PRARANCANGAN PABRIK BIOETANOL DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) DENGAN KAPASITAS 35.000 TON/TAHUN

Suheil[1]*, Ryan Rahmatan, Yosita Elza defitri[1], Istiqomah Rahmawati[1], Gaguk Djatisukamto[1], Bekti Palupi[1], Ditta Kharisma Yolanda Putri[1]

[1]Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan Tegalboto No.37, Jember 68121, East Java, Indonesia
*Corresponding Author: 2019104011108@mail.unej.ac.id

Abstrak

Pra-rancangan pabrik bioetanol dirancang karena memiliki tujuan untuk memenuhi kebutuhan bioetanol yang ada di Indonesia dan untuk ekspor di luar negeri. Bioetanol digunakan salah satunya sebagai bahan campuran untuk bahan bakar. Proses pembuatan bioetanol dengan kapasitas 35.000 Ton/tahun ber-bahan baku tandan kosong kelapa sawit (TKKS), larutan asam sulfat, Saccharomyces cerevisiae, enzim selulase, enzim hemiselulase, dan air. Proses yang terjadi dibagi menjadi empat (4) proses yaitu proses pertama adalah persiapan bahan baku (pretreatment), proses kedua adalah sakarifikasi, proses ketiga adalah fermentasi, dan proses terakhir adalah proses pemurnian. Total karyawan yang dibutuhkan untuk menjalankan pabrik ini berjumlah 151 orang. Hasil evaluasi analisa ekonomi, dapat disimpulkan bahwasannya pabrik bioetanol dengan kapasitas 35.000 Ton/tahun layak didirikan dengan rincian Pay Out Time (POT) 2,6 tahun, Return of Invesment (ROR) 25,5%, laba bersih Rp.81,425,417,149.35, dan Break Event Point (BEP) 42,117%.

Kata kunci: Bioethanol, Steam explosion, SSF

1. Pendahuluan

Etanol dikenal sebagai alkohol etil merupakan senyawa organik yang memiliki banyak kegunaan sebagai pelarut bahan kimia pada industri-industri seperti farmasi, kosmetik, makanan, minuman, dan bahan bakar campuran bensin (Wright & Rahmanullah, 2015). Penggunaan etanol secara global telah meningkat lebih dari 16 miliar galon (61 miliar liter) pada tahun 2010 dan menjadi lebih dari 29 miliar galon (109 miliar liter) pada tahun 2023 (IEA, 2023). Kebutuhan etanol yang semakin tinggi ini dapat mendorong negara seperti Indonesia yang umumnya memiliki ketersediaan biomassa yang banyak untuk digunakan dalam pembuatan bioetanol. Proses produksi bioetanol yang digunakan yaitu fermentasi, pada proses ini gula akan diuraikan menjadi bioetanol dan karbondioksida. Pada produksi bioetanol fermentasi yang sering digunakan yaitu hidrolisis dan fermentasi terpisah (Separate Hydrolysis and Fermentation).

Salah satu biomassa lignoselulosa yang dapat digunakan sebagai bahan baku bioetanol yaitu tandan kosong kelapa sawit. Berdasarkan data yang didapatkan dari Badan Pusat

Statistika, rata-rata CPO dari tahun 2019 hingga 2022 sebesar 46.285.000 ton, sehingga dapat disimpulkan rata-rata limbah TKKS sebanyak 43.711.554 ton (Haniati et al, 2021). Limbah TKKS juga banyak mengandung lignoselulosa, kandungan selulosa sebesar 46%, hemiselulosa 33%, lignin 17% dan abu 4% (Ristianingsih et al, 2015 dan Chen et al, 2018). Berdasarkan banyak produksi TKKS dan kandungan lignoselulosa di dalam TKKS yang cukup tinggi ini, TKKS memiliki potensi yang cukup besar untuk dikonversi menjadi bioetanol. Perancangan pabrik ini irencanakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan ekspor. Negara-negara yang membutuhkan impor bioetanol seperti Filipina, Jepang, dan China. Negara-negara tersebut membutuhkan bioetanol sebagai campuran bensin.

