

Pra-Desain Pabrik Bioetanol dari Bagasse

Endah Prasetyo Rini, Nur Aini Nadhifah, Ali Altway, dan Susianto
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: alimohad@chem-eng.its.ac.id; susianto@chem-eng.its.ac.id

Abstrak— Bioetanol merupakan suatu produk yang dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar yang berasal dari sumber alam. Salah satu bahan pembuatan bioetanol adalah bagasse. Bagasse merupakan sumber biomasa yang berasal dari limbah pabrik gula. Bagasse mengandung banyak selulosa dan sedikit lignin yang potensial untuk bahan pembuatan bioetanol. Kelebihan dari bioetanol yaitu aman digunakan sebagai bahan bakar, memiliki titik nyala tiga kali lebih tinggi dibandingkan bensin, dan emisi hidrokarbon sedikit. Pabrik bioetanol dari bagasse ini terdiri dari 3 proses utama yaitu: *Pre-Treatment* dimana dalam proses ini lignin akan dilarutkan dengan NaOH dan pemecahan selulosa menjadi glukosa dengan H₂SO₄, fermentasi untuk mengubah glukosa menjadi etanol, dan dehidrasi untuk memurnikan etanol. Pabrik ini beroperasi secara kontinyu 24 jam selama 330 hari dengan kapasitas produksi 96.792 kL/tahun. Analisa perhitungan ekonomi didapatkan IRR 18%/tahun, *Pay Out Time* (POT) 7,06 tahun, dan *Break Event Point* (BEP) 32,07%.

Kata Kunci—Bagasse, Bioetanol, Fermentasi

I. LATAR BELAKANG

SUMBER daya energi konvensional bahan bakar fosil (minyak/gas bumi dan batu bara) merupakan sumber energi yang tidak terbarukan. Sumber daya energi ini memiliki permasalahan seperti kenaikan harga (*price escalation*) secara global. Hal ini terjadi karena krisis energi yang disebabkan dari faktor-faktor seperti cadangan yang berkurang sesuai dengan umur eksploitasinya, permintaan yang meningkat, jaminan pasokan (*supply security*) yang terbatas dan pembatasan produksi. Untuk mengurangi adanya krisis energi tersebut maka digunakan sumber-sumber energi lainnya sebagai bahan bakar alternatif [1].

Saat ini sumber energi bahan bakar dari sumber alam sudah banyak dikembangkan, salah satunya adalah bioetanol. Indonesia sebagai negara yang kaya dengan sumber daya alam memiliki kesempatan yang luas untuk pengembangan bioetanol ini untuk menggantikan sumber energi fosil yang semakin sedikit. Pemerintah mendukung adanya pengembangan bioetanol ini dengan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti BBM.

Bioetanol pada dasarnya merupakan etanol yang diproduksi dari biomassa. Bioetanol dapat dengan mudah diproduksi dari bahan bergula, berpati dan berserat. Tumbuhan yang potensial untuk menghasilkan bioetanol adalah tanaman yang memiliki kadar gula dan karbohidrat tinggi, seperti: tebu, nira, sorgum, ubi kayu, garut, ubi jalar, sagu, jagung, pisang, jerami, bonggol jagung, dan kayu.

Pemakaian bioetanol sebagai bahan bakar dapat dicampur dengan bensin dengan berbagai komposisi. Pemakaiannya memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan pemakaian bioetanol adalah bioetanol aman digunakan sebagai bahan

Tabel 1.
Komposisi Bagasse

Komponen	% Komposisi
Glukan	83,72
Xylan	5,40
Lignin	2,88
Arabinan	0,55

Tabel 2.
Kapasitas Produksi PG Kediri

Nama Pabrik	Kapasitas Produksi Tebu digiling (ton/hari)
PG Meritjan	2850
PG Pesantren Baru	6250
PG Ngadirejo	6250
Total	15350

bakar, titik nyala ethanol tiga kali lebih tinggi dibandingkan bensin dan emisi hidrokarbon lebih sedikit. Sedangkan kekurangan-kekurangan bioetanol dibandingkan bensin yaitu pada mesin dingin lebih sulit melakukan *starter* bila menggunakan bioetanol dan bioetanol bereaksi dengan logam seperti magnesium dan aluminium [1].

Sebagai negara yang luas pertanian dan perkebunannya, Indonesia kaya dengan bahan baku untuk pembuatan bioetanol. Bahan baku bioetanol dapat diambil dari :

1. Bahan dengan kandungan glukosa tinggi seperti tebu dan sisa produknya (molase, bagasse), gula bit, tapioka, kentang manis, sorgum manis.
2. Bahan dengan kandungan pati tinggi (*starchy materials*) diantaranya ubi kayu, jagung, sorgum biji, sagu, tapioka, maizena, barley, gandum, padi, dan kentang.
3. Bahan lignoselulosa terdapat di berbagai sumber selulosa dan lignoselulosa yakni limbah seperti serat kayu, sekam padi, jerami, tongkol jagung serta limbah domestik berupa sampah organik.

