

Pra Rancangan Pabrik Bioetanol dari Limbah Kulit Kopi dengan Proses Fermentasi Menggunakan Ragi *Saccharomyces Cerevisiae*

Hosea Amadeus Hariputra, Alfredo Junianto Tarigan, dan Arief Widjaja
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: arief.widjaja@yahoo.com

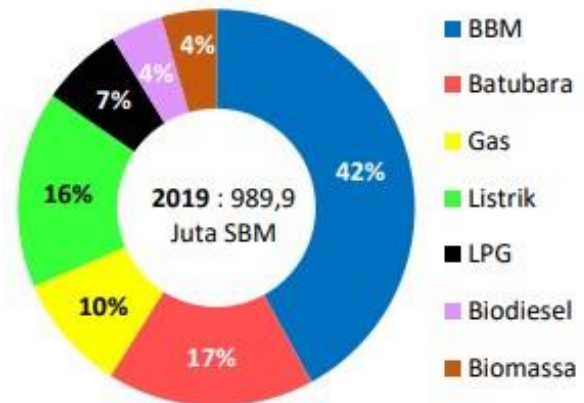
Abstrak—Indonesia merupakan salah satu negara pengguna kendaraan bermotor terbesar di dunia. Namun, kebutuhan bahan bakar kendaraan bermotor di Indonesia masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil sehingga perlu energi terbarukan sebagai alternatif dimana salah satu yang dapat digunakan adalah bahan bakar etanol atau disebut juga bioethanol. Salah satu bahan yang potensial untuk diolah menjadi bioethanol adalah limbah kulit kopi. Limbah kulit kopi mempunyai kandungan serat sebesar 65,2%. Sementara, serat pada kulit kopi tersusun atas 49% selulosa; 25% hemiselulosa; dan lignin 7,63%. Berdasarkan data yang didapat dari United States Department of Agriculture diketahui bahwa produksi kopi di Indonesia pada Juni 2022 yaitu sebesar 11350 ribu kantong dengan berat masing-masing kantong adalah 60 kg (6,488% terhadap total hasil dunia). Diketahui juga bahwa pengolahan kopi pada industri biasanya akan menghasilkan 65% biji kopi dan 35% limbah kulit kopi. Sehingga, bahan baku pembuatan bioethanol dari kulit kopi ini masih sangat berlimpah di Indonesia. Pra Desain Pabrik Bioetanol dari Limbah Kulit Kopi ini direncanakan mulai beroperasi tahun 2028 dengan kapasitas produksi sebesar 8.8 Juta L/tahun. Lokasi pendirian pabrik direncanakan di Empat Lawang, Sumatera Selatan. Secara garis besar proses dilakukan pembuatan bioetanol ini adalah *pre-treatment* dengan metode *steam explosion* dan metode *alkali* (delignifikasi) dengan NaOH untuk pemisahan antara selulosa dan lignin, kemudian hidrolisis dengan metode untuk *Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation* (SSCF) dan pemurnian dengan menggunakan kolom distilasi serta proses dehidrasi dengan metode *silica gel*. Pengadaan alat dari pabrik ini akan dilakukan pada tahun yang sama dengan Pembangunan pabrik dengan modal sendiri sebesar 40% dari biaya investasi dan modal pinjaman sebesar 60% dari investasi dengan bunga sebesar 9,25%. Maka nilai NPV sebesar \$631.030 atau Rp 9.848.674,52, nilai Internal Rate of Return sebesar 12,06% dengan memasing harga jual produk \$14,31/liter, dengan Pay Out Time pada 2036 dan BEP sebesar 47%.

Kata Kunci—Bioetanol, Dehidrasi, Distilasi, Limbah Kulit Kopi, *Pre-treatment Alkali*, *Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation* (SSCF), *Steam Explosion*.

