

Pra Rancang Bangun Bioetanol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan Kapasitas 2.972 Ton/Tahun Menggunakan Alat Utama Fermentor

Yulius Prianto Seda ¹⁾, S.P. Abrina Anggraini ²⁾, Ayu Chandra K.F ³⁾

^{1,2,3} Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang

e-mail address : yuliusseda@gmail.com

ABSTRAK

Pengembangan bioenergi sebagai bahan alternatif bahan bakar minyak masih kurang diperhatikan, sementara terbatasnya pasokan bahan bakar minyak di Indonesia. Solusi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil adalah dengan mengembangkan bioetanol untuk menggantikan bahan bakar fosil dengan. Bahan baku yang digunakan adalah tandan kosong kelapa sawit (EFB). Kapasitas pra-desain bioetanol yang direncanakan 2.972 ton / tahun membutuhkan tandan kosong kelapa sawit (TBS) adalah 31.387.000 kg / tahun. Utilitas yang akan digunakan adalah pasokan air PDAM dan sungai di Sambas, penyediaan listrik dari PLN dan genset, penyediaan bahan bakar dari LNG. Lokasi pabrik direncanakan di desa gamuruh, kecamatan sambas, provinsi Kalimantan Barat dengan luas total 13.000 m². Jenis perusahaan adalah perseroan terbatas dengan garis sistem dan membutuhkan karyawan 60 orang. Berdasarkan analisis ekonomi kebutuhan modal Rp.18.969.836.025,59. Total penjualan produk sebesar Rp.24.481.860.000,00 / tahun dengan laba kotor sebesar Rp. 8,343,053,024,56 / tahun, dan laba bersih sebesar Rp. 5,840,137,117,19 / tahun. Hasil dari studi kelayakan dapat diperoleh dari ROI (Return Of Investment) sebesar 51,74% sebelum pajak dan 36,22% setelah pajak. POT (Pot Out Time) selama 2,4 tahun, BEP (Break Even Point) sebanyak 44,45%, IRR (Internal Rate Of Return) sebanyak 12,76%. Berdasarkan analisis ekonomi, dapat disimpulkan bahwa pra-desain bioetanol dari tandan kosong kelapa sawit (TKS) harus ditetapkan.

Kata kunci: Pra-desain, Etanol, Tandan Kosong Kelapa Sawit (EFB)

ABSTRACT

The development of bioenergy as an alternative material of fuel oil is still less be concerned, while limited supply of fuel oil in Indonesia. The solutions to reduce dependence on fossil fuels is by developing bioethanol to replace fossil fuels with. The raw material used is oil palm empty fruit bunches (EFB). Pre-design capacity of bioethanol planned 2,972 ton/ year needs oil palm empty fruit bunch (EFB) is 31.387 million kg /year. Utilities will be used are water supply PDAM and river in sambas, the provision of electricity from PLN and generator set, the provision of fuel from LNG. The factory location is planned in gamuruh village, sambas district, west Kalimantan province with total area 13000 m². The type of corporation is a limited liability company with a system line and requires employees 60 people. Based on the economic analysis the need of capital Rp.18.969.836.025,59. Total product sales amounted Rp.24.481.860.000,00 / year with a gross profit of Rp. 8,343,053,024.56 / year, and a net profit of Rp. 5,840,137,117.19 / year. The results of the feasibility study can be obtained from the ROI (Return Of Investment) amounted to 51.74% before tax and of 36.22% after tax. POT (Pot Out Time) during 2.4 years, BEP (Break Even Point) as much as 44.45%, IRR (Internal Rate Of Return) as much as 12.76%. Based on the economic analysis, it can be concluded that the pre-designed of bioethanol from oil palm empty fruit bunches (EFB) should be established.

