. Reaksi yang terjadi pada tahap pembuatan starter adalah pembentukan sel-sel yeast dan reaksi pemecahan fruktosa serta reaksi hidrolisis urea. Proses pada tangki starter dilakukan pada kondisi aerob karena adanya oksigen akan meningkatkan jumlah sel ragi yang tumbuh dan akan menghambat pembentukan alkohol [11].

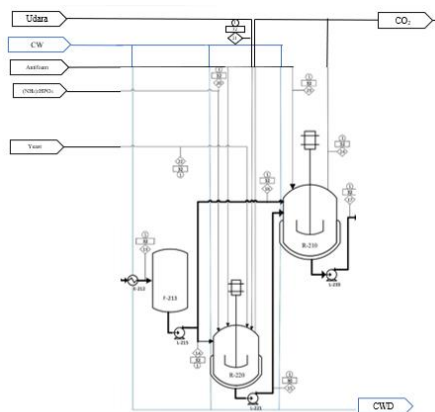
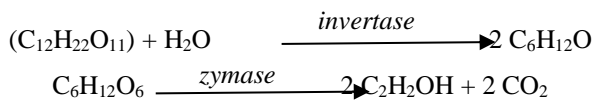


Gambar.4 Unit Proses Pre-treatment

3. Separation Unit

Pada unit ini, merupakan tahap yang paling menentukan terhadap produksi etanol. Pada Gambar.4 proses ini dilakukan dalam kondisi anaerob. Adanya oksigen akan menghambat pembentukan alkohol. Proses fermentasi ini dilakukan secara batch didalam sebuah tangki fermentor (R-210) yang dilengkapi dengan pengaduk dan jacket pendingin yang berfungsi untuk menjaga suhu dalam fermentor konstan, yaitu suhu optimum 32 oC. Hal ini disebabkan oleh terjadinya reaksi di dalam fermentor yang bersifat eksotermis yang dapat meningkatkan suhu dan mempengaruhi etanol yang dihasilkan.

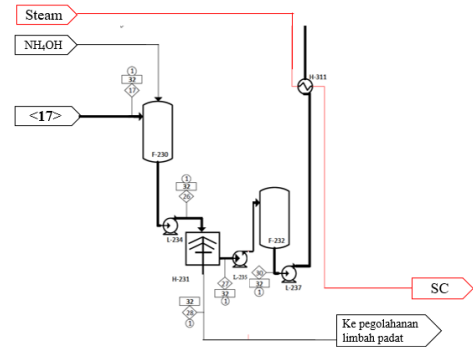
Inoculum dari tangki starter dialirkan ke dalam tangki fermentor (R-210) yang telah berisi 90% dari total volume awal jus petiole steril. Selain itu dilakukan penambahan antifoam (Turkey Red Oil) sebanyak 10 ppm dari volume larutan. Dalam tahap ini terjadi reaksi utama pembentukan etanol dan karbon dioksida. Reaksi utama yang terjadi adalah sebagai berikut [11]:



Gambar 5. Proses Fermentasi

Proses fermentasi ini membutuhkan waktu 36 jam dengan kondisi anaerob. Dari proses fermentasi dihasilkan gas CO₂ yang dikeluarkan menggunakan blower (G-217) dan akan ditampung ke tangki penampung CO₂ (F-335). Pada Gambar. 5 hasil fermentasi dipompa masuk ke tangki penampung (F-230) yang kemudian dipompa menuju disc stack centrifugation (H-231) untuk dipisahkan padatan yang terbentuk dan beer-nya. Kemudian, padatan dialirkan menuju ke pengolahan limbah padat, sementara beer dengan kadar etanol 8-10% masuk ke tangki penampung (F-232).

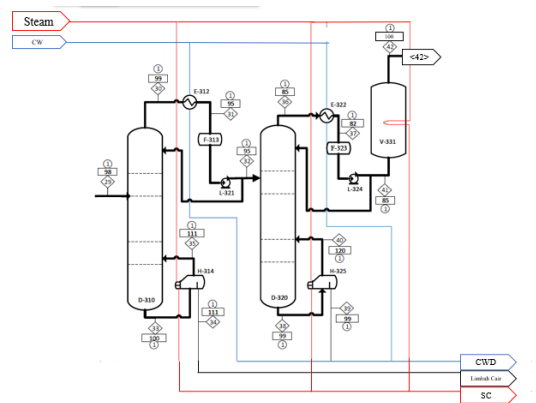
Campuran etanol (beer) dipompa menuju Pre-Heater (H-311) untuk menaikkan suhunya menjadi 98°C sebelum masuk ke kolom distilasi 1 (D-310).