I. PENDAHULUAN

Salah satu negara dengan penggunaan kendaraan terbesar di dunia adalah Indonesia. Data menunjukkan ada 136,137 juta unit pada 2020 dengan rincian 115,023 juta sepeda motor, 15,8 juta mobil penumpang, 5,08 juta truk, dan 233,26 ribu bus [1]. Dimana Indonesia masih sangat bergantung pada penggunaan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Oleh karena itu, penggunaan energi dari bahan bakar fosil seperti bahan bakar minyak masih sangat mendominasi.

Konsumsi energi fosil dalam jumlah besar menyebabkan tingginya emisi karbon di Indonesia serta ketersediaan energi



Gambar 1. Konsumsi bahan bakar.

fosil semakin berkurang. Dimana menurut BPS, Indonesia mencatatkan emisi karbon Indonesia adalah sebesar 1.150 juta ton emisi sampai 2017. Peningkatan emisi karbon ini akan merusak lapisan ozon dan menyebabkan pemanasan global. Sementara menurut kementerian ESDM cadangan minyak bumi Indonesia sebesar 3,6 miliar barel diperkirakan habis dalam 13 tahun mendatang [2]. Penggunaan BBM menempati posisi pertama dalam kebutuhannya. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan energi terbarukan sebagai alternatif energi fosil. Salah satu alternatif yang sering digunakan adalah bahan bakar etanol atau sering disebut bioetanol. Bioetanol memiliki kelebihan dibanding dengan BBM, diantaranya memiliki kandungan oksigen yang lebih tinggi (35%) sehingga terbakar lebih sempurna, bernilai oktan lebih tinggi (118) dan lebih ramah lingkungan karena mengandung emisi CO lebih rendah 19-25%. Dalam perkembangannya, bioetanol telah berkembang hingga generasi keempat. Bioetanol generasi pertama berbahan baku utama pangan seperti tebu, jagung, gandum. Namun, karena bersaing dengan kebutuhan pangan global maka muncullah bioetanol generasi kedua. Bioetanol generasi kedua berbahan baku non pangan dengan memanfaatkan biomassa pertanian dan kehutanan serta limbah padat yang mengandung lignoselulosa. Contoh biomassa tersebut adalah jerami, tongkol jagung, limbah kulit kopi, tandan kosong kelapa sawit, dan bahan lainnya yang mengandung selulosa [3]. Bioetanol generasi ketiga memiliki bahan baku utama yang berasal dari mikroalga dan makro alga. Sementara itu, bahan baku utama bioetanol generasi keempat adalah bioetanol lanjut (*advanced bioethanol*) yang dihasilkan dari biomassa atau mikroba yang telah mengalami modifikasi genetika [4]. Karena potensi bioetanol tersebut, produksi

Tabel 1.
Standar dan Mutu Bioetanol yang Dipasarkan di Dalam Negeri

Sifat	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 tembaga (Cu)	mg/kg, max	0,1
Keasaman sebagai CH ₃ COOH	mg/L, max	30
Tampakan		Jernih dan terang, tidak ada endapan dan kotoran
Kadar ion Klorida (Cl ⁻)	mg/L, max	40
Kandungan Belerang (S)	mg/L, max	50
Kadar getah (gum), dicuci	mg/100 ml, max	5,0
pH		6,5 - 9,0

Tabel 2.
Hasil Perhitungan *Discounted*

Jenis Perhitungan	Nilai Hasil Perhitungan (Liter)
Produksi	187.788.344
Konsumsi	198.516.920
Ekspor	190.633.051
Impor	30.483.259

bioetanol di berbagai negara telah dilakukan dengan menggunakan bahan baku yang berasal dari hasil pertanian dan perkebunan [5]. Negara dengan produksi bioetanol sebagai bahan bakar pada 2012-2017 didominasi oleh Amerika Serikat (AS), Brazil, dan China. Indonesia sendiri pernah mengkaji pemanfaatan bioetanol sebagai bahan bakar sebelum 2010. Namun, hal ini dihentikan karena rendahnya harga BBM dan meningkatnya harga bahan baku bioetanol generasi pertama. Walaupun demikian, seiring berjalannya waktu pemerintah Indonesia melalui Peraturan Menteri ESDM No. 12 tahun 2015 menyebutkan bahwa bioetanol digunakan untuk substitusi BBM secara bertahap sampai menggunakan E20 pada 2025. Oleh karena itu apabila E20 ini terealisasi maka jumlah kebutuhan bioetanol pada 2025 akan meningkat hingga 7,9 juta kilo liter per tahun.