Bagasse tebu (*Saccharum officinarum*, L) merupakan sumber biomasa potensial untuk produksi bioetanol. Bagasse mengandung banyak selulosa dan sedikit lignin, selain itu bagasse tebu adalah limbah pabrik gula sehingga murah dan selalu tersedia. Bagasse tebu adalah padatan sisa dari proses ekstraksi cairan tebu. Bagasse tebu kini dibakar di boiler untuk pembangkitan steam dan listrik. Teknologi yang baik untuk membangkitkan dan mengoptimalkan proses produksi etanol memberikan nilai surplus ampas yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar untuk pembangkitan listrik atau bahan baku bioetanol dan produk berbasis bio lainnya. Komposisi bagasse disajikan pada Tabel 1[2].

I. BASIS DESAIN DATA

A. Kapasitas Produksi

Lokasi pabrik berencana berada di Kediri, Jawa Timur sehingga potensi bahan baku dapat diperoleh dari 3 Pabrik Gula anak perusahaan PTPN X. Berikut data kapasitas produksi tebu digiling di 3 PG tersebut [3]:

Berdasarkan data diatas, total tebu digiling di Kediri sebesar 15.350 ton/hari atau sebesar 1.826.650 ton/tahun. Potensi bagasse yang dihasilkan dari tebu digiling adalah sebesar 32% [4]. Sehingga banyaknya bagasse tebu yang akan dihasilkan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah bagasse} &= 32\% \times \text{tebu digiling} \\ &= 0,32 \times 1.826.650 \text{ ton/tahun} \\ &= 584.528 \text{ ton/tahun} \\ &= 1.771,297 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

Dari total bagasse yang dihasilkan, 1 ton bagasse dapat menghasilkan etanol sebanyak 210 liter [4]. Maka secara teoritis, potensi kapasitas etanol yang dapat diproduksi dari 1771,297 ton/hari bagasse adalah sebesar 96.792 kL/tahun.

B. Lokasi Pabrik

Letak geografis suatu pabrik mempunyai pengaruh besar terhadap kelangsungan atau keberhasilan pabrik tersebut. Karena itu penentuan lokasi pabrik yang akan didirikan sangat penting dalam perencanaannya. Lokasi pabrik yang tepat, ekonomis dan menguntungkan, harga produk yang semurah mungkin dengan keuntungan yang sebesar mungkin. Idealnya lokasi yang akan dipilih harus dapat memberikan keuntungan jangka panjang baik untuk perusahaan maupun warga sekitar, serta dapat memberikan kemungkinan untuk memperluas atau menambah kapasitas pabrik tersebut.

Pada pemilihan lokasi pendirian pabrik bioetanol ini, telah dilakukan pertimbangan yang diantaranya adalah ketersediaan bahan baku, lokasi pemasaran, sumber energi listrik dan air, sumber tenaga kerja, dan aksesibilitas fasilitas transportasi.

Berdasarkan pertimbangan dari beberapa faktor diatas, lokasi pabrik bioetanol ini akan dibangun di Kabupaten Kediri, Provinsi Jawa Timur. Dimana salah satu pertimbangan utama pemilihan lokasi ini adalah ketersediaan bahan baku.

II. SELEKSI PROSES

Bahan baku pembuatan bioetanol adalah bagasse yang kemudian melewati beberapa proses yaitu: *pre-treatment*, fermentasi, dan dehidrasi untuk mendapatkan komposisi yang diinginkan.

A. Pre-Treatment

Proses *pre-treatment* berfungsi untuk melarutkan lignin dan merusak struktur kristal selulosa agar pengkonversianya menjadi glukosa dapat dilakukan dengan mudah. Bagian pretreatment yang paling penting adalah hidrolisis yang merupakan proses pemecahan selulosa sebagai polimer karbohidrat menjadi gula monomerik.

Berdasarkan tabel diatas[5] dapat dilihat bahwa metode *dilute acid hydrolysis* yang paling menguntungkan karena dapat menghasilkan persen konversi *xylose* yang paling besar, waktu reaksi tidak terlalu lama yaitu 2-10 menit dan harga relatif lebih rendah dibandingkan metode yang lain.

Tabel 3.
Seleksi Proses *Pre-Treatment*

Metode	Reaction Time (min)	%Yield
<i>Dilute Acid Hydrolysis</i>	10-Feb	75-90
<i>Alkaline Hydrolysis</i>	-	60-75
<i>Steam Explosion</i>	2	45-65

Tabel 4.
Seleksi Bakteri Fermentasi

Jenis Bakteri	Yield	Suhu	pH
<i>Zymomonas mobilis</i>	97%	30-37°C	3,5-7,5
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	90-92%	30-40°C	5-Apr

Oleh karena itu, metode *dilute acid hydrolysis* dipilih sebagai metode dalam proses *pre-treatment*.

