

Pra-Desain Pabrik Bioetanol dari Jerami Padi

Sholihatin Anggita, Kevin Rahmadi Sabar, Sri Rachmania Juliastuti, dan Nuniek Hendrianie
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: kevinrach29@gmail.com

Abstrak—Bioetanol pada dasarnya merupakan etanol yang diproduksi dari biomassa. Bioetanol mudah untuk diproduksi dari bahan bergula, berpati dan berserat. Salah satu bahan pembuatan bioetanol adalah jerami padi. Jerami padi merupakan sumber biomassa yang mengandung banyak selulosa dan sedikit lignin, berpotensi sebagai bahan pembuatan bioetanol. Beberapa kelebihan dari bioetanol yaitu memiliki titik nyala yang lebih tinggi dibanding bensin, emisi hidrokarbon sedikit sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar yang aman. Proses pembuatan bioetanol dari jerami padi dengan proses fermentasi dibagi menjadi tiga tahap yaitu Pre-Treatment dimana dalam proses ini lignin akan dilarutkan dengan NaOH 1% dan lignoselulosa dengan H₂SO₄, selanjutnya tahap *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) dimana proses hidrolisis dan fermentasi terjadi pada satu reaktor, enzim dan mikroorganisme disatukan, sehingga glukosa akan dengan cepat diubah menjadi etanol, dan terakhir distilasi untuk memurnikan etanol. Pabrik ini beroperasi secara kontinyu 24 jam selama 330 hari dengan kapasitas produksi 20.978 kL/tahun. Analisa perhitungan ekonomi didapatkan IRR 19,05%/tahun, Pay Out Time (POT) 5,02 tahun, dan Break Event Point (BEP) 27 %.

Kata Kunci—Bioetanol, Biomassa, Fermentasi, Jerami Padi, Lignoselulosa.

I. PENDAHULUAN

PENGGUNAAN bahan bakar fosil yang terus meningkat dan tidak dapat diperbaharui menyebabkan jumlahnya semakin lama semakin berkurang. Bahan bakar fosil mempunyai dampak negatif terhadap lingkungan karena dapat meningkatkan polusi udara, sehingga diperlukan solusi penyediaan bahan bakar alternatif renewable yang ramah lingkungan yaitu biofuel [1].

Indonesia merupakan salah satu negara produsen tertua minyak dunia, jumlah cadangan minyaknya saat ini hanya sekitar 0,20% dari cadangan minyak dunia. Indonesia sendiri lebih banyak memproduksi minyak bumi dibandingkan menemukan cadangan minyak. Hal ini dapat dilihat dari laju penemuan cadangan dibandingkan dengan produksi atau Reserve to production ratio (RRR) Indonesia yang bernilai sekitar 55% [2].

Bioetanol diatur berdasarkan Peraturan Menteri ESDM 25 Tahun 2013 tentang Penyediaan, Pemanfaatan dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati sebagai Bahan Bakar Lain, dimana telah diatur kewajiban untuk melakukan blending BBM dengan biofuel, yaitu biodiesel dan bioetanol. Pemerintah telah menetapkan pemanfaatan BBN pada tiga sektor, yaitu sektor transportasi Public Service Obligation (PSO) atau BBM bersubsidi, sektor transportasi non-PSO (BBM nonsubsidi), dan sektor industri serta komersial.

Bioetanol merupakan etanol yang diproduksi dari biomassa. Bioetanol dapat dengan mudah diproduksi dari berbagai bahan yang bergula, berpati dan berserat. Sebagai negara agraris, dimana sektor pertanian Indonesia cukup luas,

Tabel 1.
Komposisi jerami padi

Komponen	Komposisi (%)
Glucan	35,7
Xylan	21,3
Arabinan	4,5
Lignin	26,2
Air	6
Abu	6,3
Total	100

Tabel 2.
Luas lahan panen dan produksi padi di Indonesia

Tahun	Luas Panen (ha)	Produksi (Juta Ton)
2014	13,797	70,846
2015	14,117	75,398
2016	15,156	79,355
2017	15,712	81,149
2018	11,38	59,2

Indonesia memiliki potensi cukup besar dalam perkembangan industri bioetanol dikarenakan kaya dengan bahan baku untuk pembuatan bioethanol. Bahan baku bioetanol seperti berikut:

1. Bahan dengan kandungan glukosa tinggi seperti tebu dan sisa produknya (molase, bagasse), kentang manis, dan sorgum manis.
2. Bahan dengan kandungan pati tinggi diantaranya ubi kayu, jagung, sagu, gandum, padi, dan kentang.
3. Bahan lignoselulosa yang terdapat di limbah seperti serat kayu, sekam padi, Jerami padi, tongkol jagung serta limbah domestik berupa sampah organik.