Keywords: Pre-design, Ethanol, Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB)

PENDAHULUAN

Pengembangan bioenergi sebagai bahan alternatif masih kurang mendapatkan perhatian, Sehingga pemerintah meluncurkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti Bahan Bakar Minyak. Menurut Blueprint dari Departemen ESDM tahun 2007, cadangan minyak di Indonesia yang ada 9,1 miliar barel dan produksi saat ini 387 juta barel. Sehingga rasio cadangan berproduksi saat ini akan habis 23 tahun mendatang. hal ini perlunya mencari sumber energi Alternatif Salah satunya adalah bioetanol yang merupakan etanol yang diperoleh dari proses fermentasi bahan-bahan berkarbohidrat atau berlignoselulosa menggunakan bantuan mikroorganisme (Hermawan dan Sudiyani, 2009). Berdasarkan instruksi presiden Nomor 1 Tahun 2006 tentang pemanfaatan bahan bakar nabati (BBN) sebagai bahan bakar alternatif, maka pada tahun 2025 Pemerintah Indonesia menargetkan substitusi BBN terhadap BBM mencapai 5%. Pada umumnya, pembuatan bioetanol menggunakan jagung dan tebu sebagai bahan baku.

Penggunaan kedua bahan baku tersebut berpotensi menimbulkan kontradiksi terhadap kebutuhan bahan pangan bila diterapkan di negara berkembang seperti Indonesia (Purwinda, 2009). Oleh sebab itu, selulosa berpotensi menjadi salah satu bahan baku alternatifnya dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki potensi yang besar menjadi sumber biomassa selulosa dengan kelimpahan cukup tinggi dan sifatnya yang terbarukan. Indonesia termasuk salah satu

negara penghasil utama kelapa sawit. Menurut data Badan Pusat Statistik Nasional tahun 2013 tercatat luas lahan perkebunan kelapa sawit mencapai 6108,9 Ha dari seluruh provinsi, salah satu provinsi penghasil kelapa sawit terbesar adalah Kalimantan Barat tercatat pada tahun 2014 dengan jumlah lahan 914.84 ha dan kapasitas produksi 1.057.873 Ton/tahun. Dari pengolahan Tandan Buah Segar menjadi minyak kelapa sawit (CPO) menghasilkan lebih kurang 20 - 23% Tandan kosong kelapa sawit.

Proses Produksi

1. Persiapan Bahan Baku

Tahap persiapan bahan baku bertujuan untuk mengurangi kristalinitas selulosa melalui proses reduksi ukuran dan dekrystalinasi. Tahap persiapan bahan baku bertujuan untuk mengurangi kristalinitas selulosa melalui proses reduksi ukuran dan dekrystalinasi. Pertama-tama TKKS ditampung di storage. Kemudian dilakukan proses pencacahan ukuran menggunakan mesin cutter hingga berukuran 2 mm – 6 mm. setelah mengalami pencacahan,TKKS dimasukkan ke dalam tangki penampungan.

2. Tahap Reaksi Etanol

a. Tahap Dekrystalisasi

Setelah di tampung, TKKS di bawa oleh conveyer screw menuju tangki Dekrystalisasi. Proses dekrystalisasi merupakan pencampuran TKKS dengan asam sulfat 70% pada rasio 1: 1,25 dengan menghasilkan gel. Kondisi operasi dikontrol pada suhu 80°C dan tekanan 1 atm melalui injeksi steam.

b. Tahap Prehidrolisis

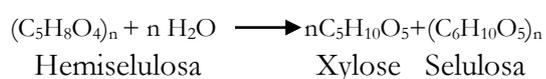
Pada tahap prehidrolisis Gel dari tangki dekrystalisasi dipompa ke reactor prehidrolisis, yang mana konsentrasi asam

sulfat diencerkan menjadi 30% dengan penambahan air proses. Asam sulfat pada kadar tersebut berperan sebagai katalis bagi reaksi hidrolisis hemiselulosa menjadi xylosa. Reaksi dilangsungkan pada suhu 100°C, tekanan 1 atm, selama 60 menit dimana yield xylosa adalah 90%. Hidrolisat kemudian dipompakan menuju cooler I yang berfungsi sebagai penurunan suhu menjadi 30°C, kemudian masuk ke dalam rotary vacum filter I berfungsi untuk pemisahan antara xylosa sebagai filtrat, dengan selulosa yang terikat dalam cake. Pemisahan ini dimaksudkan untuk menghindari degradasi xylosa pada proses hidrolisis selulosa. Xylosa yang terpisah ditampung sementara di tangki xylose sedangkan selulosa dipompa ke reaktor hidrolisis.