B. Fermentasi

Fermentasi merupakan proses biokimia dan tahap paling kritis dalam produksi etanol, di mana mikroorganisme yang berperan dalam fermentasi akan menghasilkan enzim yang mampu mengkonversi substrat menjadi etanol. Substrat yang digunakan adalah bahan bergula dengan enam atom C. Faktor utama yang berpengaruh terhadap yield produk dan efisiensi fermentasi meliputi kondisi fisik inoculum, faktor lingkungan selama fermentasi, dan mutu substrat. Kondisi fisik inoculum sesuai dengan kondisi pertumbuhan optimal mikroba spesifik yang digunakan. Kondisi lingkungan yang banyak berpengaruh adalah pH, suhu, kapasitas buffer, kontaminan, konsentrasi substrat, kandungan alkohol, jenis khamir, suplai oksigen dan agitasi. Seleksi bakteri untuk proses fermentasi dapat dilihat pada tabel berikut [6],[7],[8],[9]:

Dengan pertimbangan besarnya yield yang dihasilkan, range pH serta temperatur maka dipilihlah bakteri *Zymomonas mobilis*.

III. URAIAN PROSES

Proses pembuatan etanol dari bagasse dengan proses fermentasi dibagi menjadi tiga tahap yaitu tahap *pre-treatment* dan hidrolisa, tahap fermentasi, dan tahap purnian.

A. Tahap Pre-Treatment

Tahap persiapan terdiri dari 2 tahap persiapan secara fisika dan kimia. Tahap persiapan secara fisika ialah bahan baku bagasse tebu perlu dicacah secara mekanik atau digiling guna memperkecil dan memperhalus ukuran serta dapat mengurangi kristalinitas selulosa [4]. Pabrik menerima bahan baku yaitu bagasse dari kumpulan truk-truk pengangkut bagasse. Bagasse ini rata-rata mengandung air sebesar 50%. Kemudian bagasse ditransportasikan menggunakan belt conveyor (J-112) dimasukkan ke dalam pencacah bagasse yaitu rotary knife cutter (S-113) dengan tujuan memperkecil ukuran bagasse hingga menjadi 1,22 mm.

Selanjutnya bagasse dibawa menggunakan belt close conveyor (J-114) menuju tangki delignifikator (R-110). Pada delignifikator (R-110) akan terjadi proses pemecahan lignin dalam bagasse tebu sehingga selulosa yang terhalang lignin dapat keluar. NaOH 1% dicampur dengan air di dalam tangki Mixing I (M-115). Kemudian larutan NaOH tersebut dicampurkan ke dalam tangki delignifikator (R-110) dengan temperature 80 °C tekanan 1 atm. Kemudian slurry akan

Tabel 5.
Reaksi pada *Dilute Acid Prehidrolisis*

Reaksi	Reaktan	Konversi
$(\text{Glucan})_n + n \text{H}_2\text{O} \rightarrow n \text{Glucose}$	Glucan	0,12
$(\text{Glucan})_n + n \text{H}_2\text{O} \rightarrow n \text{Cellobiose}$	Glucan	0,003
$(\text{Xylan})_n + n \text{H}_2\text{O} \rightarrow n \text{Xylose}$	Xylan	0,9
$(\text{Xylan})_n \rightarrow n \text{Furfural} + 2n \text{H}_2\text{O}$	Xylan	0,05
$(\text{Arabinan})_n + n \text{H}_2\text{O} \rightarrow n \text{Arabinose}$	Arabinan	0,9
$(\text{Arabinan})_n \rightarrow n \text{Furfural} + 2n \text{H}_2\text{O}$	Arabinan	0,05

Tabel 6.
Reaksi pada Proses Hidrolisis

Reaksi	Reaktan	Konversi
$(\text{Glucan})_n + n \text{H}_2\text{O} \rightarrow n \text{Glucose}$	Glucan	0,9
$(\text{Glucan})_n + 1/2n \text{H}_2\text{O} \rightarrow 1/2n \text{Cellobiose}$	Glucan	0,012
$\text{Cellobiose} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Glucose}$	Cellobiose	1,00

keluar dalam bentuk slurry menuju *rotary vacuum filter* (H-112) [10].

B. Tahap Hidrolisa

Slurry yang telah keluar dipisahkan antara solid dan liquid-nya masuk ke *Rotary Vacuum Filter* (H-112). Cake yang dihasilkan dialirkan dengan *Screw Conveyor* (J-123) dibawa ke Tangki Hidrolisa (R-120). Pada tangki hidrolisa (R-120) terjadi proses hidrolisis yaitu dengan menambahkan asam sulfat (H_2SO_4) encer pada suhu 120°C tekanan 1 atm. Asam Sulfat yang digunakan pada proses hidrolisis berasal dari proses pengenceran asam sulfat pekat 98% dengan *water process* pada Tangki Mixing II (M-124) sehingga konsentrasi asam sulfat sebesar 2% [11]. *Hydrolysate* yang terbentuk memiliki pH 1-2 dialirkan ke Tangki Mixing III (M-212) dengan tujuan mengatur pH untuk memudahkan proses fermentasi. Untuk mengatur pH dan menjaga pH dalam rentang 3,5-7,5 [8] ditambahkan natrium hidroksida (NaOH) ke dalam Tangki Mixing III (M-212) [12]. Reaksi *dilute acid prehidrolisis* dan proses hidrolisis dapat dilihat pada tabel berikut [13].

