

Pra Desain Pabrik Bioetanol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit

Maulidah Haniati, Alifah Nur Aini Fajrin, Rizky Tetrisyanda, dan Kuswandi Kuswandi
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: alifahfjrn@gmail.com

Abstrak—Kebutuhan energi terus meningkat mengikuti pertumbuhan ekonomi, penduduk, harga energi, dan kebijakan pemerintah untuk memenuhi kebutuhan di berbagai sektor. Berdasarkan data BPPT Outlook Energi 2020, konsumsi energi masih didominasi oleh Bahan Bakar Minyak (BBM). Oleh karena kebutuhan BBM yang terus meningkat namun produksinya semakin menurun, maka dari itu diperlukan energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi. Hal tersebut menjadi perhatian banyak negara dalam pembuatan bahan bakar nabati (BBN), yang salah satunya adalah bioetanol. Bioetanol yang diproduksi berasal dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS), yang merupakan biofuel generasi kedua. Proses produksi bioetanol ini terdiri dari tiga unit proses, yakni: proses pre-treatment menggunakan NaOH 3%, proses fermentasi menggunakan metode SSCF (simultaneous saccharification fermentation) dan co-fermentor dan proses separasi yang terdiri dari proses distilasi dan dehidrasi. Produk yang dihasilkan ialah etanol fuel-grade yang dapat digunakan sebagai campuran BBM. Pabrik ini direncanakan beroperasi pada tahun 2023 dengan kapasitas produksi sebesar 25.000 kL/tahun. Untuk mendirikan pabrik ini, diperlukan Capex (Capital Expenditure) sebesar Rp 234.270.284.638 dan Opex (Operating Expenditure) sebesar Rp 139.292.286.577. Selain itu, berdasarkan perhitungan analisis ekonomi, dapat diketahui bahwa: NPV (Net Present Value) sebesar Rp 59.485.205.077; IRR (Internal Rate of Return) sebesar 21,81%; POT (Pay Out Time) selama 4,85 tahun; dan BEP (Break Even Point) sebesar 48,25% kapasitas total.

Kata Kunci—Energi, Bioetanol, Etanol Fuel-Grade.

I. PENDAHULUAN

BERDASARKAN BPPT Outlook Energi 2020, kebutuhan energi terus meningkat mengikuti pertumbuhan ekonomi, penduduk, harga energi, dan kebijakan pemerintah untuk memenuhi kebutuhan di berbagai sektor. Pada tahun 2018 total konsumsi energi final sebesar 875 juta SBM (Setara Barel Minyak) dan mengalami peningkatan sebesar 76,46% pada tahun 2030 menjadi 1.544 juta SBM. Konsumsi energi final berdasarkan jenisnya masih didominasi oleh BBM (bensin, minyak tanah, minyak bakar, avtur, avgas, minyak solar, dan minyak diesel), yakni sebesar 39%.

Sementara itu, produksi minyak bumi diprediksikan akan menurun sekitar 5% per tahun dari 292,4 juta barel pada tahun 2017 menjadi 133,33 juta barel pada tahun 2030 karena sumur yang sudah tua dan sumber daya yang terletak di daerah frontier. Demikian juga ekspor minyak bumi diperkirakan akan menurun dari 102,7 juta barel pada tahun 2017 dan berakhir pada tahun 2035. Sehingga menyebabkan net impor minyak meningkat dari 79,2 juta barel pada tahun 2017 menjadi 600 juta barel pada tahun 2030.

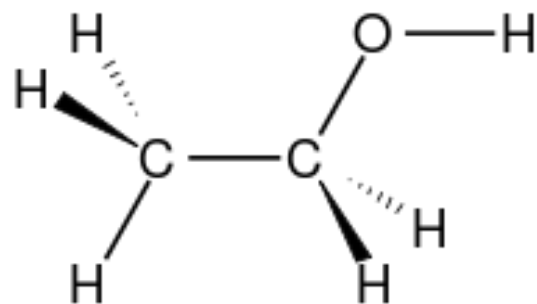
Dikarenakan kebutuhan BBM yang terus meningkat namun produksinya semakin menurun, maka untuk memenuhi kebutuhan masyarakat, transportasi, dan industri

Tabel 1.
Komponen TKKS

Komponen	Persentase (%)
Hemiselulosa	28-33
Selulosa	50-60
Lignin	15-17

Tabel 2.
Analisa Proximate dan Ultimate TKKS

Analisa proximate		Analisa ultimate (% berat)	
Komponen	Persentase (%) berat)	Komponen	Persentase (%) berat)
Moisture	2,44	C	48,48
Volatile	73,63	H	7,14
Karbon tetap	18,67	N	0,64
Abu	5,26	O	43,74



Gambar 1. Struktur Molekul Etanol.

diperlukan energi alternatif. Oleh karena itu, dibuat kebijakan pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) yang tertuang pada Perpres No. 5 Tahun 2006 tentang pengembangan BBN, termasuk bioetanol. Bioetanol (C_2H_5OH atau sering ditulis EtOH) diproduksi dari biomassa yang mengandung gula, pati, dan selulosa [1].

Sebagai bahan bakar, bioetanol memiliki beberapa kelebihan dibandingkan bahan bakar minyak (BBM). Pertama, bahan bakar ini memiliki bilangan oktan yang lebih tinggi (106- 110) daripada bensin (91-96) sehingga dapat digunakan sebagai campuran untuk meningkatkan performa bensin. Kedua, penggunaan bioetanol akan meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi polutan ber upa oksida nitrogen dan sulfur karena memiliki kadar oksigen yang lebih tinggi (34%) dan kadar sulfur yang jauh lebih rendah (0%) dibandingkan bensin [2]. Selain itu, emisi hidrokarbon lebih sedikit sehingga lebih ramah lingkungan [1].