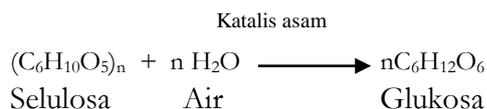
c. Tahap Hidrolisis

Proses berikutnya adalah hidrolisis selulosa dengan katalis asam sulfat 25,5% dalam reaktor hidrolisis. Reaktor dioperasikan pada suhu 100°C dan tekanan 1 atm. Selama 50 menit, 90% selulosa akan terkonversi menjadi glukosa. Hidrolisat kemudian dipompakan ke cooler II untuk penurunan suhu menjadi 30°C kemudian dimasukkan ke rotary vacum filter II untuk pemisahan antara glukosa sebagai filtrat, dengan lignin yang terikat dalam campuran. Lignin perlu dipisahkan karena berpotensi sebagai inhibitor pada proses fermentasi. Mekanisme reaksi total hidrolisis hemiselulosa dan selulosa dapat dituliskan seperti berikut:

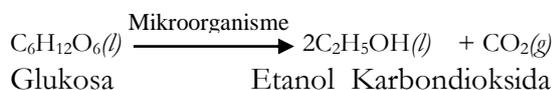
Prehidrolisis:



Hidrolisis:



Fermentasi:

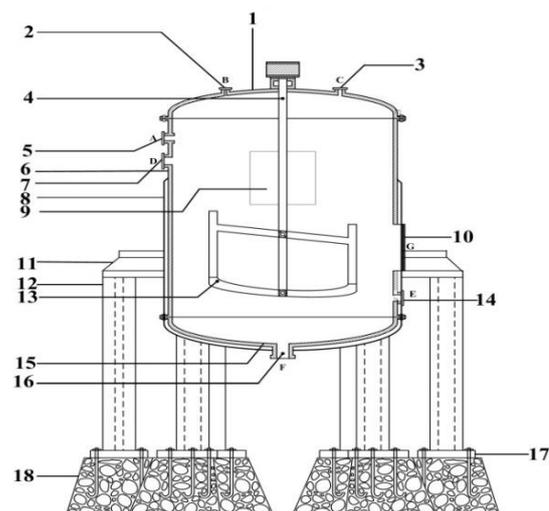


Setelah keluar dari rotary vacum filter II, yang mana Asam sulfat yang terkandung dalam larutan xylosa maupun glukosa selanjutnya direcovery menggunakan alat ion exchanger A dan B, alat tersebut berupa dua buah kolom packed-bed, menggunakan resin Amberlite IR-188 dioperasikan pada suhu 60°C. Larutan xylosa dan glukosa diumpankan ke kolom pertama secara bersamaan. Operasi pada kolom pertama adalah proses adsorpsi.

Packed-bed akan mengadsorpsi xylosa dan glukosa dari larutan sehingga asam sulfat terpisah. Asam sulfat yang terpisah dipekatkan kembali menggunakan evaporator sampai konsentrasi 98% kemudian di pompa dan didinginkan oleh cooler III menjadi 30°C menuju tangki penampungan asam sulfat yang dapat digunakan lagi sebagai katalis. Pada direcovery Proses adsorpsi berikutnya dilangsungkan pada kolom kedua sedangkan kolom pertama beralih operasi menjadi regenerasi resin dan begitu seterusnya. Regenerasi resin dilakukan melalui pencucian dengan air yang telah dipanaskan (60°C) melalui heater I (E-153), dimana xylosa dan glukosa yang teradsorpsi akan ikut terlarut dalam air pencucian tersebut. Air pencucian resin diinjeksikan hingga konsentrasi larutan gula (xylosa dan glukosa) hasil regenerasi mencapai 18%.