Gambar 6. Unit Penampung setelah Fermentasi

4. Tahap Distilasi

Pada Gambar.7 distilasi terjadi pada dua tahap. Tahap pertama campuran ethanol (beer) masuk ke kolom distilasi 1 (D-310) yang akan menghasilkan etanol dengan tingkat kemurnian 51%. Produk bawah berupa air, asam asetat, glycerol, sisa sukrosa, sisa biomass dan antifoam yang akan masuk ke dalam pengolahan limbah cair. Selanjutnya produk atas (distilat) dikondensasi dengan condenser (H-312) dan direfluks. Sisa refluks masuk ke feed kolom distilasi 2 (D-320). Etanol kemudian didistilasi lebih lanjut sehingga kandungan etanol pada bagian atas kolom kedua sebesar 95% dan dikeluarkan untuk selanjutnya dikondensasi dengan partial condenser (E-322) ditampung di Tangki Distilat II (F-323) sebagian direflukskan kembali ke kolom distilasi 2 (D-320).



Gambar 7. Unit proses Purification

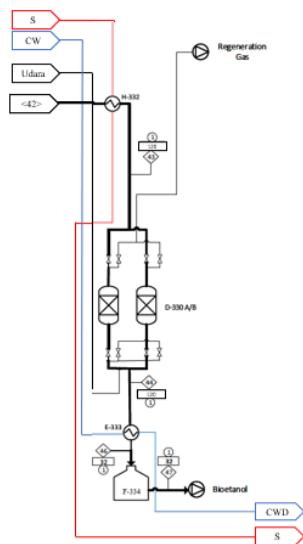
5. Tahap Molecular Sieve

Seperti pada Gambar.8 untuk menaikkan kadar etanol dari 95 % menjadi 99,5 % diperlukan perlakuan tambahan yaitu dehidrasi, dimana etanol 95% dilewatkan pada sebuah kolom berisi zeolite 3A, sehingga kadar etanol akan meningkat karena adanya proses pengikatan air oleh zeolite 3A. Proses ini terjadi karena pori-pori zeolite bersifat molecular sieves. Artinya, molekul zeolite hanya bisa dilalui oleh partikel-partikel berukuran tertentu [11].

Unit molecular sieve (D-330) ada 2 buah dan dioperasikan bergantian, dimana pada satu waktu, tangki molecular sieve 1 beroperasi (mengadsorpsi air dari bioethanol) dan tangki molecular sieve II dilakukan

regenerasi. Proses regenerasi dilakukan dengan konsep *Pressure Swing Adsorption* (PSA) dimana terjadi desorpsi air akibat pemvakuman kolom.[11]

Bioetanol 95% dari Super Heater (H-332) dipompa menuju tangki *molecular shieve* 1 (D-330A) etanol dialirkan melewati zeolite 3Å, air dalam bioetanol teradsorpsi oleh zeolit karena molekul air berukuran 2,8 Å sedangkan bioetanol hanya melewati saja karena molekul bioethanol berukuran 4,4 Å. bioethanol dari tangki *molecular shieve* 1 dialirkan menuju *cooler* (H-333) didinginkan hingga suhu 32°C yang selanjutnya akan ditampung dalam tangki penampung produk bioetanol (F-334) 99,5% [11].



Gambar. 8 Unit Proses Dehidrasi

III. MATERIAL BALANCE

Berikut merupakan hasil perhitungan dari *material balance* pra desain pabrik Bioetanol dari OPF, antifoam, yeast, NH_4OH , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, Urea, dan H_2SO_4 dengan kapasitas *feed* sebanyak 396.587,218 ton/tahun untuk menghasilkan produk utama Etanol sebanyak 37000 kL/tahun.