Perkiraan kapasitas pabrik bioetanol yang dapat direncanakan pada tahun 2028 sebesar

35.000 Ton/Tahun. Perhitungan kapasitas produksi ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

m1 + m2 + m3 = m4 + m5 (1.1)
0 + 254.235 + m3 = 140.759,2561 + 147.921
m3 = 34.445 ton/tahun

Keterangan:

- m1 = Jumlah impor pada tahun 2028
- m2 = Jumlah produksi dalam negeri
- m3 = Jumlah produksi pada tahun 2028 atau Kapasitas Pabrik m4 = Jumlah ekspor pada tahun 2028
- m5 = Jumlah konsumsi pada tahun 2028
- n = jarak tahun berdirinya pabrik dan tahu terakhir diproduksi i = rata-rata pertumbuhan

2. Deskripsi Proses

Pada proses pembuatan bioetanol terdapat beberapa tahapan yaitu pretreatment, hidrolisis dan fermentasi, serta purifikasi. Steam explosion digunakan dalam preatreatment pembuatan bioetanol ini. Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) digunakan dalam proses fermentasi dan hidrolisis karena yield yang dihasilkan lebih banyak daripada metode lainnya. Proses yang digunakan dalam perancangan ini adalah produksi bioetanol dengan proses SSF dan purifikasinya menggunakan Membrane Pervaporation.

a. Pretreatment

TKKS akan direduksi ukurannya dengan chruser milk dan dihancurkan melalui metode steam explosion untuk menghilangkan kandungan lignin. Pada tangki steam explosion, bahan baku direaksikan dengan uap air yang tinggi pada kondisi operasi temperatur 200 °C 13 dan tekanan operasi 1 – 2.3 Mpa selama 1-10 menit. Pada awal pemanasan dengan menggunakan steam. Slurry yang meledak dengan uap dialirkan

keluar menuju cyclone (H-114) untuk memisahkan slurry dengan uap. Slurry akan keluar menuju centrifuge (H-115) untuk dicuci dan dipisahkan antara senyawa selulosa, hemiselulosa dan lignin hingga dihasilkan senyawa padat adapun senyawa cairnya adalah sisa slurry yang terlarut dalam air.

Proses delignifikasi dilakukan untuk menghilangkan kadar lignin dengan menggunakan reaktor berpengaduk yang diberi larutan NaOH 2% dan dipanaskan hingga 100 °C. Pada filter press, terjadi proses pemisahan sehingga cairan akan terpisah dan akan di proses lebih lanjut di UPL, sedangkan padatan (cake) akan dimasukkan dalam tangki pencucian (D-220). Hasil bahan campuran tersebut, dimasukkan ke dalam tangki pencucian dengan menggunakan air proses untuk menetralkan pH-nya.

b. Simultan Saccharification and Fermentation (SSF)

TKKS yang telah melalui proses pretreatment memasuki reaktor SSF (R-210). Bahan tersebut dicampurkan dengan air, enzim selulosa 20 FPU tiap gram substrat, enzim hemiselulosa 20 FPU tiap gram substrat, dan 1 % Saccharomyces cerevisiae, selain itu ditambahkan larutan buffer untuk menciptakan suasana asam dan untuk menjaga pH optimum. Pada proses sakarifikasi, reaksi terjadi pada fase padat dan bersifat endotermis, dengan realsi sebagai berikut:

(C6H10O5(s))1500 + 1500 $H2O(l)$ → 1500 $C6H12O6(aq)$

$Selulosa + Air \rightarrow Glukosa$ $(C5H8O4(s))200$ + 200 $H2O(l)$ → 200 $C5H10O5(aq)$

$Hemiselulosa + Air \rightarrow Xylose$

Pada proses fermentasi dapat diketahui reaksi yang terjadi, antara lain: Reaksi pembentukan etanol dari glukosa