d. Tahap Fermentasi

Tahap fermentasi dilakukan didalam fermentor larutan gula hasil regenerasi ion exchanger A dan B dialirkan ke fermentor. Tahap fermentasi ini dilakukan dengan cara bersamaan. Mikroorganisme yang digunakan yaitu Bakteri *Zymomonas Mobilis* sebagai biokatalis yang di tampung dalam Bin *Z.mobilis* dengan dosis 0,3% dari kandungan gula. Bakteri *Zymomonas Mobilis* tersebut dapat mengkonversi xylosa maupun glukosa menjadi etanol. Nutrisi mikroorganisme fermentasi berupa urea selanjutnya ditambahkan dengan dosis 0,5% dari kandungan gula melalui Bin urea. Asam sulfat dari tangki penampungan asam sulfat melalui Bin asam sulfat 98% juga ditambahkan hingga pH campuran menjadi 4,5. Fermentor dipertahankan pada suhu 32°C, tekanan 1 atm, pH 4,5 dan waktu tinggal 36 jam. Tahap fermentasi ini dilakukan dengan cara bersamaan. Fase awal fermentasi adalah proses pertumbuhan Bakteri *Zymomonas Mobilis* dimana secara stoikiometri dihasilkan dari 2% glukosa dan 1,9% xylosa. Fase fermentasi berikutnya merupakan produksi etanol oleh Bakteri *Zymomonas Mobilis* melalui konsumsi 95% glukosa dan 85% xylosa. Hasil fermentasi (*beer*) mengandung etanol sebesar 9% (b/b). Fermentasi juga menghasilkan produk samping berupa gas CO₂ yang dikeluarkan melalui vent fermentor.



Gambar 1. Alat Utama Fermentor Pembuatan Bioetanol

Tabel 1. Keterangan Alat Fermentor Pembuatan Bioethanol

No	Keterangan
1	Tutup Atas (Head)
2	Nozzle Pemasukan <i>Z. Mobilis</i>
3	Nozzle Pengeluaran Gas
4	Poros Pengaduk
5	Nozzle Pemasukan Media Fermentasi
6	Shilinder (Shell)
7	Nozzle Pemasukan Air Pendingin
8	Jaket Pendingin
9	Kaca Pengintai
10	Manhole
11	Lug An Gusset
12	Kolom Penyangga
13	Pengaduk (Impeller)
14	Nozzle Pengeluaran Air Pendingin
15	Tutup Bawah (Bottom)
16	Nozzle Pengeluaran Produk
17	Base Plate
18	Pondasi

3. Tahap Pemurnian Dan Pemisahan

a. Tahap Destilasi

Tahap destilasi dilakukan bertujuan untuk memurnikan etanol (*beer*). Proses destilasi dilangsungkan pada satu kolom. Kolom destilasi untuk memekatkan konsentrasi etanol terbaik yaitu 95%.

Etanol dari fermentor dialirkan ke kolom destilasi setelah dipanaskan melalui heater II pada 80°C. Sebagian besar etanol dan sebagian kecil air dalam kolom akan menguap pada suhu tersebut dan menuju bagian atas kolom. Uap etanol dan air kemudian dikondensasi dalam kondensor sehingga menjadi fase liquid dan ditampung dalam akumulator. Sebagian liquid tersebut dikembalikan ke kolom sebagai reflux dan sebagian lainnya dikeluarkan sebagai produk distilat. Beer yang tidak menguap akan menuju bagian bawah kolom dan diumpungkan ke reboiler untuk mendidihkan kembali etanol yang masih terdapat dalam beer pada suhu 80°C. Uap etanol beserta air dikembalikan ke kolom sedangkan komponen lainnya diteruskan menuju unit waste treatment. Sebanyak 95% etanol dan 5% air dari yang terkandung dalam beer terpisah sebagai distilat. Adapun kemurnian etanol dalam distilat sebesar 95%. Etanol 95% didinginkan oleh cooler IV pada 30°C dan dipompa menuju tangki penampungan etanol.