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 bioetanol adalah: [7]

1. Laju pengembalian modal (*Internal Rate of Return, IRR*).
2. Waktu pengembalian modal (*Pay Out Time, POT*).
3. Titik impas (*Break Event Point, BEP*).
4. Nilai Bersih Saat Ini (*Net Present Value, NPV*).
5. Aliran Kas (*Cash Flow*)
6. Sensitivitas terhadap IRR

Untuk menentukan faktor-faktor di atas terlebih dahulu perlu diketahui: [7]

1. 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:

a. 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.

b. Working Capital Investment (WCI)

WCI merupakan modal kerja yang besarnya 10% dari TCI.

2. Total Production Cost (TPC)

Total production cost (total biaya produksi) terdiri dari:

a. 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)

b. General Expenses (Biaya Umum)

Yaitu biaya yang dikeluarkan oleh pabrik yang berhubungan dengan operasi pabrik, seperti:

- Biaya administrasi
- Biaya pemasaran dan distribusi
- Biaya penelitian dan pengembangan (*research dan development*)

3. Profitability

Beberapa asumsi yang digunakan dalam analisa ini adalah umur pabrik 10 tahun dengan kapasitas produksi sebagai berikut:

1. Tahun pertama 80 %,
2. Tahun kedua samapi ke sepuluh 100%,
3. Pajak pendapatan 30% dari laba kotor.

Tabel 3.
Hasil Perhitungan Analisa Ekonomi

No.	Keterangan		Jumlah
1.	Biaya Tetap (FC)	Rp	60.793.139.838
2.	Biaya Variabel (VC)		
	- Bahan Baku	Rp	118.374.522.989
	- Utilitas	Rp	28.813.990.874
	- Royalty	Rp	2.881.399.087
	Total Biaya Variabel (VC)	Rp	150.069.912.951
3.	Biaya Semivariabel (SVC)		
	- Gaji Karyawan	Rp	6.928.800.000
	- Pengawasan	Rp	692.880.000

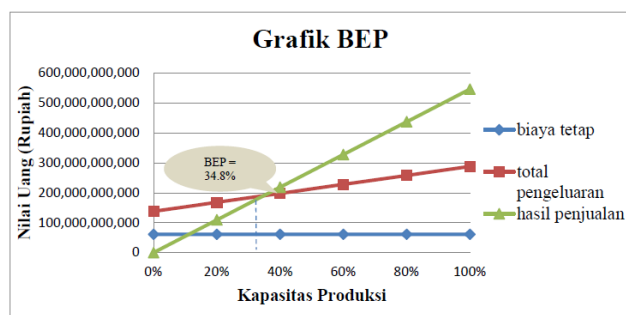
- Pemeliharaan dan Perbaikan	Rp	10.303.922.006
- Operating Supplies	Rp	1.030.292.201
- Laboratorium	Rp	692.880.000
- Pengeluaran Umum	Rp	43.220.986.312
- Plant Overhead Cost	Rp	14.406.995.437
Total Biaya Semivariabel (SVC)	Rp	77.276.855.956
4. Total Penjualan (S)	Rp	546.823.000.000

BEP dapat dihitung menggunakan persamaan [7]:

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

Dari hasil perhitungan pada neraca ekonomi didapatkan IRR sebesar 18,01 %, NPV Positif Rp 314.679.642.698, dan BEP sebesar 34,80 % dimana POT selama 4,4 tahun serta Nilai IRR sensitif terhadap harga jual produk. Dengan bunga 9,64% per tahun dan WACC sebesar 10,05%. Pabrik diperkirakan bertahan selama 10 tahun dengan lama waktu pembangunan selama 2 tahun. Operasi pabrik 330 hari/tahun dan 24 jam/hari. Adapun rincian dari segi ekonomi adalah sebagai berikut

- Modal Total (TCI) / CAPEX: Rp 572.440.11.465 / tahun
- Biaya Produksi (TPC) / OPEX: Rp 288.139.908.744 / tahun
- Hasil Penjualan : Rp 546.823.000.000 / tahun
- IRR : 18,01 %
- BEP : 34,8 %
- POT : 4,4 tahun



Gambar 7. Grafik Break Even Point (BEP)