Bioetanol dapat diproduksi dari bahan pangan seperti gula (tebu, molasses) atau pati (jagung, singkong) yang disebut sebagai biofuel generasi pertama. Namun konversi bahan pangan menjadi biofuel tersebut memicu kontroversi karena bersaing dengan kebutuhan pangan global. Oleh karena itu

Tabel 3.
Sifat Fisik Etanol

Parameter	Nilai
Berat molekul	46,07 g/gmol
Titik lebur	-112°C
Titik didih	78,4°C
Densitas	0,7893 gr/mL
Indeks bias	1,361 cP
Viskositas (20°C)	1,17 cP
Panas penguapan	200,6 kal/g

Tabel 4.
Standar Nasional Indonesia Kualitas Bioetanol

Parameter	Unit, Min/Max	Spesifikasi
Kadar Etanol	%-v, min	99,5 (Sebelum denaturasi) 94,0 (Setelah denaturasi)
Kadar Metanol	mg/L, max	300
Kadar Air	%-v, max	1
Kadar Denaturan	%-v, min	2
	%-v, max	5
Kadar Cu	mg/kg, max	0,1
Keasaman (CH ₃ COOH)	mg/L, max	30
Tampakan		Jernih dan tidak ada endapan
Kadar Ion Klorida (Cl ⁻)	mg/L, max	40
Kandungan Belerang (S)	mg/L, max	50
Kadar Getah (gum)	mg/100 mL, max	5,0
pH		6,5-9

dikembangkan biofuel generasi kedua yang berasal dari bahan non pangan, yaitu memanfaatkan biomassa padat pertanian dan kehutanan serta limbah padatnya yang mengandung lignoselulosa. Biomassa tersebut antara lain seperti: jerami, gandum, tongkol jagung, dan tandan kosong kelapa sawit [3].

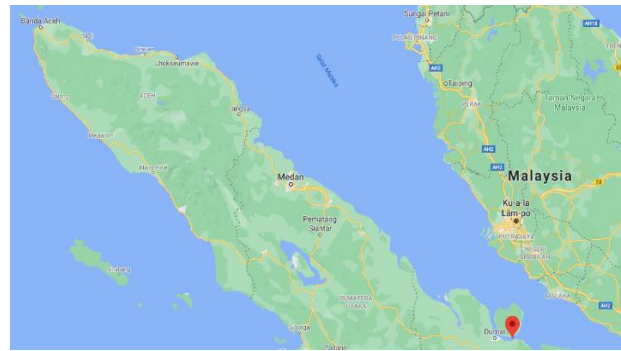
Maka dari itu, dengan adanya peningkatan konsumsi BBM di berbagai sektor yang dapat menyebabkan defisit energi di masa depan serta ketersediaan TKKS yang melimpah, terdapat peluang pembangunan pabrik bioetanol di Indonesia. Dilatarbelakangi hal tersebut, maka disusunlah pra desain pabrik berjudul “Pabrik Bioetanol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit”.

II. DATA DASAR PERANCANGAN

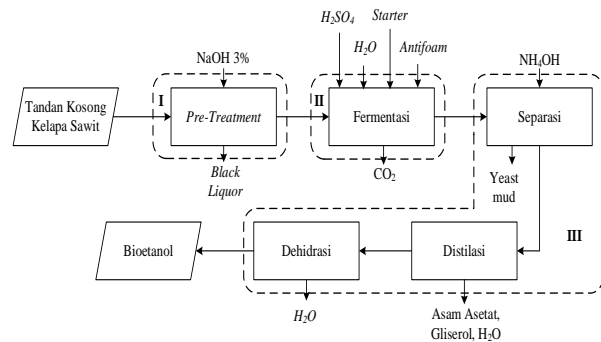
A. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku dan Produk

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan limbah pabrik kelapa sawit yang berasal dari Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit dan *Crude Palm Oil* (CPO) merupakan hasil utama dari industri tersebut. Setiap ton TBS akan menghasilkan sebanyak 0,225 ton CPO dan 0,215 ton TKKS [4]. Maka dapat disimpulkan bahwa jumlah TKKS adalah 5,56% dari jumlah CPO yang diproduksi. Berdasarkan Data Statistik Perkebunan Indonesia melalui Direktorat Jendral perkebunan pada tahun 2019, dilaporkan bahwa produksi CPO di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya dan diestimasikan pada 2020 produksi CPO dapat mencapai 49,12 juta ton. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat 47,13 juta ton limbah TKKS yang belum dimanfaatkan di Indonesia.

Beberapa alternatif pemanfaatan TKKS telah ditawarkan



Gambar 2. Lokasi Kawasan Industri Dumai, Riau.



Gambar 3. Diagram Balok Proses Produksi Bioetanol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit.

di antaranya adalah sebagai mulsa, bahan baku kompos, dan bahan baku pakan ternak. Namun, dalam prosesnya terdapat kendala seperti dibutuhkan lahan yang luas serta waktu yang lama. Maka dari itu, jumlah TKKS yang cukup melimpah di Indonesia dan belum dimanfaatkan dengan maksimal dapat digunakan sebagai bahan baku dalam proses produksi bioetanol G2. Tabel 1 menunjukkan komponen yang ada dalam TKKS dan Tabel 2 menunjukkan analisa proximate dan ultimate dari TKKS [5-6].