4. Penanganan Produk

Etanol hasil proses produksi ditampung pada tangki penampungan etanol akhir. Pengawasan tangki penampungan dilakukan juga berdasarkan sifat etanol yang mudah menguap dan terbakar. Pengawasan tersebut berupa peletakan tangki yang terpisah sedikit jauh dari unit produksi untuk meminimalisir kerusakan seandainya terjadi ledakan, serta jauh dari sumber api. Suhu dan tekanan etanol dalam tangki harus diawasi secara periodik dan dijaga pada keadaan kamar (30°C). Tangki harus tertutup rapat untuk menghindari penguapan karena Etanol merupakan senyawa yang mudah terbakar dan mudah menguap, dengan demikian

diperlukan penanganan produk yang cermat. Penanganan produk etanol dilakukan dengan menitikberatkan pada aspek penyimpanan produk baik pada sisi kemasan maupun letak tangki penampungan.

Utilitas

Unit utilitas merupakan unit penunjang bagi unit-unit yang lain dalam suatu pabrik atau sarana penunjang untuk menjalankan suatu pabrik dari tahap awal sampai produk akhir. Unit utilitas yang digunakan pada rancangan pabrik bioetanol dari Tandan kosong kelapa sawit adalah:

1. Unit penyediaan air yaitu PDAM (untuk air sanitasi dan proses) dan air sungai (air pemadam kebakaran, dan air pendingin, air umpan boiler)
2. Unit penyediaan bahan bakar yaitu dari LPJ untuk mengoperasikan burner dan generator.
3. Unit Penyediaan listrik yaitu dari PLN dan generator set untuk menjalankan alat-alat produksi, utilitas dan untuk penerangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2. Neraca Massa

No.	Nama Alat	Masuk (kg/jam)	Keluar (Kg/jam)
1.	Cutter	4359.305556	4359.305556
2.	Tangki Dekristalisasi	8943.115347	8943.115347
3.	Reaktor Hidrolisis 1	10228.56557	10228.56557
4.	Rotary Vacuum Filter 1	13689.85418	13689.85418
5.	Reaktor Hidrolisis II	7791.92255	7791.92255
6.	Rotary Vacuum Filter II	10530.65627	10530.65627
7.	Ion Exchanger	17866.80083	17866.80083
8.	Regenerasi Ion Exchanger	7714.130275	7714.130275
9.	Evaporator	16478.25738	16478.25738
10.	Fermentor	7736.637231	7736.637231
11.	Destilasi	7313.512497	7313.512497
12.	Reboiler	14015.75415	14015.75415
13.	Kondensor	7431.661036	7431.661036

Tabel 3. Neraca Panas

No	Nama Alat	Masuk (Kkal/jam)	Keluar (Kkal/jam)
1.	Tangki Dekristalisasi	207633.8319	207633.8319
2.	Reaktor Hidrolisis I	284992.6442	284992.6442
3.	Cooler I	282488.0795	282488.0795
4.	Rotary Vacuum Filter I	149142.9457	149142.9457
5.	Reaktor Hidrolisis II	348384.7222	348384.7222
6.	Cooler II	338656.7806	338656.7806
7.	Rotary vacuum Filter II	171740.4089	171740.4089
8.	Ion Exchanger	487680.7533	487680.7533
9.	Evaporator	7111105.679	7111105.679
10.	Cooler III	128855.2972	128855.2972
11.	Heater I	231500.0561	231500.0561
12.	Regenerasi Ion Exchanger	234892.8219	234892.8219
13.	Fermentor	73565.78694	73565.78694
14.	Heater II	387768.3232	387768.3232
15.	Destilasi	537041.5467	537041.5467
16.	Cooler IV	36490.31598	36490.31598

ANALISA EKONOMI

Analisa ekonomi dimaksudkan untuk mengukur kelayakan ekonomi suatu Pra Rancang Bangun, menghasilkan profit atau tidak. Kelayakan suatu rancangan pabrik didasarkan pada parameter-parameter ekonomi, yaitu:

- *Return on Investment (ROI)*

ROI adalah pernyataan umum yang digunakan untuk menunjukkan laba tahunan sebagai usaha untuk mengembalikan modal.