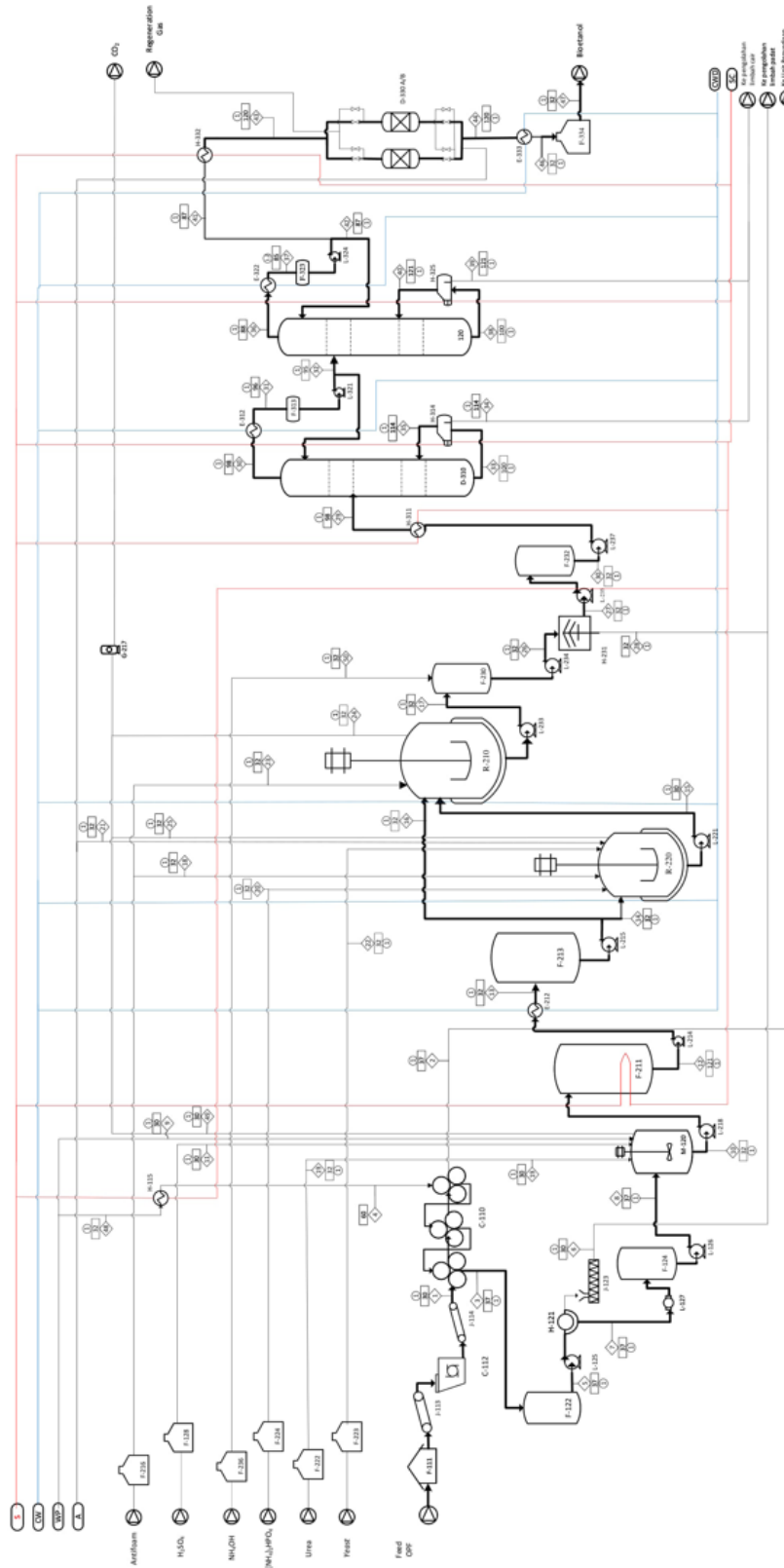
V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Pabrik bioetanol dari *Oil Palm Frond* ini direncanakan akan didirikan di Provinsi Kalimantan Barat, tepatnya di daerah Tayan Hilir, Sanggau. Pabrik direncanakan beroperasi secara kontinyu 24 jam selama 330 hari per tahun dengan kapasitas 29.193 ton/tahun.