Selain TKKS sebagai bahan baku utama, diperlukan juga beberapa bahan baku penunjang lainnya, di antaranya adalah NaOH 3% yang digunakan dalam proses *pre-treatment* alkali untuk menghilangkan kandungan lignin dalam TKKS. Dibutuhkan pula biakan mikroorganisme atau *yeast culture* yang terdiri dari mikroorganisme fermentasi glukosa (*Saccharomyces cerevisiae* (ATCC 24858)), mikroorganisme fermentasi pentosa (*Scheffersomyces stipitis* (ATCC 5837TM)), dan juga medium *yeast* ATCC Medium 200: YM broth yang terdiri dari *yeast extract*, glukosa, dan peptone. Kemudian untuk proses hidrolisa, dibutuhkan enzim hidrolisis yang terdiri dari enzim selulosa (celluclast 1.5 L) dan hemiselulosa (Xylanase *Trichoderma asperellum* USM SD4). Antifoam juga dibutuhkan untuk menghilangkan busa yang terbentuk saat proses fermentasi berlangsung dimana digunakan *Turkey Red Oil* sebagai antifoam. Saat proses fermentasi juga dibutuhkan H₂SO₄ untuk menciptakan suasana asam yang sesuai untuk aktivitas mikroorganisme fermentasi. H₂SO₄ yang digunakan adalah H₂SO₄ 98% yang kemudian diencerkan untuk memenuhi pH yang dibutuhkan pada proses fermentasi. Kemudian untuk menetralkan kembali keluaran hasil fermentasi, digunakan NH₄OH sebagai buffer agar suasana asam dapat dinetralkan kembali.

Bioetanol merupakan salah satu bahan bakar terbarukan yang saat ini sudah dimanfaatkan di berbagai negara,

Tabel 5.
Supply-Demand Bioetanol Indonesia

Tahun	Produksi (L)	Konsumsi (L)	Ekspor (L)	Impor (L)
2009	172.000.000	128.000.000	33.000.000	314.000
2012	175.000.000	132.000.000	49.000.000	946.000
2011	220.000.000	134.000.000	81.000.000	1.311.000
2012	205.000.000	135.000.000	59.000.000	363.000
2013	207.000.000	135.000.000	86.000.000	1.336.000
2014	202.000.000	135.000.000	94.000.000	512.000
2015	205.000.000	136.000.000	67.000.000	730.000
2016	205.000.000	137.000.000	71.000.000	2.408.000
2017	195.000.000	137.000.000	64.000.000	5.657.000
2018	200.000.000	138.000.000	158.000.000	1.028.000
2019	195.000.000	139.000.000	64.000.000	1.710.000

termasuk Indonesia, untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energy fosil, terutama bahan bakar minyak (BBM). Lebih dari 30 negara telah menggunakan etanol sebagai bahan pencampur BBM, mulai dari campuran 5% sampai 25% atau lebih [2]. Tidak ada perbedaan antara etanol biasa dengan bioetanol yang membedakannya hanyalah bahan baku pembuatan dan proses pembuatannya.

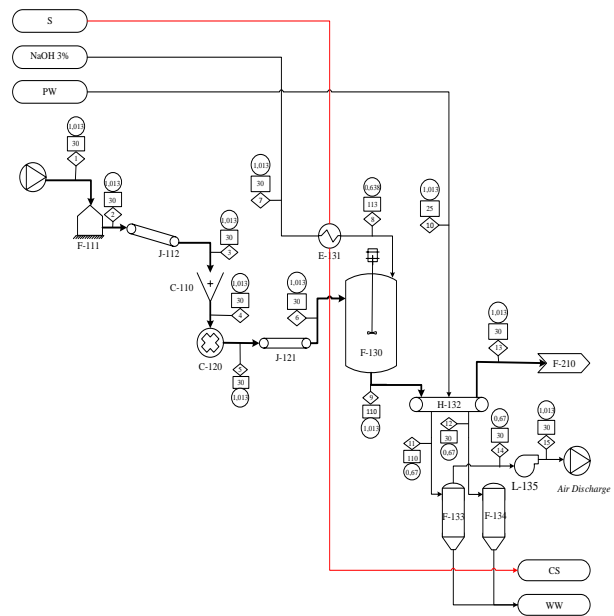
Etanol adalah sejenis cairan yang mudah menguap, mudah terbakar, tak berwarna, dan merupakan alkohol yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Etanol termasuk ke dalam alkohol rantai tunggal dengan rumus kimia C_2H_5OH dan rumus empiris C_2H_6O . Ia merupakan isomer konstitusional dari dimetil eter seperti yang ditunjukkan Gambar 1 [7].

Etanol juga dibagi menjadi dua kelompok yaitu etanol dengan kemurnian 95-96% yang disebut dengan “etanol berhidrat” terdiri dari: *technical/raw spirit grade* (digunakan untuk bahan bakar spiritus, minuman, desinfektan, dan pelarut); *industrial grade* (digunakan untuk bahan baku industri dan pelarut); dan *potable grade* (untuk minuman berkualitas tinggi). Serta etanol dengan kemurnian >99,5% yang, digunakan untuk bahan bakar. Jika dimurnikan lebih lanjut dapat digunakan untuk keperluan farmasi dan pelarut di laboratorium analisis. Etanol ini disebut dengan *Fuel Grade Ethanol* (FGE) atau *anhydrous ethanol* (etanol kering), yakni etanol yang bebas air atau hanya mengandung air dalam jumlah minimal [8]. Sifat fisik etanol terdapat pada Tabel 3 serta untuk kualitas bioetanol berdasarkan standar nasional Indonesia SNI 7390-2008 terdapat pada Tabel 4 [9].