Jerami padi merupakan biomassa dengan kandungan selulosa terbesar, di samping hemiselulosa dan lignin yang ada dalam jumlah yang lebih kecil. Jerami padi mengandung kurang lebih 37% selulosa dan 27,5% hemiselulosa. Kedua bahan polisakarida ini yang kemudian dapat dihidrolisis menggunakan enzim maupun zat lainnya menjadi gula sederhana yang selanjutnya dapat difermentasi menjadi etanol.

Jerami padi memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai media pertumbuhan mikroorganisme untuk memproduksi enzim selulase. Sampai saat ini belum diketahui pasti konsentrasi substrat jerami padi yang dibutuhkan untuk produksi enzim selulase secara optimal dari mikroorganisme pada fermentasi dengan menggunakan media dari serbuk jerami padi.

Sejauh ini, pemanfaatan jerami padi sebagai pakan mencapai 39%, sedangkan yang dibakar atau dikembalikan ke tanah sebagai pupuk 36%, dan sekitar 7% digunakan untuk keperluan industri [3]. Potensi limbah jerami padi sangat besar, tidak hanya menjadi limbah di bidang pertanian atau

Tabel 3.
Perusahaan ethanol yang telah beroperasi di Indonesia

Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas Produksi (kL/tahun)	Bahan Baku
PT. Aneka Kimia Nusantara	Mojokerto	7.000	Molasses
PT. Basis Indah	Sulawesi	1.600	Molasses
PT. Bukit Manikam Subur Persada	Lampung	50.000	Molasses
PT. Indoacidatama Chemical	Surakarta	60.282	Molasses
PT. Madu Baru	Yogyakarta	6.720	Molasses
PT. Molindo Raya Industrial BPPT	Malang	45.000	Molasses
PT. Indo Lampung Distillery	Lampung	80	Cassava
PT. Basis Indah	Lampung	70.000	Molasses
PT. PN XI	Makassar	1.600	Molasses
PT. RNI	Surabaya	10.000	Molasses
PT. Rhodiah Manyar	Jawa Timur	100.000	Molasses
	Surabaya	15.000	Molasses

Tabel 4.
Estimasi data dan kebutuhan bioetanol pada tahun 2024

Tahun	Ekspor (kL)	Impor (kL)	Produksi (kL)	Konsumsi (kL)
2018	71.021	6.563	198.428	137.731
2019	78.812	8.613	201.916	138.467
2020	87.457	11.305	205.466	139.206
2021	97.051	14.838	209.078	139.949
2022	107.697	19.475	212.753	140.697
2023	119.512	25.560	216.493	141.448
2024	132.622	33.548	220.299	142.203

makanan ternak di bidang peternakan saja, tetapi seiring perkembangan zaman pemanfaatan limbah jerami padi dapat dikembangkan dengan lebih lagi di bidang industri dan energi melalui inovasi-inovasi teknologi, dengan tujuan untuk meningkatkan daya guna dan nilai ekonomi jerami padi untuk kesejahteraan masyarakat.

II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku dan Produk

Jerami padi merupakan biomassa dengan kandungan selulosa yang besar, di samping hemiselulosa dan lignin yang ada dalam jumlah yang lebih kecil. Jerami padi mengandung kurang lebih 37% selulosa dan 27,5% hemiselulosa. Kedua bahan polisakarida ini yang kemudian dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana yang selanjutnya dapat difermentasi menjadi etanol. Jerami padi juga dapat dimanfaatkan sebagai media pertumbuhan mikroorganisme untuk memproduksi enzim selulase. Komposisi jerami padi dapat dilihat pada Tabel 1. Adapun data dari Badan Pusat Statistik mengenai luas lahan panen padi dan produksi padi tiap tahunnya pada Tabel 2.