Pembuatan bioetanol dari bahan baku OPF, antifoam, yeast, NH_4OH , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, Urea, dan H_2SO_4 melalui 5 tahap yaitu tahap persiapan, tahap fermentasi, tahap fermentasi, dan tahap pemisahan. Pada tahap persiapan, OPF dipotong dan diperas dengan bantuan air imbibisi 60°C menghasilkan jus OPF. Jus OPF kemudian disterilkan dan diatur pH beserta penambahan nutrisi. Pada tahap fermentasi, jus OPF sebagian untuk inokulum selama 24 jam dan sisanya di fermentasikan selama 36 jam secara batch. Beer yang dihasilkan disaring dan dimurnikan dengan distilasi dan adsorpsi zeolit 3A hingga menghasilkan bioetanol 99,5%. Berdasarkan hasil analisa ekonomi didapatkan nilai IRR sebesar 18,01% yang lebih tinggi dari suku bunga bank yaitu 9,64% pertahun dan WACC 10,05% dengan pengembalian modalnya selama 4,4 tahun dan BEP pada 34,80% kapasitas maka pabrik bioetanol dari *Oil Palm Frond* dengan proses fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* layak didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sulistyono, "Pemanasan Global (Global Warming) Dan Hubungannya Dengan Penggunaan Bahan Bakar Fosil," Forum Teknol., vol. 02, no. 2, pp. 47–56, 2005.
- [2] R. Ridlo and A. Hakim, "Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energi Terbarukan Untuk Ketahanan Energi Di Indonesia: Literatur Review," vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2020.
- [3] A. Datta, A. Hossain, and S. Roy, "An overview on biofuels and their advantages and disadvantages," Asian J. Chem., vol. 31, no. 8, pp. 1851–1858, 2019, doi: 10.14233/ajchem.2019.22098.
- [4] S. Aiman, "Perkembangan Teknologi Dan Tantangan Dalam Riset Bioetanol Di Indonesia," Jurnal Kimia Terapan Indonesia, vol. 16, no. 2, pp. 108–117, 2014, doi: 10.14203/jkti.v16i2.16.
- [5] E. P. Rini, E. P. Rini, N. A. Nadhifah, A. Altway, and S. Susianto, "Pra-Desain Pabrik Bioetanol dari Bagasse," J. Tek. ITS, vol. 8, no. 2, pp. B76–B80, 2020, [Online]. Available: <http://ejournal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/46045>.
- [6] [1] S. S. S. Abdullah, Y. Shirai, A. A. M. Ali, M. Mustapha, and M. A. Hassan, "Case study: Preliminary assessment of integrated palm biomass biorefinery for bioethanol production utilizing non-food sugars from oil palm frond petiole," Energy Convers. Manag., vol. 108, pp. 233–242, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2015.11.016.
- [7] C. K. Lee and F. A. A. Halim, "Oil Palm Fronds Juice: A Potential Feedstock for Bioethanol Production," Int. J. Sci. Res. Publ., vol. 4, no. 1, pp. 2250–3153, 2014.
- [8] M. A. K. M. Zahari, S. S. S. Abdullah, A. M. Roslan, H. Ariffin, Y. Shirai, and M. A. Hassan, "Efficient utilization of oil palm frond for bio-based products and biorefinery," J. Clean. Prod., vol. 65, pp. 252–260, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.10.007.
- [9] M. A. K. M. Zahari et al., "Renewable sugars from oil palm frond juice as an alternative novel fermentation feedstock for value-added products," Bioresour. Technol., vol. 110, pp. 566–571, 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2012.01.119.
- [10] Septiana, "Pengaruh Pemberian Air Imbibisi terhadap Kadar Air, Pol, dan Nilai Kalor Amas di PTPN VII. Politeknik LPP Yogyakarta. 2017."
- [11] G. M. Walker, Bioethanol: Science and technology of fuel alcohol. 2012.
- [12] Badan Pusat Statistik, 2019, Sanggau dalam Angka, www.bps.go.id



Gambar 2. Process Flow Diagram Pra Desain Pabrik Bioetanol dari Oil Palm Frond dengan Proses Fermentasi Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*