1500 C6H12O6 (l) $yields$ → $2C2H5OH(l)$ + $2CO2(g)$

$Glukosa$ $yields$ → $Etanol$ + $Karbon$ $dioksida$

Reaksi pembentukan etanol dari xylose

$C5H10O5(l)$ $yields$ → 5/3 $C2H5OH$ (l) + 5/3 $CO2(g)$

$Xylose\ yields \rightarrow Etanol + Karbon\ dioksid$

c. Pemurnian

Produk dialirkan terlebih dahulu menuju decanter centrifuge (H-224) menggunakan pompa sebelum masuk ke menara distilasi dan terjadi proses pemisahan padatan (yeast) yang terbawa bersama bioetanol. Produk masuk ke dalam kolom distilasi untuk memisahkan sisa glukosa, xylosa. selulosa, H2SO4, etanol dan air hingga terpisah dari larutan. Pada distilasi tahap

pertama, pemurnian berlangsung hingga etanol mencapai 66 %v. Etanol yang digunakan sebagai biofuel harus memiliki kemurnian hingga 99,5 %v sesuai dengan SNI 7390-2008 dan WO2009072878A1, sehingga diperlukan proses peningkatan kemurnian lebih 16 lanjut melalui distilasi tahap ke-2. Pada distilasi tahap kedua (D-320), pemurnian etanol berlangsung hingga mencapai kadar etanol 92 %v. Dalam membran pervaporasi, produk dipisahkan hingga diperoleh etanol fuel grade dengan kemurnian 99,5 %v.

3. Utilitas

Bahan baku utilitas yang utama seperti pasokan air dan listrik. Pemenuhan kebutuhan air dapat diperoleh secara baik dari KIS (Kawasan Industri Sei Mangkei) yang menyediakan Water Treatment Plant (WTP) dengan kapasitas 500 m3/jam dan Waste Water Treatment Plant (WWTP) dengan kapasitas 250 m3/jam yang telah memenuhi standar pengolaan air limbah sesuai dengan Permen LH No. 3 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kawasan Industri. Supply air bersih di KIS ini diperoleh dari Sungai Bah Tongguran .Pemenuhan kebutuhan listrik dapat juga diperoleh dari KIS yang telah menyediakan Pembangkit Listrik Negara (PLN) dengan kapasitas 60 MW, kebutuhan listrik dari KIS juga dapat diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) dengan kapasitas 2x1,2 MVA dan juga dapat diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Pengolahan gas yang disediakan oleh KIS yaitu PERTAMINA GAS dengan kapsitas 75 MMSCFD (Kawasan Industri Sei Mangkei, 2024).
Pengelolaan limbah industri kimia adalah proses yang kompleks dan penting untuk mencegah pencemaran lingkungan dan mengurangi dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan makhluk hidup. Pabrik Green Ethanol Works menghasilkan limbah slurry dan domestik. Limbah padat berupa katalis yang digunakan dalam proses dan resin yang digunakan dalam pengolahan air. Limbah yang dihasilkan disimpan sementara kemudian diserahkan kepada pihak ketiga yakni PT. Kawasan Industri Nusantara (KINRA).