C. Tahap Fermentasi

Setelah dari Tangki Mixing III (M-212), proses dilanjutkan dengan tangki starter (R-215) sebagai tahap perkembangan *Zymomonas mobilis* sebagai starter untuk proses fermentasi. Pada proses ini ada penambahan nutrient. Nutrient yang digunakan adalah *corn steep liquor* (CSL) dan diammonium phospat. Penambahan nutrien akan memenuhi kebutuhan unsur nitrogen dan fosfat pada *Zymomonas mobilis*. Pada tangki starter (R-215) ini dimaksudkan untuk membiakkan bakteri *Zymomonas mobilis*.

Kemudian inokulum bakteri *Zymomonas mobilis* yang terbentuk dari tangki starter dimasukkan ke dalam Tangki Fermentasi (R-210). Tangki fermentasi (R-210) beroperasi pada suhu 37°C yang dilengkapi dengan *external cooler* untuk menjaga suhu dan dilengkapi dengan pengaduk. Selanjutnya glukosa yang terbentuk diubah menjadi etanol oleh bakteri *Zymomonas mobilis*. Hasil fermentasi mengandung alkohol sebesar 7% volume [14]. Reaksi pada proses fermentasi dapat dilihat pada tabel berikut [13]:

Tabel 7.
Reaksi pada Proses Fermentasi

Reaksi	Reaktan	Konversi
$\text{Glucose} \rightarrow 2 \text{ etanol} + 2 \text{CO}_2$	Glucose	0,9
$\text{Glucose} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ Glycerol} + \text{O}_2$	Glucose	0,004
$\text{Glucose} + 2 \text{CO}_2 \rightarrow 2 \text{ Succinic Acid} + \text{O}_2$	Glucose	0,006
$\text{Glucose} \rightarrow 2 \text{ Lactic Acid}$	Glucose	0,003
$\text{Xylose} \rightarrow 5/3 \text{ Etanol} + 5/3 \text{CO}_2$	Xylose	0,8
$\text{Xylose} + 5/3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 5 \text{ Glycerol} + 2,5 \text{O}_2$	Xylose	0,003
$\text{Xylose} + 5/3 \text{CO}_2 \rightarrow 5/3 \text{ Succinic Acid} + 2,5/3 \text{O}_2$	Xylose	0,009
$\text{Xylose} \rightarrow 5/3 \text{ Lactic Acid}$	Xylose	0,003
$3 \text{ Arabinose} \rightarrow 5 \text{ Lactic Acid}$	Arabinose	0,003

D. Tahap Pemurnian

Setelah proses fermentasi, alkohol yang terbentuk harus memasuki tahap pemurnian untuk mendapatkan etanol dengan tingkat kemurnian tinggi. Proses pemurnian etanol dibagi menjadi 4 proses yaitu filtrasi, evaporasi, dan adsorpsi.

1) Proses Filtrasi

Proses filtrasi ini bertujuan untuk menghilangkan padatan-padatan yang terkandung pada produk fermentasi. Proses ini menggunakan *rotary vacuum filter* (H-310) yang beroperasi pada temperatur 30°C . Dari tangki netralisasi (R-314) slurry dialirkan ke *rotary vacuum filter* (H-310) menggunakan pompa (L-316). Keluaran dari filter berupa *liquid* yang selanjutnya dipompa masuk ke evaporator (V-320).

2) Proses Evaporasi

Proses evaporasi ini bertujuan untuk menguapkan etanol dari air untuk pemurnian yang lebih lanjut. Evaporator (V-320) yang digunakan adalah *short tube evaporator*. Selain itu evaporator jenis ini cocok menggunakan *single-effect* [15]. Evaporator jenis ini juga sudah diterapkan untuk pembuatan etanol di beberapa perusahaan etanol di Indonesia. Pada evaporator ini, produk etanol berupa uap yang dikeluarkan sebesar 96,5% sesuai dengan titik azeotrop sistem etanol-air. Suhu evaporator (V-320) yang digunakan adalah $79,53^\circ\text{C}$. Sedangkan sisa glukosa, xylose, dan arabinosa akan dikeluarkan ke pengolahan limbah karena memiliki titik didih yang lebih tinggi dari suhu operasi evaporator.