Salah satu yang paling sering dimanfaatkan menjadi bioetanol adalah generasi kedua dimana salah satu contohnya adalah limbah kulit kopi. Limbah kulit kopi mempunyai kandungan serat sebesar 65,2 %. Sementara, serat pada kulit kopi tersusun atas 49% selulosa; 24,5% hemiselulosa; dan lignin 7,63% [6]. Secara spesifik sumber lain menyebutkan kandungan kulit kopi terdiri dari 46,6% selulosa, 35 % hemiselulosa, 18,8 % lignin dan 8,2 % abu [7].

Selain mengandung selulosa yang cukup besar, tanaman kopi juga merupakan salah satu komoditas yang produksinya cukup besar di Indonesia. Tercatat bahwa pada tahun 2022 Indonesia merupakan penghasil kopi terbesar nomor 4 di dunia setelah Brazil, Vietnam, dan Kolombia. Di Indonesia sendiri daerah penghasil kopi terbesar adalah Sumatera Selatan dengan total produksi 188.760 ton/tahun pada tahun 2021. Kopi yang dilakukan pengolahan kopi pada industri biasanya akan menghasilkan 65% biji kopi dan 35% limbah kulit kopi [8].

Produk yang akan dihasilkan dari limbah kulit kopi ini nantinya harus sesuai dengan spesifikasi bioethanol berdasarkan Keputusan Direktur Jenderal Minyak Bumi No.23204.K/10/DJM.S/2008 sesuai Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 tersebut diperoleh bahwa untuk menjadi bahan bakar diperlukan etanol sebesar 99,5% dengan toleransi kadar air paling besar adalah 1%, kadar denaturan maksimal 5%, kadar tembaga (Cu) maksimal 0,1 mg/kg, keasaman sebagai

CH₃COOH maksimal 30 mg/L, kadar ion klorida (Cl⁻) maksimal 40 mg/L, kandungan belerang (S) maksimal 50 mg/L, kadar getah (gum) maksimal 5 mg/100 mL dan pH besar 6,5-9,0.

Dalam proses perancangan pabrik ditunjukkan informasi kapasitas produksi. Perhitungan kapasitas produksi membutuhkan data ekspor dan impor. Penentuan kapasitas dari pabrik bioethanol ini dilakukan dengan menggunakan rumus *discounted*. Dengan asumsi pabrik mulai beroperasi pada tahun 2028 maka formula dari persamaan *discounted* dapat dirumuskan sebagai :

$$D_{2028} = D_{2021}(1 + i)^n$$

Dimana :