B. Penentuan Kapasitas

Sebelum mendirikan sebuah pabrik diperlukan analisa pasar penentuan kapasitas pabrik, sehingga dapat menentukan penggunaan alat, neraca massa, neraca energi, dan hal lain yang berkaitan. Penentuan kapasitas produksi pabrik Bioetanol dari TKKS yang akan beroperasi pada tahun 2023 didasarkan pada kebutuhan pasar dari data Supply-Demand Bioetanol menurut Indonesia *Biofuels Annual Report 2019* yang disajikan dalam Tabel 5.

Data produksi, konsumsi, ekspor, dan impor bioetanol pada Tabel 5 kemudian diolah untuk mengetahui laju produksi, konsumsi, ekspor, dan impor untuk mengetahui estimasi kebutuhan bioetanol pada tahun 2023. Berdasarkan



Gambar 4. Unit Proses *Pre-treatment* terdiri dari Gudang Penyimpanan Bahan Baku (F-111), *Belt Conveyor* (J-112), *Jaw Crusher* (C-110), *Hammer Mill* (C-120), *Belt Conveyor* (J-121), Tangki *Pre-Treatment* (F-130), *Heat Exchanger* (E-131), *Horizontal Belt Filter* (H-132), Pompa Vakum (L-135), Tangki Penampung Filtrat (F-133), dan Tangki Penampung Air Pencuci (F-134).

perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh kapasitas pabrik sebesar 25.000 kL per tahun.

C. Lokasi dan Ketersediaan Utilitas

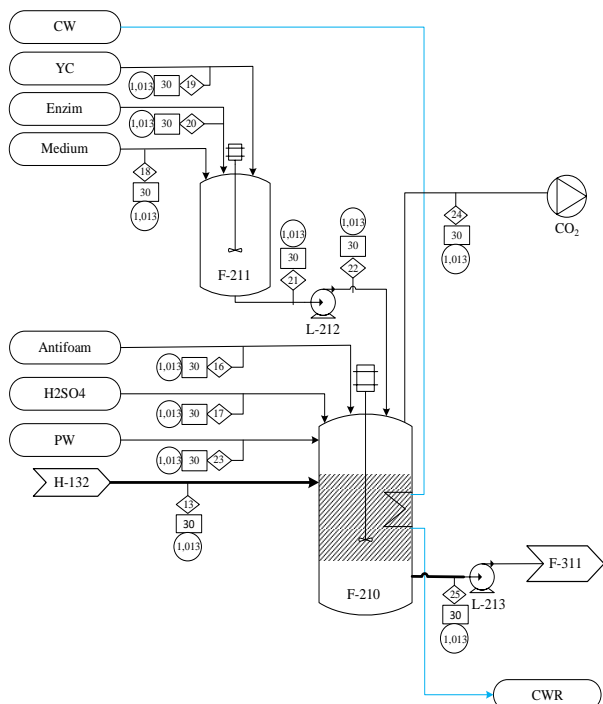
Keberhasilan suatu pabrik dipengaruhi oleh beberapa faktor, khususnya letak geografis suatu pabrik yang akan didirikan. Oleh sebab itu, sangat penting dilakukan suatu perencanaan dalam menentukan lokasi pabrik. Lokasi pendirian pabrik yang tepat dengan bahan baku semurah mungkin dan fasilitas penunjang lainnya yang memadai dapat memperoleh keuntungan dalam jangka panjang baik untuk perusahaan maupun kesejahteraan warga sekitar. Pada pemilihan lokasi pendirian pabrik bioetanol tersebut, telah dilakukan pertimbangan yang diantaranya sebagai berikut:

1. Ketersediaan Bahan Baku
2. Lokasi Pemasaran
3. Aksesabilitas dan Fasilitas Transportasi
4. Sumber Energi Listrik dan Air
5. Sumber Tenaga Kerja
6. Hukum dan Peraturan
7. Iklim dan Topografi

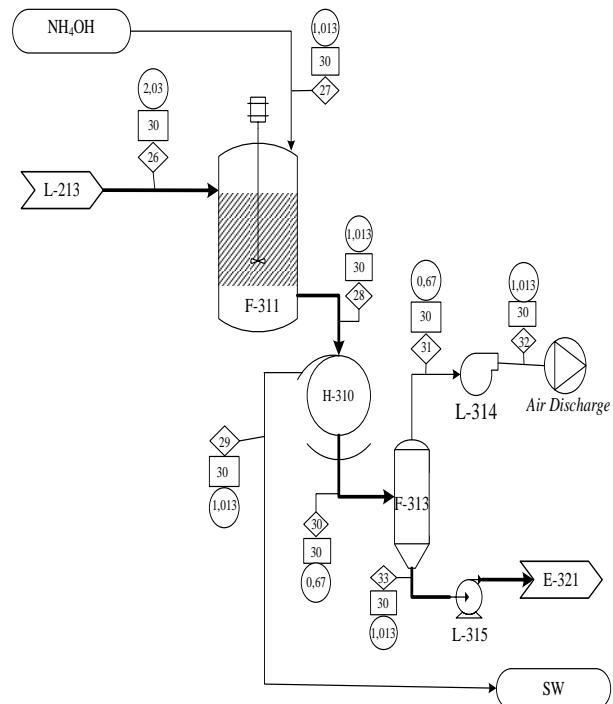
Adapun rencana pendirian pabrik bioetanol memiliki 2 opsi, yakni di Provinsi Sumatera Utara (Kawasan Industri Sei Mangkai) dan Provinsi Riau (Kawasan Industri Dumai). Opsi tersebut dipilih karena kedua provinsi tersebut merupakan produsen terbesar kelapa sawit di Indonesia.