3) Proses Adsorpsi

Setelah proses evaporasi, etanol masih mengandung impurities seperti air perlu dilakukan dehidrasi etanol untuk menghasilkan etanol dengan konsentrasi 99,5%. Menurut buku *Ethanol: Science and Engineering* [16], dehidrasi etanol untuk menghilangkan kandungan airnya dapat dilakukan dengan metode distilasi azeotrop, ekstraksi dengan membran, dan adsorpsi dengan *molecular sieve*. Pada pra-desain pabrik ini digunakan adsorpsi dengan *molecular sieve*. Proses ini dapat menghilangkan air hingga kadar etanol menjadi 99,5% dan dihasilkan etanol absolute (murni). Adsorpsi dengan *molecular sieve* adalah teknik dehidrasi etanol yang paling baik dan menguntungkan [17]. Keunggulan dehidrasi etanol dengan menggunakan *molecular sieve* antara lain:

- 1) memiliki proses yang sederhana;
- 2) tidak menggunakan bahan kimia tambahan yang memerlukan penanganan tertentu;
- 3) memiliki umur simpan yang lama (lebih dari 5 tahun);
- 4) dapat diatur sebagai sistem yang berdiri sendiri [17].

Tabel 8.
Ringkasan Hasil Analisa Ekonomi Pabrik Bioetanol dari Bagasse

No	Keterangan	Unit	Jumlah
1	Total Capital Investment (TCI)	Rupiah	2.750.202.186.976
2	Total Production Cost	Rupiah	623.024.712.465
3	Interest	% / Tahun	6,25
4	NPV 10 Year	Rupiah	2.884.467.057.744
5	Internal Rate Return	% / Tahun	18
6	Pay Out Time	Tahun	7,06
7	BEP	% kapasitas produksi/ Tahun	32,07
8	Harga Bagasse	Rupiah / kg	1000
9	Harga Etanol 99,5% v/v	Rupiah / L	13500
10	Project Life	Tahun	10
11	Construction Periode	Tahun	2
12	Operation	Hari/ Tahun	330

Berikut kemampuan pada beberapa ukuran *molecular sieve* [17]:

- 1) 3A (pori ukuran 3A) : mengadsorpsi NH_3 , H_2O , bukan (C_2H_6), bagus untuk pengeringan *liquid polar*.
- 2) 4A (pori ukuran 4A) : mengadsorpsi H_2O , CO_2 , SO_2 , H_2S , C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_6 , etanol. Tidak mengadsorpsi C_3H_8 dan *higher hydrocarbon*. Baik untuk pengeringan *liquid* dan gas nonpolar.
- 3) 5A (pori ukuran 5A) : normalnya mengadsorpsi linier hidrokarbon ke n- C_4H_{10} , alkohol ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$), mercaptan ($\text{C}_4\text{H}_9\text{SH}$).
- 4) 10X (pori ukuran 8A) : mengadsorpsi cabang hidrokarbon dan senyawa aromatik. Digunakan untuk pengeringan gas
- 5) 13X (pori ukuran 10A) : mengadsorpsi di-n-butylamine. Digunakan untuk pengeringan HMPA.

Molecular sieve yang dapat digunakan adalah tipe zeolit dengan ukuran pori 3A karena ukuran ini dapat efektif menyerap molekul air yang berukuran 2,8A dan tidak dapat menangkap molekul etanol yang berukuran 4,4A [17].

Hasil keluaran evaporasi dialirkan ke *superheater* (E-342). Fungsi *superheater* adalah untuk memanaskan uap dari temperatur 79,53°C menjadi 120°C yang akan diumpankan ke unit *molecular sieve* [17].

Uap etanol bertekanan dan bersuhu tinggi tersebut masuk ke Unit *Molecular Sieve* (D-340). Proses dalam unit ini terdiri dari 3 *bed adsorber* yang diisi dengan zeolit *molecular sieve* berukuran 3A. Aliran uap etanol-air mengalir terus melewati *bed*. Zeolit berukuran 3A ini akan menangkap molekul air yang berukuran 2,8A, terperangkap di dalam zeolit, dan memisahkannya dari campuran etanol-air. Sedangkan molekul etanol tidak akan terserap zeolit karena etanol memiliki ukuran 4,4A [17]. Molekul air yang terperangkap dan melekat pada adsorben disebut *adsorbate* sedangkan yang tidak melekat disebut *adsorptive*. Mekanisme adsorpsi terbagi menjadi 4 tahap yaitu:

- 1) Transfer massa molekul-molekul air (*adsorbate*) menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben
- 2) Difusi *adsorbate* melalui lapisan film (*film diffusion*)
- 3) Difusi *adsorbate* melalui pori-pori dalam adsorben (*pore diffusion*)
- 4) Menempelnya *adsorbate* pada permukaan dinding dalam adsorben

Etanol yang keluar dari Unit *Molecular Sieve* (D-340) merupakan etanol hidrat (etanol 99,5%). Etanol 99,5 % ini

sebelum masuk ke tangki penyimpanan, didinginkan dengan kondensor untuk mengubah fase dari etanol uap menjadi etanol liquid dengan suhu yang masih cukup tinggi, sekitar 30oC. Selanjutnya etanol ditampung pada tangki penampung [17].