D = Data kapasitas produksi pada tahun tertentu

n = Selisih tahun

i = Laju pertumbuhan rata-rata

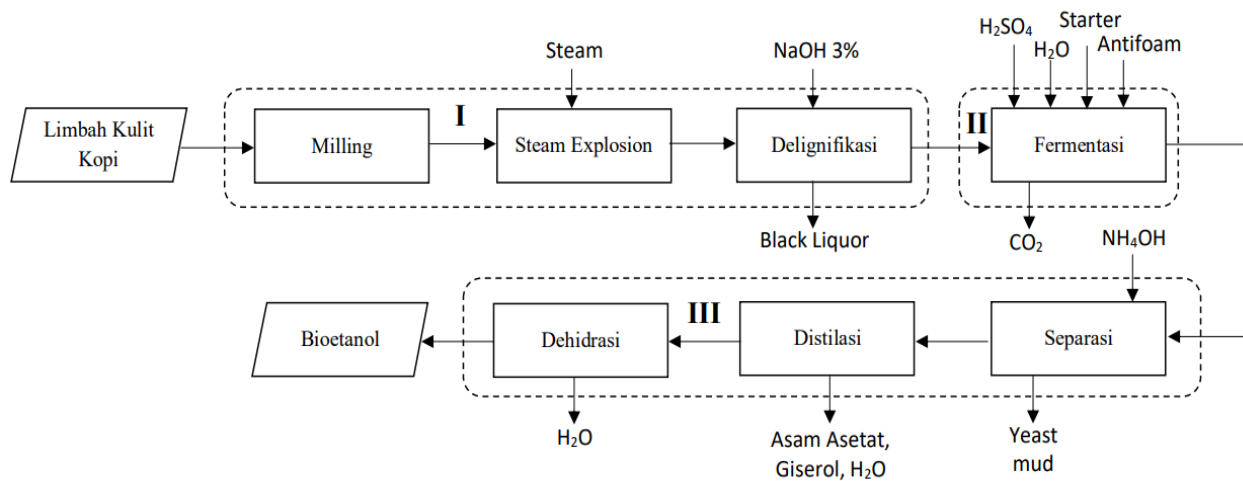
Untuk melakukan perhitungan *discounted* diperlukan perhitungan proyeksi untuk masing-masing data pada tahun 2028. Dari data pada Tabel 2 maka dapat ditentukan kebutuhan bioetanol pada 2028 melalui rumus berikut :

$$\text{Kebutuhan} = (\text{Nilai ekspor} - \text{Nilai impor}) + (\text{Nilai konsumsi} - \text{Nilai produksi})$$

$$\text{Kebutuhan} = (190.633.051 + 198.516.920) - (30.483.259 + 187.788.344)$$

$$\text{Kebutuhan} = 170.878.368 \text{ liter}$$

Pabrik ini ditargetkan untuk dapat memenuhi 10% dari kapasitas produksi nasional yaitu 17.087.836 liter/tahun. Massa jenis etanol adalah 0,789 kg/liter didapatkan jumlah bioethanol yang diproduksi 21.657.586 kg/tahun. Dengan merujuk kepada hasil penelitian yang sudah pernah dilakukan didapatkan yield bioetanol dari kulit kopi sebesar 45,9 gram per 300 gram [8]. Sehingga untuk memenuhi target produksi pabrik diperlukan bahan baku limbah kulit kopi sebanyak 86.517,45 ton/tahun. Faktor lain yang juga perlu diperhatikan dalam pendirian pabrik adalah letak geografis (lokasi pendirian pabrik). Lokasi yang ideal untuk mendirikan suatu



Gambar 2. Diagram Blok Proses.

pabrik memerlukan dukungan tidak hanya dari infrastruktur yang disediakan oleh pemerintah daerah setempat, tetapi juga daya tarik untuk investor dan keuntungan didirikannya pabrik dalam jangka panjang baik untuk perusahaan sendiri maupun warga sekitar. Adapun aspek utama dan khusus yang menjadi pertimbangan untuk memilih lokasi pabrik adalah sebagai berikut:

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

Dari segi ketersediaan bahan baku pada tahun 2019 Kabupaten Empat Lawang tercatat memproduksi kopi sebanyak 53.592 ton sedangkan Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan memproduksi kopi sebanyak 49.180 ton dan Kabupaten Aceh Tengah sebanyak 34.609 ton. Apabila ditinjau dari segi akses ketiga daerah tersebut memiliki akses jalan tol, bandara, dan Pelabuhan. Kemudian dari segi luas wilayah Kabupaten Empat Lawang seluas 2.526,44 km², Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan 5.493,93 km², dan Kabupaten Aceh Tengah seluas 4.318,3 km². Selanjutnya, berdasarkan data tenaga kerja yang berada di usia kerja di provinsi Sumatera Selatan sejumlah 4.404.000 dan di provinsi Aceh sejumlah 3.920.239.