Etanol dapat disebut etil alkohol atau alkohol, adalah sejenis cairan yang mudah menguap, mudah terbakar, dan tak berwarna. Bioetanol telah memiliki Standar Nasional Indonesia (SNI). Saat ini ada dua jenis SNI untuk bioetanol, yaitu SNI DT 27-0001-2006 untuk bioetanol terdenaturasi dan SNI-06-3565-1994 untuk alkohol teknis yang terdiri dari 3 jenis alkohol yaitu Alkohol Prima Super, Alkohol Prima I dan Alkohol Prima II. Alkohol Prima Super memiliki kadar maksimum 96,8 % dan minimum 96,3 %, sedangkan Prima I dan Prima II minimal 96,1 % dan 95,0%.

Etanol dapat disebut etil alkohol atau alkohol, adalah sejenis cairan yang mudah menguap, mudah terbakar, dan tak berwarna. Bioetanol telah memiliki Standar Nasional Indonesia (SNI). Saat ini ada dua jenis SNI untuk bioetanol,

yaitu SNI DT 27-0001-2006 untuk bioetanol terdenaturasi dan SNI-06-3565-1994 untuk alkohol teknis yang terdiri dari 3 jenis alkohol yaitu Alkohol Prima Super, Alkohol Prima I dan Alkohol Prima II. Alkohol Prima Super memiliki kadar maksimum 96,8 % dan minimum 96,3 %, sedangkan Prima I dan Prima II minimal 96,1 % dan 95,0%. Pada pabrik ini ingin dihasilkan etanol 96% yang memiliki kualitas sesuai standar nasional milik Indonesia. Tabel 3 merupakan data perusahaan etanol yang telah beroperasi di Indonesia..

B. Kapasitas Produksi

Pra rancangan pabrik etanol dari Jerami Padi ini menggunakan direncanakan beroperasi pada tahun 2024. Dengan data-data ekspor, impor, produksi dan konsumsi maka dengan menggunakan persamaan $P = F(1 + i)^n$, dapat ditentukan estimasi produksi, konsumsi, impor dan ekspor di Indonesia pada tahun 2024.

Dari data pada Tabel 4 dapat diperkirakan konsumsi, produksi, ekspor, dan impor pada tahun 2024. Kebutuhan nasional yang masih belum terpenuhi adalah 20.978 kL, maka dibuat kapasitas produksi pabrik bioetanol yang akan dibuat sebesar 20.000 kL/tahun.

C. Lokasi Pabrik

Lokasi pabrik dalam suatu perancangan pabrik adalah aspek yang penting karena mempengaruhi kedudukan pabrik dalam persaingan. Banyak aspek yang mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik, seperti aspek ekonomi, teknis, sosial budaya, dan aspek lingkungan. Pada pemilihan lokasi pendirian pabrik bioetanol ini, telah dilakukan pertimbangan diantaranya adalah ketersediaan bahan baku, Transportasi dan pemasaran, sumber energi listrik dan air, sumber tenaga kerja, dan iklim dan topografi

Berdasarkan beberapa pertimbangan terhadap beberapa aspek, pabrik bioetanol berbahan baku jerami padi akan didirikan di Kampe Industrial Real Estate Banyuwangi di

Tabel 5.
Reaksi pada dilute acid pre-treatment

No.	Reaksi	Reaktan	Konversi
1.	Glucan + H ₂ O → Glucose	Glucan	0,12
2.	Glucan + 1/2 H ₂ O → 1/2 Cellobiose	Glucan	0,003
3.	Xylan + H ₂ O → Xylose	Xylan	0,9
4.	Xylan → Furfural + 2 H ₂ O	Xylan	0,05
5.	Arabinan + H ₂ O → Arabinose	Arabinan	0,9
6.	Arabinan → Furfural + 2 H ₂ O	Arabinan	0,05

Tabel 6.
Reaksi pada proses fermentasi

Reaksi	Konversi
Glucan + H ₂ O → Glucose	0,9
Glucan + 1/2 H ₂ O → 1/2 Cellobiose	0,012
Cellobiose + H ₂ O → Glucose	1

Tabel 7.
Reaksi pada proses fermentasi

Reaksi	Reaktan	Konversi
Glucose → 2 ethanol + 2 CO ₂	Glucose	0,9
Glucose + 2 H ₂ O → 2 Glycerol + O ₂	Glucose	0,004
Glucose + 2 CO ₂ → 2 Succinic Acid + O ₂	Glucose	0,006
Glucose → 2 Lactic Acid	Glucose	0,003
Xylose → 5/3 Ethanol + 5/3 CO ₂	Xylose	0,8
Xylose + 5/3 H ₂ O → 5 Glycerol + 2,5 O ₂	Xylose	0,003
Xylose + 5/3 CO ₂ → 5/3 Succinic Acid + 2,5/3 O ₂	Xylose	0,009
Xylose → 5/3 Lactic Acid	Xylose	0,003
3 Arabinose → 5 Lactic Acid	Arabinose	0,003

Kecamatan Wongsorejo, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur. Banyuwangi juga merupakan salah satu daerah dengan produksi padi tertinggi di Indonesia.