Unit *Molecular Sieve* (D-340) beroperasi selama 8 jam, sehingga setelah 8 jam lebih maka Unit *Molecular Sieve* (D-340) ini mengalami keadaan jenuh dengan air sehingga perlu diregenerasi. Regenerasi dari Unit *Molecular Sieve* ini menggunakan udara kering (*dry air*) di dalam kolom adsorber yang lain [17]. Proses regenerasi dilakukan dengan menutup aliran ke kolom yang sudah jenuh dan mengalihkan aliran tersebut ke kolom *standby*. Untuk selanjutnya kolom yang sudah jenuh dibuka katupnya agar tekanannya turun menuju tekanan atmosfer sehingga gas pengotor yaitu H_2O yang tertangkap dapat terlepas kembali [18].

IV. NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI

A. Neraca Massa

Untuk membuat pabrik Bioetanol dari Bagasse dengan kapasitas 96.972 kL/tahun ini diperlukan bahan baku bagasse tebu sebesar 584.528 ton/tahun.

B. Neraca Energi

Dalam memproduksi bioetanol dengan kapasitas 96.972 kL/tahun ini diperlukan steam 89.914,75 kg/jam, dan air pendingin 1.519.984,61 kg/jam.

V. ANALISA EKONOMI

Analisa Ekonomi dimaksudkan untuk dapat mengetahui apakah suatu pabrik yang direncanakan layak didirikan atau tidak. Pada pra desain pabrik bioetanol dari bagasse ini dilakukan evaluasi atau studi kelayakan dan penilaian investasi.

Faktor-faktor yang perlu ditinjau untuk memutuskan hal ini adalah [19] :

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

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

Pada pabrik Bioetanol dari Bagasse ini memiliki laju bunga (harga i) sebesar 18%. Harga i yang diperoleh lebih besar dari harga i untuk bunga pinjaman yaitu 6,25% per tahun. Dengan harga i=18% yang didapatkan dari perhitungan menunjukkan bahwa pabrik ini layak didirikan dengan kondisi tingkat bunga pinjaman 6,25% per tahun.

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

Pada pabrik Bioetanol dari Bagasse ini memiliki waktu pengembalian modal minimum adalah 7,06 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan karena POT yang didapatkan lebih kecil dari perkiraan usia pabrik.

E. Titik Impas (*Break Even Point*)

Analisa titik impas digunakan untuk mengetahui besarnya kapasitas produksi dimana biaya produksi total sama dengan hasil penjualan. Biaya tetap (FC) dan Biaya variabel (VC), Biaya semi variabel (SVC) dan biaya total tidak dipengaruhi

oleh kapasitas produksi. Dari perhitungan analisa ekonomi yang telah dilakukan, didapatkan bahwa Titik Impas (BEP) dari Pabrik Bioetanol dari Bagasse sebesar 32,07% kapasitas. Ringkasan analisa ekonomi dari Pabrik Bioetanol dari Bagasse dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