Dari faktor-faktor di atas, ada beberapa kandidat daerah yang menjadi tempat untuk Pembangunan pabrik ini. Daerah tersebut adalah Kabupaten Empat Lawang dan Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan di Sumatera Selatan serta Kabupaten Aceh besar di Nangroe Aceh Darussalam. Setelah dilakukan seleksi proses menggunakan *software Expert Choice* dapat diperoleh bahwa lokasi yang dipilih untuk pabrik ini adalah di Kabupaten Empat Lawang, Provinsi Sumatera Selatan.

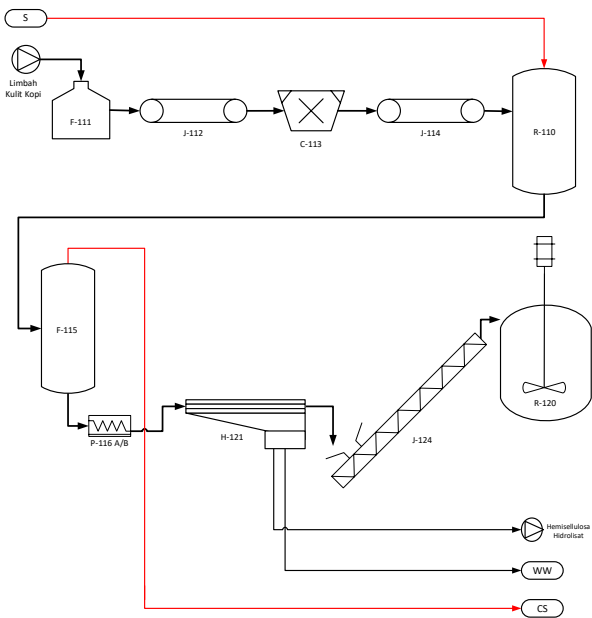
II. URAIAN PROSES

Limbah kulit kopi merupakan salah satu sumber bahan baku alternatif potensial untuk pembuatan bioetanol. Limbah kulit kopi mempunyai kandungan serat sebesar 65,2%. Dimana, serat pada kulit kopi tersusun atas 49% selulosa; 24,5% hemiselulosa; dan 7,63% lignin [6]. Berdasarkan

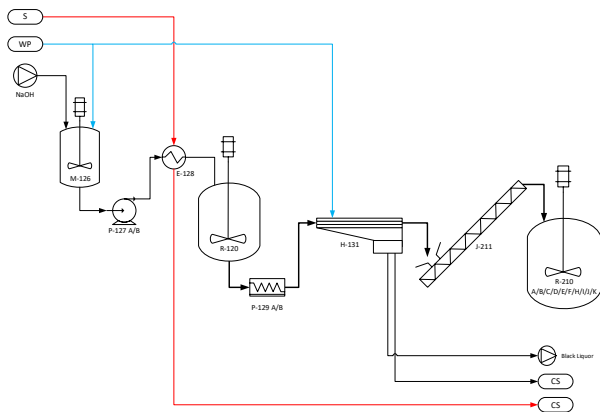
seleksi proses yang telah dilakukan terdapat 5 tahapan utama dalam proses pembuatan bioetanol yaitu *pre-treatment*, hidrolisis, fermentasi, destilasi, dan dehidrasi. Diagram blok proses tertera pada Gambar 2.