III. URAIAN PROSES TERPILIH

Pada pabrik bioetanol dari jerami padi ini proses akan dibagi menjadi 3 tahapan, Tahap *Pre-treatment*, Tahap *Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)*, Tahap Distilasi. Secara garis besar, proses produksi Bioetanol dapat dilihat pada gambar 1.

1) Tahap Pre-Treatment

Pada tahap ini, bahan baku yang berasal dari storage akan dipotong untuk diperkecil ukurannya menggunakan Rotary Knife Cutter (S-113) yang kemudian dipekecil lagi dengan menggunakan Hammer Mill (C-114). Jerami padi yang masuk akan keluar dengan ukuran ±0,1 mm. Setelah proses pemotongan, dengan belt conveyor (J-112b) dan bucket elevator (J-116) jerami padi diteruskan menuju tangki delignifikator (R-110).

Pada Tangki delignifikator (R110), dilakukan proses pre-treatment menggunakan NaOH 1%, dimana NaOH 1% dapat membantu melunakkan lignin yang melindungi selulosa sehingga akan mempermudah proses pengkonversian selulosa menjadi etanol. Proses ini dinamakan proses Delignifikasi. Setelah dilakukan delignifikasi, slurry kemudian akan dipisahkan dengan rotary drum vacuum filter untuk memisahkan cake dan filtrat. Cake hasil penyaringan akan dibawa oleh screw conveyor menuju bucket elevator yang kemudian dilanjutkan menuju tangki hidrolisa (R-120). Pada tangki hidrolisa, dilakukan pre-treatment lainnya yaitu hidrolisis asam menggunakan larutan H₂SO₄ 2%. Pada tahap ini akan terjadi proses pemecahan lignoselulosa yang mengandung 2 komponen utama yaitu Glucan dan Xylan menjadi monosakaridanya masing-masing. Proses ini berlangsung selama 10 menit, reaksi yang terjadi disajikan pada tabel 5.

Setelah dari tangki hidrolisa (R-120), hidrolisat akan dipompa menuju cooler untuk diturunkan suhunya dari 100°C menjadi 37°C sebagai pengkondisian sebelum memasuki tahap berikutnya yaitu tahap fermentasi. Hidrolisat kemudian dialirkan menuju Tangki penyimpanan (F-125).

2) Tahap Saccharification and Fermentation (SSF)

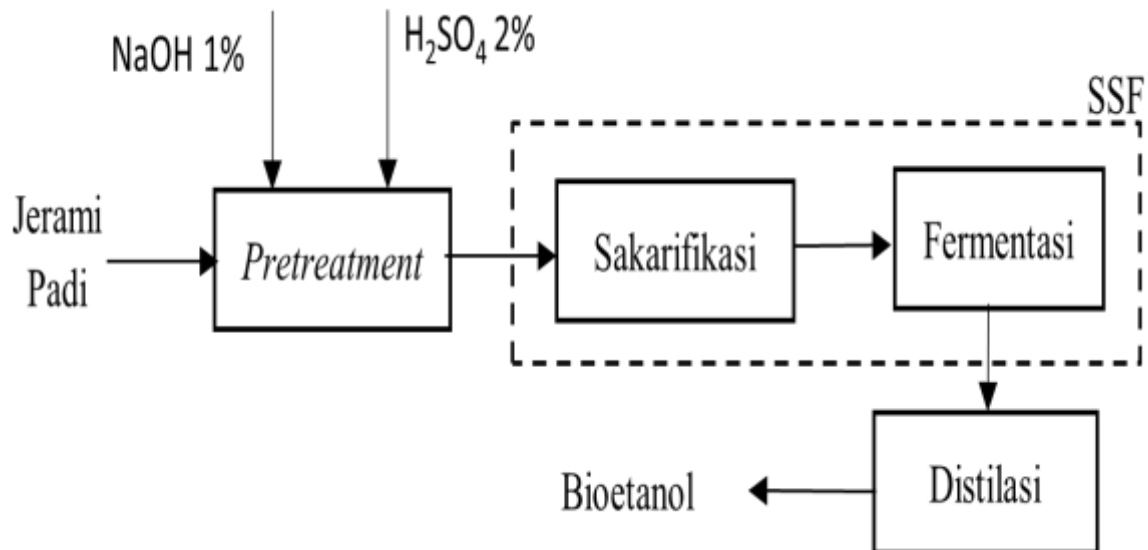
Slurry yang keluar dari tangki penyimpanan akan dialirkan ke dua tangki berbeda. 5% menuju tangki starter (M-212) dan 95% menuju fermentor (R-210). Proses pada tangki starter ini sebagai tahap perkembangan *Z. mobilis* sebagai starter pada proses fermentasi. Proses ini berlangsung secara semi kontinyu pada suhu 37°C selama 12 jam. Pada tangki starter juga ditambahkan nutrient berupa Diamonium Phospat NH₄(H₂PO₄) dan corn step liquor (CSL). Penambahan nutrient dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan unsur nitrogen dan fosfat dari *Z. mobilis*.