$$ROI_{BT} = \left(\frac{\text{Laba kotor}}{\text{Modal tetap}} \right) \times 100\% = 51,74 \%$$

$$ROI_{AT} = \left(\frac{\text{Laba bersih}}{\text{Modal tetap}} \right) \times 100\% = 36,22 \%$$

- *Pay Out Time (POT)*

POT adalah masa tahunan pengembalian modal investasi dari laba yang dihitung dikurangi penyusutan atau waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal investasi.

$$POT = \left(\frac{\text{Modal tetap}}{\text{Cash flow}} \right) \times 1 \text{ tahun} = 2,4 \text{ tahun}$$

- *Break Event Point (BEP)*

BEP adalah suatu titik dimana jumlah biaya dan penghasilan produksi adalah sama, dengan kata lain pabrik tidak untung dan tidak rugi.

$$BEP = \frac{FC + 0,3SVC}{S - 0,7SVC - VC} \times 100\% = 44,45\%$$

- *Internal Rate of Return (IRR)*

IRR Adalah suatu tingkat bunga tertentu dimana seluruh penerimaan akan tepat menutup seluruh jumlah pengeluaran modal.

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 + NPV_2} \times (i_2 - i_1) = 12,76\%$$

Keterangan:

i_1 = Nilai trial bunga pinjaman ke-1 = 10%

i_2 = Nilai trial bunga pinjaman ke-2 = 15%

KESIMPULAN

Kesimpulan Pra Rancangan Pabrik Bioetanol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit adalah sebagai berikut:

- Kapasitas produksi bioetanol 95% adalah 2.972 ton/tahun dengan kebutuhan bahan Tandan Kosong Kelapa Sawit sebanyak 31.387 ton/tahun.
- Berlokasi Desa Balai Gemuruh Kecamatan Subah, Kabupaten Sambas – Kalimantan Barat. Lokasi tersebut mendukung aspek ketersediaan bahan baku, sumber air, listrik, bahan bakar, tenaga kerja, sarana transportasi dan pemasaran.
- Pra Rancangan Pabrik Bioetanol ini layak didirikan berdasarkan parameter-parameter ekonomi seperti berikut :

Analisa Kelayakan	Hasil
Total Capital Investment (TCI)	Rp.18.969.836.025,59
Return Of Investment (ROI _{BT})	51,74 %
Return Of Investment (ROI _{AT})	36,22 %
Pay Out Time (POT)	2,4 tahun
Break Even Point (BEP)	44,45 %
Internal Rate Of Return (IRR)	12,76%

Dari keterangan tersebut bahwa analisa telah memenuhi syarat sehingga pra rancang bangun layak unituk didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2006. Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025. Melalui http://www.esdm.go.id/publikasi/lainlain/doc_download/714-blue-print-pengelolaan-energi-nasional-pen.html (diakses 09 Desember 2015).

BPS Kalimantan Barat, 2015. *Data Perkebunan Kalimantan Barat*. Pontianak, BPS Kalimantan Barat.

Hesse, H.C., and Rouston, J.H 1959. *Process Equipment Design*. New Jersey, Van Nostrand Company.

Ismail, T., Iksanti, L., dan Jayanti, N.D 2009. *Etanol dari Molases Menggunakan Zymomonas Mobilis yang Diamobilisasi dengan K-Karaginan pada Reaktor Kontinyu*. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia Bandung-STNKI. Bandung.

Kistina, dkk. 2012. *Alkaline Pretreatment dan Proses Simultan Sakarifikasi- Fermentasi untuk Produksi Etanol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Sumatera, Universitas Sriwijaya.

Ropiah, D.2010. *Pemanfaatan Hidrolisat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TTKS) untuk Produksi Etanol dengan Pichia Stipitis*. Jakarta, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.

Xiang et.,all. 2003. *Heterogeneous Aspects of Acid Hydrolysis of a Cellulose Human*, Vol 105-108. R. Dybker Pure Appl Chem 73.