Berdasarkan parameter yang telah ditentukan, maka dapat dilakukan pembobotan dan seleksi pemilihan lokasi pabrik menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* pada software “Expert Choice” dan dipilihlah Provinsi Riau sebagai lokasi pendirian pabrik, tepatnya di Kawasan Industri Dumai.

Adapun utilitas pada lokasi terpilih juga sudah memadai dengan tersedianya pembangkit listrik dengan kapasitas total 1056,37 MW serta terdapat 83.542,71 km² wilayah perairan yang terdapat pada Provinsi Riau berdasarkan BPS seperti yang ditunjukkan Gambar 2 [10].



Gambar 5. Unit Proses Fermentasi terdiri dari Tangki Fermentasi (F-210), Tangki Starter (F-211), Pompa Tangki Starter (L-212), dan Pompa Tangki Fermentasi (L-213).



Gambar 6. Unit Proses Separasi terdiri dari Rotary Vacuum Filter (H-310), Tangki Normalisasi (F-311), Tangki Penampung Filtrat (F-313), Pompa Vakum (L-314), dan Pompa Filtrat (L-315).

III. URAIAN PROSES TERPILIH

Proses produksi bioetanol ini terdiri dari tiga unit proses yang digolongkan berdasarkan fungsi utama dari keseluruhan proses seperti yang ditunjukkan diagram balok proses produksi bioetanol pada Gambar 3.

Unit pertama ialah *pre-treatment* yang berfungsi untuk mereduksi ukuran bahan baku dan mendegradasi lignin agar terpisah dari holoselulosa. Kemudian unit kedua ialah fermentasi, bertujuan untuk memproduksi bioetanol dari TKKS yang telah melalui proses *pre-treatment* sebelumnya. Kemudian unit ketiga ialah proses separasi, untuk memisahkan bioetanol dari beberapa komponen agar menjadi etanol fuel grade dan sesuai dengan standar SNI.

A. Pre-Treatment

Pada proses ini, TKKS akan direduksi ukurannya dan melalui proses alkali *pre-treatment* untuk menghilangkan lignin yang terkandung di dalamnya.

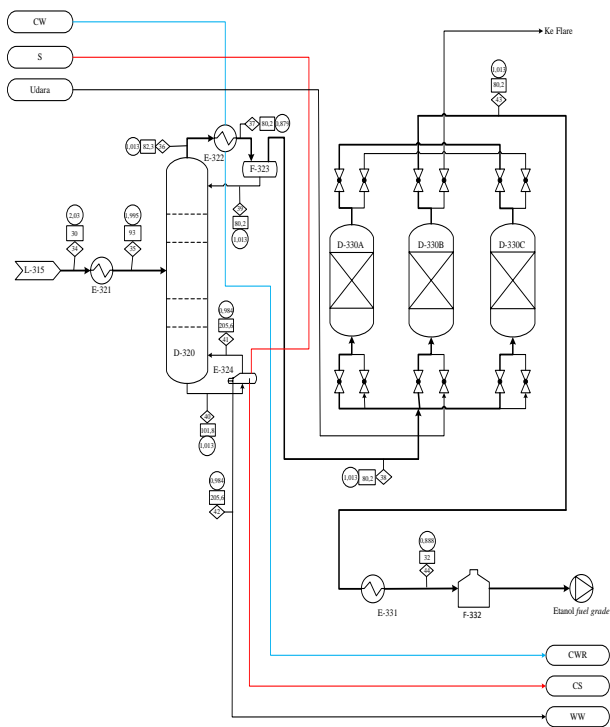
Pertama-tama, TKKS yang sebelumnya disimpan dalam gudang penyimpanan bahan baku (F-111) ditransportasikan menuju pabrik dengan menggunakan belt conveyor (J-112) yang sekaligus melalui proses pencucian dengan air proses. Selanjutnya, TKKS direduksi ukurannya menjadi <1 mm melalui dua alat. Mula-mula TKKS melalui *jaw crusher* (C-110) sehingga ukurannya akan menjadi ±30 mm, kemudian TKKS dihancurkan lagi pada *hammer mill* (C-120) sehingga ukurannya menjadi <1 mm. Selanjutnya TKKS tersebut akan diangkut menggunakan belt conveyor (J-121) menuju reaktor F-130 untuk proses alkali *pre-treatment*. Reaktor tersebut beroperasi pada suhu 110°C selama 45 menit dan ditambahkan larutan NaOH 3%. Sebelum memasuki reaktor, larutan NaOH 3% akan dipanaskan terlebih dahulu menggunakan *heat exchanger* (E-131) dari suhu 30°C hingga 113°C. Melalui proses ini, sebagian lignin akan larut

menjadi *black liquor*. Sesudah proses *pre-treatment*, *slurry* akan dikeluarkan dari reaktor dan menuju horizontal belt filter (H-132) untuk memisahkan antara *black liquor* dan pengotor (filtrat) dengan TKKS yang telah melalui proses *pre-treatment* (*cake*). Penyaringan pada horizontal belt filter dilakukan dengan bantuan pompa vakum (L-135) yang nantinya akan disertai pencucian menggunakan air proses untuk membantu menghilangkan pengotor yang kemungkinan masih menempel pada *cake*. Sesudah proses filtrasi, *cake* yang terpisah kemudian akan memasuki unit fermentasi. Sementara *black liquor* beserta pengotor lain akan memasuki tangki penampung filtrat (F-133) sedangkan air pencuci akan memasuki tangki penampung air pencuci (F-134) sebelum akhirnya dialirkan menuju pengolahan limbah cair. Unit proses *pre-treatment* ditunjukkan pada Gambar 4.