Kemudian inokulum bakteri *Zymomonas mobilis* yang terbentuk dari tangki starter dimasukkan ke dalam Fermentor (R-210). Fermentor (R-210) beroperasi pada suhu 37°C yang dilengkapi dengan jaket pendingin untuk menjaga suhu dalam tangki dan pengaduk. Pada tahap ini terjadi dua proses yang berjalan bersamaan yaitu proses hidrolisis enzim dan fermentasi di satu reaktor. Pertama, feed yang masuk akan di hidrolisis oleh enzim selulose yang berfungsi untuk memecah ikatan selulosa menjadi monomer glukosa. Reaksi yang terjadi pada proses hidrolisa enzim ini dapat dilihat pada tabel 6.

Selanjutnya proses fermentasi yang berjalan juga, akan mengubah glukosa yang terbentuk menjadi etanol dengan bantuan *Zymomonas mobilis*. Reaksi ini disajikan pada Tabel 7.

3) Tahap Distilasi (Pemurnian)

Untuk dapat menghasilkan etanol yang murni maka perlu dilakukannya pemurnian. Melalui proses distilasi ini, air pada larutan etanol dapat dipisahkan sehingga etanol murni bisa didapatkan. Dengan proses distilasi bertingkat, dapat dihasilkan etanol dengan tingkat kemurnian hingga 96%. Proses ini diawali dengan pemisahan cake dan filtrat hasil dari proses fermentasi melalui rotary drum vacuum filter (H-312). Rotary drum vacuum filter akan menyaring dan memisahkan filtrat dari cakenya. Setelah itu filtrat akan dialirkan menuju ke kolom distilasi I (D-310) dengan pengkondisian feed terlebih dahulu melalui pre-heater (E-314) hingga suhu feed 99,94°C. Pada kolom distilasi yang pertama ini akan dihasilkan distilat berupa larutan etanol



Gambar 1. Diagram blok konversi bioetanol.

dengan tingkat kemurnian 60%. Produk bawah berupa air, furfural, asam laktat, gliserol dan succinic acid yang akan masuk ke pengolahan limbah.

Distilat yang terbentuk kemudian di pompa menuju ke kolom distilasi II (D-320) untuk melakukan proses pemurnian tahap kedua. Pada distilasi yang kedua ini akan dihasilkan etanol dengan tingkat kemurnian $\pm 95,9\%$. Setelah proses distilasi selesai etanol akan dialirkan menuju cooler (E-317) untuk didinginkan suhunya dari 79°C menjadi 32°C yang selanjutnya akan disimpan pada tangki penyimpanan etanol (F-318).

IV. NERACA MASSA DAN ENERGI

Pada pra desain pabrik bioetanol dari jerami dengan kapasitas produksi 20.000 kL/tahun dilakukan perhitungan neraca massa dan neraca energi. Berdasarkan perhitungan neraca massa pabrik bioetanol dari jerami padi didapatkan hasil kebutuhan bahan baku jerami padi sebesar 28.200 kg/jam dan produk etanol yang dihasilkan sebesar 8.966 kg/jam.