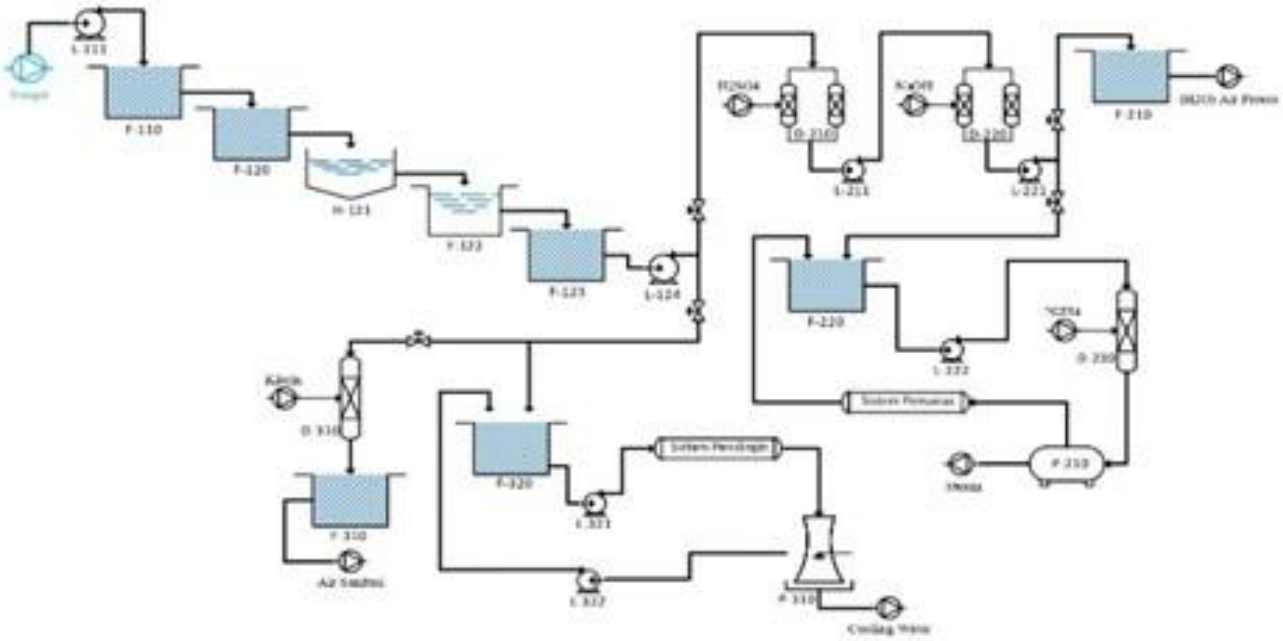
4. Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan untuk menilai kelayakan pendirian suatu pabrik. Tujuan dari evaluasi ini adalah untuk mengukur potensi keuntungan yang dapat dihasilkan berdasarkan kapasitas produksi tertentu. Penentuan kelayakan pendirian pabrik asam perasetat melibatkan beberapa komponen, yang dirangkum dalam tabel berikut. Tabel ini menyajikan hasil analisis ekonomi yang dilakukan untuk pabrik bioetanol.

Tabel 1 Analisis Ekonomi Pabrik Bioetanol

Komponen	Nilai	Kelayakan
Pay out Time (POT)	2,6 tahun	Layak didirikan
Return of Invesment (ROI)	29,99 %	Layak
Total Capital Investment (TCI)	Rp. 553.422.842.522,9	Layak
Break Event Point (BEP)	42,117 %	Layak

PFD UTILITAS (UNIT PENDUKUNG)



No.	Kode	Nama Alat
1	L-111	Pompa Sungai
2	F-110	Bak Pengendap Awal
3	F-120	Bak Penggumpal
4	H-121	*Clarifier*
5	F-122	Bak *Filter*
6	F-123	Bak Penampung
7	L-124	Pompa Distributor
8	D-210	Tangki Kation Exchanger
9	L-211	Pompa Kation
10	D-220	Tangki Anion Exchanger
11	L-221	Pompa Air Proses
12	F-210	Bak Umpan Air Proses
13	F-220	Tangki Umpan *Boiler*
14	L-222	Pompa Deerator
15	D-230	Tangki Deerator
16	P-210	*Boiler*
17	D-310	Tangki Karbon Aktif
18	F-310	Bak Air Sanitasi
19	F-320	Bak *Cooling Water*
20	L-321	Pompa *Cooling Water*
21	P-310	*Cooling Tower*
22	L-322	Pompa *Kondesat Cooling Water*

Gambar 1. *Flow Diagram Utilitas*

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang di dapatkan berdasarkan uraian di atas yaitu lokasi pabrik Bioetanol akan dibangun di Kawasan Industri Nusantara (KINRA) terletak di Sei Mangkei, Kecamatan Bosar Maligas Kabupaen Simalungun, Provinsi Sumatra Utara, Indonesia. Pabrik Isopropilamin ini memiliki kapasitas produksi sebesar 35.000 ton/tahun. Bahan baku berupa TKKS, NaOH, asam sulfat, Saccharomyces cerevisiae, enzim selulase, enzim hemiselulase, dan air. Pabrik ini direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun dan 24 jam/hari. Pabrik ini terdiri dari empat tahap proses, yaitu Pretreatment, sakarifikasi, fermentasi, dan pemurnian. Bentuk badan usaha yang direncanakan pada pabrik ini adalah perseroan terbatas (PT) dengan jumlah karyawan sebanyak 151 orang. Evaluasi ekonomi diperoleh, Laba perusahaan sebesar Rp81,425,417,149.35 , Return on Invesment (ROI) sebesar 28,33%, Pay out time (POT) sebesar 2,6 tahun, Break even point (BEP) sebesar 42,117%. Berdasarkan evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa pabrik Bioetanaol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan kapasitas 35.000 ton/tahun ini layak untuk didirikan.