B. Fermentasi

TKKS yang telah melalui tahap *pre-treatment* kemudian akan menuju tahap hidrolisis dan fermentasi yang akan dilakukan secara simultan dalam satu reaktor. Fermentasi sendiri merupakan proses konversi glukosa dan xilosa menjadi bioetanol dengan bantuan mikroorganisme [2]. Proses fermentasi dilakukan dalam kondisi anaerob dalam tangki fermentasi (F-210) yang dilengkapi pengaduk dan coil pendingin untuk menjaga suhu fermentation tank agar konstan yaitu pada 30°C karena reaksi dalam fermentation tank bersifat eksotermis atau mengeluarkan panas.

Campuran enzim yang terdiri dari enzim selulosa (*celluclast 1.5 L*) dan hemiselulosa (*Xylanase Trichoderma asperellum USM SD4*), mikroorganisme fermentasi glukosa (*Saccharomyces cerevisiae* (ATCC 24858)), mikroorganisme fermentasi pentosa (*Scheffersomyces stipitis* (ATCC 5837TM)), dan juga medium yeast ATCC Medium 200: YM broth yang terdiri dari *yeast extract*, glukosa, dan peptone dibawa masuk dalam Tangki Starter

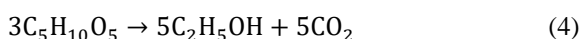
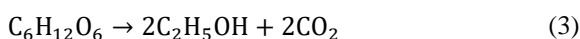
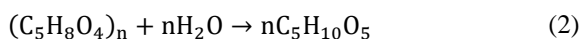
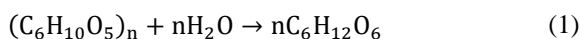


Gambar 7. Unit Proses Separasi terdiri dari Kolom Distilasi (D-320), Pre-heater Kolom Distilasi (E-321), Kondensor Kolom Distilasi (E-322), Tangki Penampung Distilat (F-323), Reboiler Kolom Distilasi (E-324), Dehidrator Bioetanol (D-330), Kondensor Bioetanol (E-331), dan Tangki Penyimpanan Bioetanol (F-332).

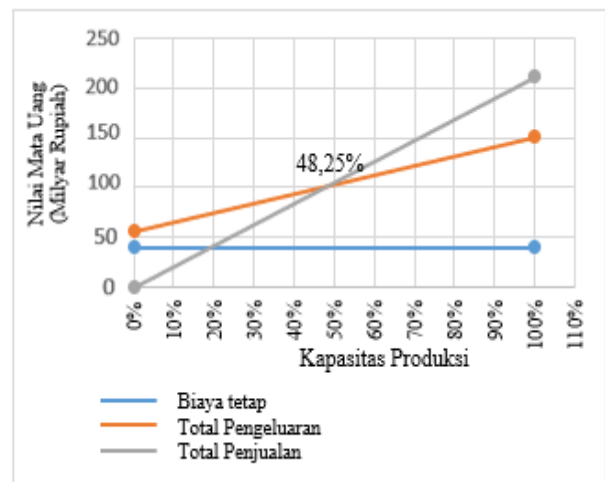
(F-211) sebelum dipompakan menggunakan menuju Tangki Fermentasi (F-210). Tangki Starter (F-211) dilengkapi dengan pengaduk dan proses propagasi *yeast* berlangsung selama 14 jam dengan suhu 30°C.

TKKS yang telah melalui tahap *pre-treatment* memasuki Tangki Fermentasi (F-210) bersama campuran enzim dan mikroorganisme serta mediumnya yang berasal dari Tangki Starter (F-211). Selain itu ditambahkan pula H₂SO₄ untuk menciptakan suasana asam yaitu pH 4,8 sebagai pH optimum dalam proses fermentasi ini. Sedangkan untuk menanggulangi terjadinya busa selama reaksi, ditambahkan *Turkey Red Oil* sebagai *antifoam*.

Proses fermentasi ini membutuhkan waktu 72 jam dengan kondisi anaerob. Reaksi yang terjadi dalam proses ini adalah reaksi hidrolisis selulosa dan hemiselulosa menjadi gula sederhana dan juga reaksi fermentasi glukosa dan pentose menjadi bioetanol. Persamaan (1) dan (2) merupakan persamaan reaksi hidrolisis yang terjadi. Sedangkan persamaan (3) dan (4) merupakan persamaan reaksi fermentasi yang terjadi.



Dari proses fermentasi ini, didapat output berupa bioetanol yang masih bercampur dengan *yeast mud* dan masih terdapat H₂SO₄ yang bersifat asam yang nantinya akan dibawa menuju proses selanjutnya untuk diseparasi. Keluaran lain dari proses ini adalah terbentuknya gas CO₂ yang dikeluarkan dari atas tangki fermentasi untuk dibuang ke lingkungan. Unit dari proses fermentasi disajikan pada Gambar 5.



Gambar 8. Grafik Titik Impas (Break Event Point/BEP).