Pada pabrik ini dilakukan tiga tahap proses yaitu, pre-treatment, *saccharification and fermentation* (SSF) dan tahap distilasi (pemurnian). Berdasarkan perhitungan neraca energi, proses pre-treatment membutuhkan 59.436.996 kJ/jam pada tangki delignifikator (R-110) dan 21.430.570 kJ/jam pada tangki hidrolisa (R-120). Pada proses SSF, dibutuhkan 18.546.078 kJ/jam pada fermentor (R-210). Pada proses pemurnian dibutuhkan 15.683.386 kJ/jam pada kolom distilasi I (D-310) dan 1.398.427 kJ/jam pada kolom distilasi II (D-320).

V. ANALISA EKONOMI DAN ANALISA DAMPAK TERHADAP LINGKUNGAN

A. Analisa Ekonomi

Pada pra desain pabrik bioetanol dari jerami padi ini dilakukan evaluasi atau studi kelayakan dan penilaian investasi. Beberapa faktor yang perlu ditinjau untuk

memutuskan hal ini adalah laju pengembalian modal (Internal Rate of Return / IRR), waktu pengembalian modal minimum (Pay Out Time / POT), dan titik impas (Break Even Point / BEP).

Dari perhitungan analisis ekonomi untuk Pabrik bioetanol dari Jerami padi, Pabrik ini memiliki laju bunga (harga i) sebesar 19,05%. Harga i yang diperoleh lebih besar dari harga i untuk bunga pinjaman yaitu 9,25% per tahun. Dengan harga $i=19,05\%$ yang didapatkan dari perhitungan menunjukkan bahwa pabrik ini layak didirikan dengan kondisi tingkat bunga pinjaman 9,25% per tahun.

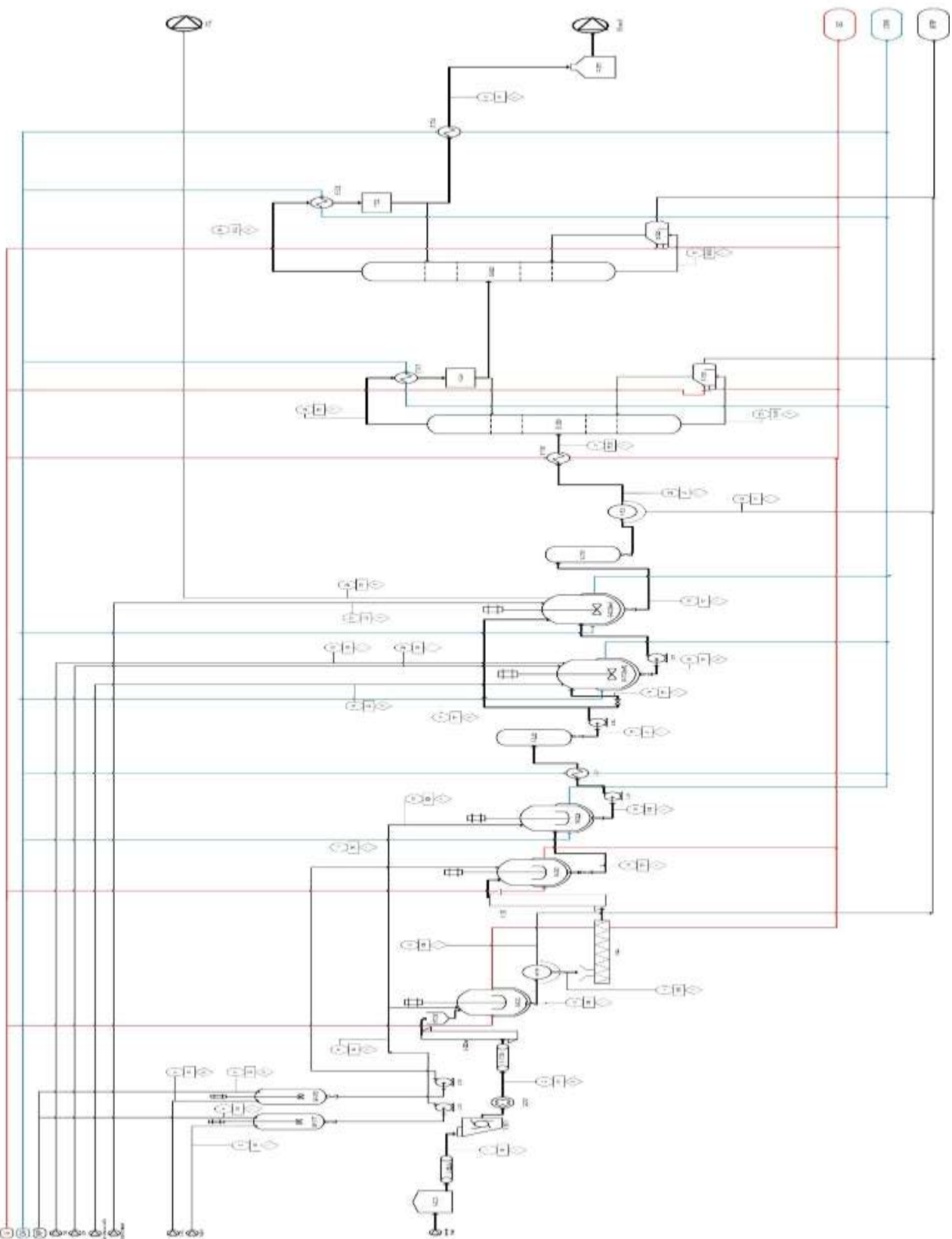
Pada pabrik Bioetanol dari jerami padi ini memiliki waktu pengembalian modal minimum adalah 5,021 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan karena POT yang didapatkan lebih kecil dari perkiraan usia pabrik.