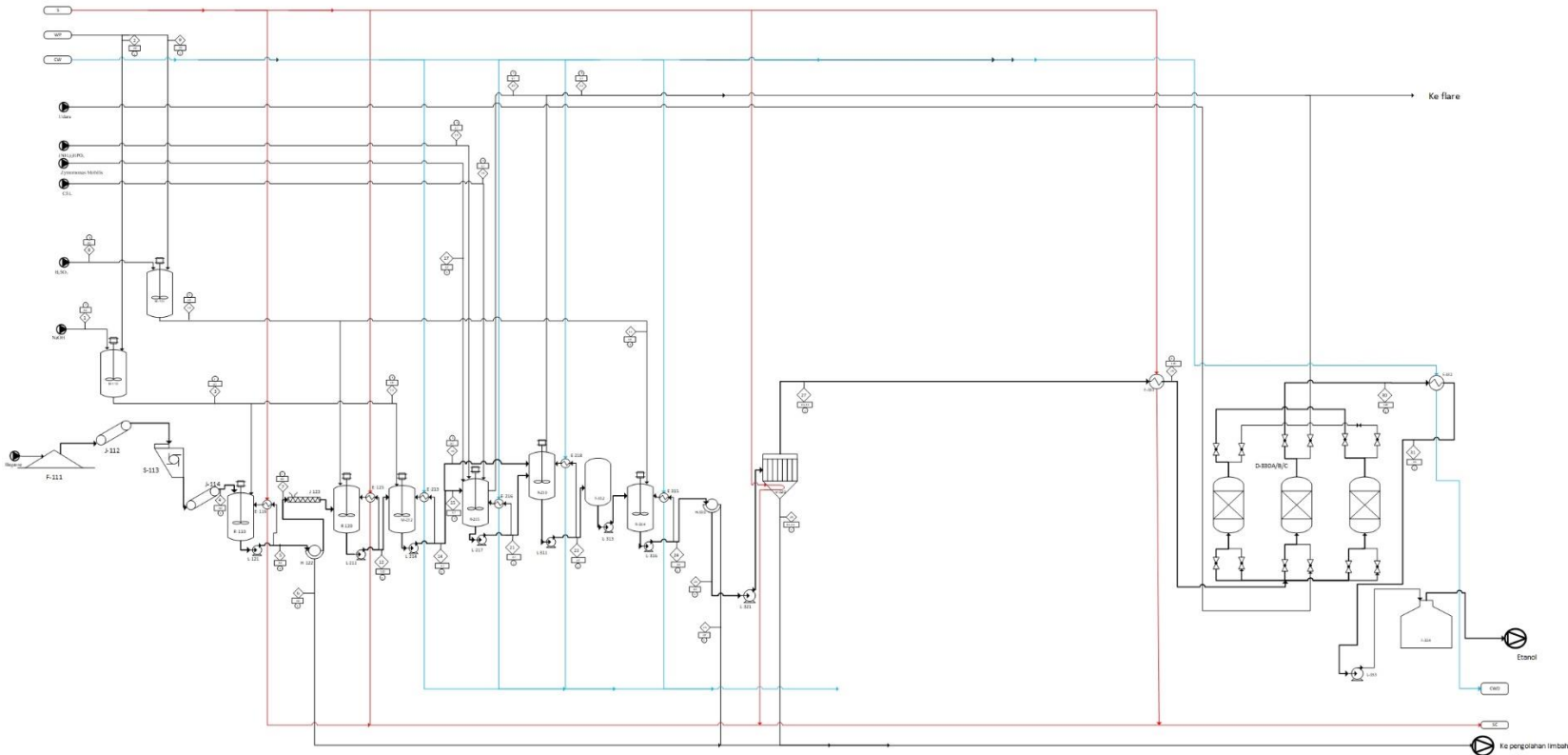
VI. KESIMPULAN

Melalui perhitungan pada neraca massa, Produk Bioetanol yang diproses dari bahan baku bagasse sudah memenuhi spesifikasi bioetanol di pasaran. Dengan estimasi umur pabrik selama 10 tahun, didapatkan perhitungan IRR 18% yang sudah melebihi suku bunga bank sebesar 6,25%, POT 7,06 tahun, dan BEP 32,07%. Dari estimasi proses dan ekonomi tersebut, pabrik Bioetanol dari Bagasse ini layak didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Wusnah, S. Bahri, and D. Hartono, "Proses Pembuatan Bioetanol dari Kulit Pisang Kepok (*Musa Acuminata* B.C) secara Fermentasi," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 5, no. 1, p. 57, Nov. 2017, doi: 10.29103/jtku.v5i1.79.
- [2] B. P. Euis Hermiati, Djumali Mangunwidjaja, Titi Candra Sunarti, Ono Suparno, "Pemanfaatan Biomassa Lignoselulosa Ampas Tebu untuk Produksi Bioetanol," *J. Penelit. dan Pengemb. Pertan.*, vol. 29, no. 4, pp. 121–130, 2017, doi: 10.21082/jp3.v29n4.2010.p121-130.
- [3] PT. Perkebunan Nusantara (Persero), "PTPN X," 2016. [Online]. Available: <http://ptpn10.co.id/>. [Accessed: 29-Jan-2020].
- [4] E. Erawati, W. B. Sediawan, and P. Mulyono, "Karakteristik Bio-Oil Hasil Pirolisis Ampas Tebu (Bagasse)," 2013.
- [5] C. N. Hamelinck, G. Van Hooijdonk, and A. P. C. Faaij, "Ethanol from Lignocellulosic Biomass: Techno-Economic Performance in Short-, Middle- and Long-Term," *Biomass and Bioenergy*, vol. 28, no. 4, pp. 384–410, 2005, doi: 10.1016/j.biombioe.2004.09.002.
- [6] T. W. Jeffries, "Ethanol Fermentation on The Move," *Nature Biotechnology*, vol. 23, no. 1, pp. 40–41, 2005, doi: 10.1038/nbt0105-40.
- [7] A. Tangri, "Effect of Temperature on Ethanol Production from Sucrose by Bacteria *Zymomonas Mobilis*," 2009.
- [8] M. Kusumaningati, M. A. Kusumaningati, S. Nurhatika, and A. Muhibuddin, "Pengaruh Konsentrasi Inokulum Bakteri *Zymomonas mobilis* dan Lama Fermentasi Pada Produksi Etanol dari Sampah Sayur dan Buah Pasar Wonokromo Surabaya," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 2, no. 2, pp. E218–E223, Sep. 2013, doi: 10.12962/j23373520.v2i2.4298.
- [9] M. Chauhan, "Bioethanol Production Using *Saccharomyces Cerevisiae* with Different Perspectives: Substrates, Growth Variables, Inhibitor Reduction and Immobilization," 2016, doi: 10.4172/2167-7972.1000131.
- [10] S. G. Karp, A. L. Woiciechowski, V. T. Soccol, and C. R. Soccol, "Pretreatment Strategies for Delignification of Sugarcane Bagasse: A Review," *Brazilian Arch. Biol. Technol.*, vol. 56, no. 4, pp. 679–689, 2013, doi: 10.1590/S1516-89132013000400019.
- [11] C. E. Wyman, *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*. 1996.
- [12] R. Timung, N. Naik Deshavath, V. V. Goud, and V. V. Dasu, "Effect of Subsequent Dilute Acid and Enzymatic Hydrolysis on Reducing Sugar Production from Sugarcane Bagasse and Spent Citronella Biomass," *J. Energy*, vol. 2016, pp. 1–12, 2016, doi: 10.1155/2016/8506214.
- [13] G. A. Muhlis, G. A. Muhlis, N. F. Lestari, and J. P. Sutikno, "Studi Awal Desain Pabrik Bioetanol dari Corn Stover," *J. Tek. ITS*, vol. 4, no. 2, pp. F149–F152, Feb. 2016, doi: 10.12962/j23373539.v4i2.9736.
- [14] R. N. (Randolph N. Shreve and G. T. Austin, *Shreve's Chemical Process Industries*. McGraw-Hill, 1984.
- [15] G. Ulrich, "A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics," 1984.
- [16] A. Basile, Adolfo L., Francesco D., and T. Nejat V, *Ethanol: Science and Engineering*. 2009.
- [17] D. Setyaningsih, dan Hery Haerudin, and D. Pertamina Pulo Gadung Email, "Modifikasi Zeolit Alam sebagai Material Molekular Sieve pada Proses Dehidrasi Bioetanol," 2009.
- [18] S. Sriyono, A. M. Hilda, and M. Kamayani, "Pemodelan dan Simulasi Proses Adsorpsi Gas Pengotor oleh Molecular Sieve pada Pendingin Rde dengan Software Chemcad," *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, vol. 3, p. 69, Jan. 2019, doi: 10.22236/teknoka.v3i0.2918.
- [19] Kusnarjo, *Ekonomi Teknik*. Surabaya, 2010.