C. Separasi

Proses purifikasi memiliki tujuan untuk memisahkan bioetanol dari pengotor dan air sehingga terbentuk produk akhir bioetanol dengan kemurnian tinggi, yaitu 99,5% atau fuel grade. Stream output dari Tangki Fermentasi (F-210) dipompa dengan pompa (L-213) menuju Tangki Normalisasi (F-311) untuk menormalisasi pH dengan ditambahkan senyawa NH₄OH. Kemudian dialirkan menuju *Rotary Vacuum Filter* (H-310) untuk memisahkan padatan-padatan (*yeast*) yang terbawa bersama bioetanol. Setelah dipisahkan, *cake* yang berupa *yeast mud* dialirkan keluar menuju pengolahan limbah padat sedangkan filtratnya dipompa dengan pompa filtrat (L-315) menuju *pre-heater* kolom distilasi (E-321) hingga bersuhu 93°C untuk dipanaskan sebelum memasuki kolom distilasi (D-320).

Kolom distilasi D-320 memiliki 13 *plate* dengan *feed* masuk pada *plate* ke-7 sehingga temperatur distilat yang keluar dari kolom sebesar 82,3°C dan temperatur produk bawah sebesar 101,8°C. Kemurnian etanol yang dihasilkan melalui proses distilasi ini adalah 94,7% massa mengingat campuran etanol-air akan mencapai azeotrop pada titik kemurnian etanol 95,6% massa, tetapi etanol yang digunakan sebagai biofuel harus memiliki kemurnian hingga 99,5% volume sesuai dengan SNI 7390-2008. Sehingga diperlukan proses peningkatan kemurnian etanol lebih lanjut melalui proses dehidrasi menggunakan *molecular sieves*.

Campuran etanol-air yang keluar dari kolom distilasi akan menuju ke dehidrator bioetanol (D-330). *Molecular sieves* yang digunakan memiliki diameter 4 Å, sehingga akan mampu memisahkan molekul air dan asam asetat yang berukuran 2,5 Å dan 4 Å dari molekul etanol yang berukuran 4,4 Å.

Proses adsorpsi ini akan berlangsung pada suhu 82°C dan tekanan atmosferik. Kemudian *Molecular sieves* yang telah mengandung banyak air akan diregenerasi untuk dipisahkan kandungan airnya menggunakan udara kering sehingga *Molecular sieves* dapat digunakan lagi untuk proses adsorpsi.

Hasil dari proses dehidrasi menggunakan *Molecular sieves* ini adalah produk bioetanol fuel grade yang kemudian akan dikondensasi menggunakan kondensor bioetanol (E-331) untuk kemudian disimpan di tangki penyimpanan bioetanol (F-332) pada suhu ruang. Unit proses separasi disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

IV. NERACA MASSA

Dasar perhitungan neraca massa adalah persamaan (5).

$$Accumulation = In - Out + Generation - Consumption \quad (5)$$

Dengan Asumsi dasar yang digunakan adalah proses dalam keadaan *steady state* sehingga $Accumulation = 0$.

Berdasarkan hasil perhitungan neraca massa Pra Desain Pabrik Bioetanol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit, diperoleh kapasitas bahan baku TKKS sebesar 7537,368 kg/jam, NaOH 3% sebesar 1808,49 kg/jam, medium yeast sebesar 29,86 kg/jam, *yeast culture* sebesar 1,12 kg/jam, enzim selulosa sebesar 0,0038 kg/jam, antifoam sebesar 5,21 kg/jam, H₂SO₄ 98% sebesar 0,0014 kg/jam, serta NH₄OH sebesar 0,001 kg/jam dengan basis operasi 1 kg/jam (waktu operasi 330 hari kerja/tahun dan waktu kerja pabrik 24 jam/hari) kapasitas pabrik 25.000 kL/tahun dengan produk Bioetanol fuel-grade 99,5% volume.

V. ANALISA EKONOMI

Analisis ekonomi merupakan hal yang penting dalam meninjau kelayakan pendirian dan perancangan pra desain pabrik. Beberapa faktor yang perlu dianalisa dalam menentukan kelayakan berdirinya pabrik bioetanol dari tandan kosong kelapa sawit ini diantaranya adalah *Net Present Value* (NPV), laju pengembalian modal (*Internal Rate of Return/IRR*), waktu pengembalian modal minimum (*Pay Out Time/POT*), dan juga titik impas (*Break Event Point/BEP*). Untuk mengetahui nilai dari faktor-faktor tersebut, terlebih dahulu perlu diketahui nilai *Capital Expenditure* (CAPEX) dan *Operating Expense* (OPEX).

A. *Capital Expenditure* (CAPEX) dan *Operating Expense* (OPEX)

Capital expenditure atau pengeluaran modal adalah biaya-biaya yang dikeluarkan dalam rangka memperoleh aset tetap, meningkatkan efisiensi operasional dan kapasitas produktif aset tetap, serta memperpanjang masa manfaat aset tetap. Biaya-biaya ini biasanya dikeluarkan dalam jumlah yang cukup besar (material), namun tidak sering terjadi. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai CAPEX sebesar Rp 234.270.284.638,208.

Sementara *Operating expense* atau biaya operasi adalah pengeluaran yang biasa dilakukan oleh sebuah perusahaan saat memenuhi kebutuhan operasional. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, diperoleh nilai OPEX sebesar Rp 139.292.286.577,183.

B. *Net Present Value* (NPV)

Net present value merupakan selisih antara nilai arus kas masuk dan nilai arus kas keluar pada sebuah periode waktu. NPV digunakan pada saat menghitung modal untuk menganalisis potensi keuntungan dari sebuah proyek maupun investasi yang akan dilakukan. Nilai NPV yang positif menyatakan bahwa proyeksi pendapatan pabrik kedepannya akan meraup keuntungan, sebaliknya apabila nilai NPV negative menandakan kerugian. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, didapat nilai NPV positif yaitu sebesar Rp 59.485.205.077.