Analisa titik impas (BEP) digunakan untuk mengetahui jumlah kapasitas dimana biaya produksi total sama dengan hasil penjualan. Perhitungan Biaya tetap (FC), 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 Jerami padi sebesar 27% kapasitas.

B. Analisa Sosial dan Lingkungan

Analisa sosial ini sendiri lebih merujuk pada social masyarakat yang ada disekitar lahan pabrik yang akan didirikan. Karena lahan yang didirikan pada lahan atau kawasan industri akan lebih baik akan hal itu karena factor masyarakat sekitar yang pastinya paham akan kawasan industry itu, beda lagi untuk kawasan pemukiman/pertanian penduduk yang nantinya digusur pasti akan menimbulkan polemic atau demo dari warga sekitar.

Analisa lingkungan sendiri karena limbah akan diolah sedemikian rupanya dengan baik oleh pihak ketiga artinya limbah akan dikelompokkan terlebih dahulu sebelum diolah. Karena dampak yang mungkin terjadi jika limbah tidak diolah dengan baik akan mencemari lingkungan sekitar. Pentingnya tahu baku mutu pembuangan limbah yang sesuai adalah pilihan tepat sebelum diolah. Untuk gas yang



Gambar 2. Process Flow Diagram Pabrik Bioetanol dari Jerami Padi

dihasilkan bisa digunakan produk samping yang bisa dijual tanpa dibuang yang bisa menimbulkan pencemaran.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa teknis dan segi ekonomi yang sudah dilakukan terhadap faktor ekonomi pra desain pabrik

ini, maka diperoleh hasil laju pengembalian modal (Internal Rate of Return) sebesar 19,05% pertahun. Hal ini menunjukkan bahwa IRR yang diperoleh lebih besar dibandingkan dengan nilai i untuk pinjaman modal pada bank dengan tingkat bunga 9,25%, sehingga pabrik layak didirikan. Waktu pengembalian modal (Pay Out Time) selama 5,02 tahun dengan titik impas (Break Even Point)

sebesar 27%. Dari hasil evaluasi secara teknis dan ekonomis, pabrik etanol dari jerami padi ini sudah memenuhi syarat untuk dilanjutkan ke tingkat perencanaan. Dari segi ekonomi, pra rencana ini telah layak didirikan dengan masa konstruksi 3 tahun dan umur pabrik 20 tahun.

LAMPIRAN

Process flow diagram pabrik bioethanol dari padi dapat dilihat pada Gambar 2.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sambodo, M.T. (2008). Energy sector in Indonesia and environmental impacts: from fossil to biofuel. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan*, vol. 16, no. 1, pp. 1-19.
- [2] Sekretariat Jenderal Energi Nasional. (2015). *Rencana Strategis 2015-2019 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [3] Rhofita, E. I. (2016). Kajian pemanfaatan limbah jerami padi di bagian hulu. *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 1, no. 2, pp. 74-79.