Process Flow Diagram Pabrik Bioetanol dari Bagasse



KETERANGAN			
ALIRAN PROSES		ALIRAN PROSES	
	Feed		Steam
	Produk		Water Process
	Nomor Aliran		Cooling Water
	Temperatur (C)		Steam Condensate
	Tekanan (atm)		Cooling Water Discharge
	S		WP
	E		CW
	V		SC
	L		CWD
	H		
	R		
	M		
	J		
	D		
	F		
	P		
	S		
	WP		
	CW		
	SC		
	CWD		
36	L-341	Ethanol Storage Tank	1
35	E-333	Pompa Etanol	1
34	E-332	Condenser	1
33	D-330 a/b/c	Molecular Sieve	1
32	E-331	Superheater	1
31	V-320	Evaporator	1
30	L-321	Pompa Filtrat	1
29	H-310	Rotary Vacuum Filter	8
28	L-316	Pompa Slurry	1
27	E-315	External Cooler Tangki Netralisasi	1
26	R-314	Tangki Netralisasi	1
25	L-311	Pompa Slurry	1
24	F-312	Fermentation Storage Tank	1
23	L-311	Pompa Slurry	1
22	E-218	External Cooler Tangki Fermentasi	1
21	R-210	Tangki Fermentasi	34
20	L-217	Pompa Slurry	1
19	E-216	External Cooler Tangki Starter	1
18	R-215	Tangki Starter	5
17	L-214	Pompa Slurry	1
16	E-213	External Cooler Tangki Mixing III	1
15	M-212	Tangki Mixing III	1
14	L-211	Pompa Slurry	1
13	E-125	External Heater Hidrolisa	1
12	R-120	Tangki Hidrolisa	1
11	M-124	Tangki Mixing II	1
10	J-123	Screw Conveyor	1
9	H-122	Rotary Vacuum Filter	17
8	L-121	Pompa Slurry	1
7	E-116	External Heater Deignifikator	1
6	R-110	Tangki Deignifikator	1
5	M-115	Tangki Mixing I	1
4	J-114	Belt Closed Conveyor	1
3	S-113	Rotary Knife Cutter	13
2	J-112	Belt Close Conveyor	1
1	F-111	Bagasse Storage	1
No.	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah
Process Flow Diagram :			
PRA DESAIN PABRIK BIOETHANOL DARI BAGASSE			
Digambar oleh :			
Endah Prasetyo Rini	NRP 0221154000045		
Nur Aini Nadiafah	NRP 0221154000070		
Diperiksa oleh :			
Prof. Dr. Ir. Ali Alhway, M.Sc			
Dr. Ir. Susanto, DEA			
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA			
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI			
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER			
SURABAYA			
2019			