Daftar Pustaka

Anonim. (2018). Lembar Data Keselamatan Bahan Ethanol Absolut. MSDS Smart-Lab, 0(1907), 1–6. www.smartlab.co.id

Bevill, K. 2008. “Membangun 'Model Minnesota'.” Majalah Produsen Etanol, April, Hlm.114-120.

Bioenergia, F.S., 2021. Programmatic Pre-Issuance Verification Letter. , (July), Pp.1–22. Chandra, A., 2020. Report Name : Biofuels Annual - India. Unites States Department Of Agriculture Foreign Agriculture Service, P.11.

Dino, E. (2018). Kajian Ekonomis Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar PLTU Biomassa. Seminar Nasional Royal (SENAR) , 1(3), 417–422.

Gauss WF, Suzuki S, Takagi M. In: Pembuatan Alkohol Dari Bahan Selulosa Menggunakan Fermentasi Jamak. Kantor USPT, Editor. Jil. 3990944. Amerika Serikat, Bio Research Center Company Limited; 1976.

Haniati, M., Fajrin, A. N. A., Tetrisyanda, R., & Kuswandi, K. (2021). Pra Desain Pabrik Bioetanol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit. Jurnal Teknik ITS, 10(2). https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.67157

Khazalina, T. (2020). Saccharomyces cerevisiae in making halal products based on conventional biotechnology and genetic engineering. Journal of Halal Product and Research, 3(2), 88. https://doi.org/10.20473/jhpr.vol.3-issue.2.88-94

Produk, N., 2024. Buffer solution pH 9 . 00 (25 GRAD C) Certipur ®. , pp.1–13.

PT.Smart-Lab Indonesia. (2017). Lembar Data Keselamatan Bahan Asam Sulfat. SmartLab, 1907, 316–328.

Rahmanulloh, A., & Wright, T. (2015). Indonesia Biofuels Annual Report 2015.

Sindhuwati, C., Mustain, A., Rosly, Y.O., Aprijaya, A.S., Mufid, M., Suryandari, A.S., Hardjono, H. and Rulianah, S., 2021. Review: Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol dengan Metode Fed Batch pada Proses Hidrolisis. Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan, 5(2), pp.128–144.

Sitompul, H., & Putra, D. R., 2016., Pengaruh Waktu Dan Konsentrasi Enzim Selulase Pada Proses Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Glukosa. Analit: Analytical And Environmental Chemistry, 1(1).

Smart-Lab. (2019). Lembar Data Keselamatan Bahan Sodium Hidroksida. Material Safety Data Sheet, 1907, 1–10.

Troncoso-Ortega, E., Valenzuela, R., Reyes-Contreras, P., Castaño-Rivera, P., Schiappacasse,

L.N. and Parra, C., 2023. Maximizing Bioethanol Production from Eucalyptus globulus Using Steam Explosion Pretreatment: A Multifactorial Design and Fermenter Development for High Solid Loads. Fermentation, 9(11).

USDA, 2022. Report Name : Biofuels Annual. Unites States Department of Agriculture Foreign Agriculture Service, 2022(May), p.24.

Warsito, J., Sabang, S. M., Mustapa, K. (2016). Pembuatan-Pupuk-Organik-Dari- Limbah-Tand.Pdf. Jurnal Akademika Kimia, 5(1), 8–15.

Zhang, H.D. and Wu, S. Bin, 2014. Impact of liquid hot water pretreatment on the structural changes of sugarcane bagasse biomass for sugar production. Applied Mechanics and Materials, 472(May 2014), pp.774–779.