C. *Laju Pengembalian Modal* (*Internal Rate of Return/IRR*)

Internal rate of return berdasarkan metode discounted cash flow adalah suatu tingkat bunga tertentu dimana seluruh penerimaan akan tepat menutup seluruh jumlah pengeluaran modal. Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapat nilai IRR sebesar 21,81% per tahun dimana nilai ini lebih besar dibanding tingkat bunga pinjaman yaitu 8,25% per tahun sehingga pabrik layak didirikan.

D. *Waktu Pengembalian Modal Minimum* (*Pay Out Time/POT*)

Minimum pay out time adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal suatu pabrik yang dapat dihitung dari modal dibagi laba dan depresiasi. Dari perhitungan, didapat waktu pengembalian modal minimum adalah 4,85 tahun yang menunjukkan pabrik layak didirikan karena nilai POT lebih kecil dibanding asumsi umur pabrik yaitu 10 tahun.

E. *Titik Impas* (*Break Event Point/BEP*)

Analisa titik impas digunakan untuk mengetahui besarnya kapasitas produksi dimana biaya produksi total sama dengan hasil penjualan. Biaya tetap (FC), Biaya variabel (VC), biaya semi variabel (SVC) dan biaya total tidak dipengaruhi oleh kapasitas produksi. Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan bahwa titik impas (BEP) = 48,25%. Grafik BEP dapat dilihat pada Gambar 8.

VI. KESIMPULAN

Pabrik bioetanol dari TKKS direncanakan untuk didirikan pada tahun 2023 dengan kapasitas produksi sebesar 25.000 kL/tahun. Pabrik tersebut akan berlokasi di Provinsi Riau, tepatnya di Kawasan Industri Dumai. Proses produksi bioetanol ini terdiri dari tiga unit proses. Unit pertama ialah *pre-treatment*, berfungsi untuk mereduksi ukuran bahan baku dan mendegradasi lignin agar terpisah dari holoselulosa, pada proses ini digunakan *pre-treatment* alkali menggunakan NaOH 3%. Kemudian unit kedua ialah fermentasi, bertujuan untuk memproduksi bioetanol. Proses fermentasi menggunakan metode SSCF (*Simultaneous Saccharification Fermentation*) dan *co-fermentor* yang terdiri dari *Saccharomyces cerevisiae* dan *Scheffersomyces stipitis* yang menghasilkan bioetanol dengan kemurnian sebesar 23%. Serta unit ketiga, yakni proses separasi yang terdiri dari proses distilasi dan dehidrasi, untuk memisahkan bioetanol dari berbagai komponen agar menjadi etanol fuel grade dan sesuai dengan standar SNI. Proses ini menghasilkan etanol *fuel grade* dengan kemurnian sebesar 99,5% volume. Berdasarkan perhitungan analisis ekonomi, dapat diketahui bahwa: NPV (*Net Present Value*) sebesar Rp 59.485.205.077; IRR (*Internal Rate of Return*) sebesar 21,81%; POT (*Pay Out Time*) selama 4,85 tahun; dan BEP (*Break Even Point*) sebesar 48,25% kapasitas total. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pabrik bioetanol dari TKKS tersebut layak untuk didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Arlianti, "Bioetanol sebagai sumber green energy alternatif yang potensial di Indonesia," *J. Keilmuan dan Apl. Tek. UNISTEK*, vol. 5, no. 1, pp. 16–22, 2018.
- [2] Y. Sudiyani, F. Amriani, S. P. Simanungkalit, and others, "Perkembangan bioetanol G2: teknologi dan perspektif," *Lemb. Ilmu Pengetah. Indones.*, 2019.
- [3] H. A. Alalwan, A. H. Alminshid, and H. A. S. Aljaafari, "Promising evolution of biofuel generations. Subject review," *Renew. Energy Focus*, vol. 28, pp. 127–139, 2019.
- [4] S. Supranto, A. Tawfiqurrahman, D. E. Yunanto, and I. Kurniawan, "Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber Conversion to High Refined Cellulose using Nitric Acid and Sodium Hydroxide as the Delignificating agents," Universitas Gajah Mada, 2014.
- [5] A. A. Kamoldeen, C. K. Lee, W. N. W. Abdullah, and C. P. Leh, "Enhanced ethanol production from mild alkali-treated oil-palm empty fruit bunches via co-fermentation of glucose and xylose," *Renew. Energy*, vol. 107, pp. 113–123, 2017.
- [6] S. P. Max, D. T. Klaus, and E. W. Ronald, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. McGraw-Hill Companies, 2003.
- [7] A. R. Hidayu, N. F. Mohamad, S. Matali, and A. S. A. K. Sharifah, "Characterization of Activated Carbon Prepared from Oil Palm Empty Fruit Bunch using BET and FT-IR Techniques," in *Procedia Engineering*, 2013, vol. 68, pp. 379–384, doi: 10.1016/j.proeng.2013.12.195.
- [8] W. Wusnah, S. Bahri, and D. Hartono, "Proses pembuatan bioetanol dari kulit pisang kepok (*Musa acuminata* BC) secara fermentasi," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 8, no. 1, pp. 48–56, 2020.
- [9] R. Prihandana, K. Noerwijan, P. G. Adinurani, D. Setyaningsih, S. Setiadi, and R. Hendroko, *Bioetanol Ubi Kayu Bahan Bakar Masa Depan*. Tangerang: Agro Media, 2007.
- [10] R. H. Perry, D. W. Green, and J. O. Maloney, *Perry's Chemical Engineer's*. New York: Mc-GrawHill Inc, 1984.