A. Proses Pre-treatment

Limbah kulit kopi pada awalnya disimpan dalam tangki penyimpanan bahan baku (F-111). Kemudian, kulit kopi dipindahkan dengan *belt conveyor* (J-112) menuju *hammer mill* (C-113) untuk dihancurkan hingga mencapai ukuran < 1 mm. Milling yang dilakukan dapat menghasilkan serat-serat biomassa yang lebih mudah dihidrolisis [9]. Setelah itu, kulit kopi akan dipindahkan menggunakan *belt conveyor* (J-114) menuju reaktor R-110 agar dapat dilakukan proses *pre-treatment Steam Explosion*. Pada saat limbah kulit kopi akan memasuki reaktor *Steam Explosion* (R-110), reaktor berada pada kondisi suhu dan tekanan ruang. Berikutnya, ditambahkan *saturated steam* ke dalam reaktor sehingga kondisi operasi reaktor berada pada suhu 190°C dan tekanan 1,25 MPa (12,5 bar) selama 15 menit. Pada reaktor *steam explosion* terjadi reaksi pemecahan lignoselulosa limbah kulit kopi dan menghasilkan *output* berupa *pretreated* limbah kulit kopi. *Pretreated* limbah kulit kopi terdiri atas *solid fraction* yang berupa cellulignin dan *liquid fraction* yang berupa *hemicellulose hydrolysate*. *Slurry pretreated* limbah kulit kopi ini dimasukkan ke dalam *expansion tank* (F-115) dimana akan terjadi proses pemisahan *flash steam* dan *pretreated* limbah kulit kopi (*slurry*) dan terjadi penurunan tekanan secara mendadak hingga mencapai tekanan atmosferik. *Slurry* yang dipisahkan dari steam akan masuk ke *horizontal vacuum belt filter press* (H-121). Tujuan dari dipindahkannya *slurry* menuju *vacuum belt filter* adalah untuk memisahkan *liquid fraction* berupa hemiselulosa hidrolisat dan *solid fraction* berupa cellulignin. Selain itu, dilakukan juga pencucian terhadap cellulignin pada *vacuum belt filter* sehingga impuritis hemiselulosa hidrolisat dialirkan menuju tangki penampung hemiselulosa hidrolisat (F-122) dan *impurities process water* dialirkan menuju tangki penampung (F-131) sebelum dilakukan pengolahan limbah. Kemudian cellulignin akan dialirkan menuju reaktor delignifikasi atau *pre-treatment alkali* (R-120) dengan *screw conveyor* (J-123) untuk dilakukan pemisahan antara selulosa dan lignin. Diagram proses pre-treatment tertera pada Gambar 3 untuk milling dan Gambar 4 untuk alkali.



Gambar 4. Process Flow Diagram untuk Pre-treatment Milling dan Steam Explosion.

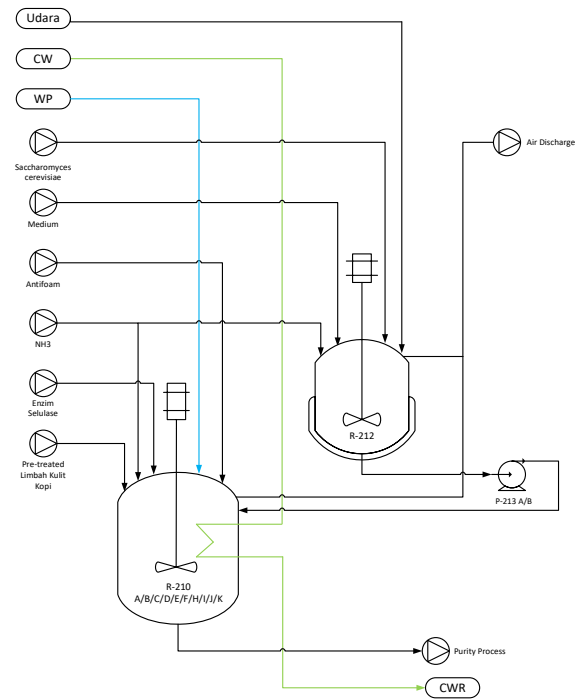


Gambar 5. Process Flow Diagram untuk Pre-treatment Alkali.

Kondisi operasi pada reaktor delignifikasi berada pada suhu 100°C dan prosesnya membutuhkan waktu selama 45 menit. Pada tahapan delignifikasi ini ditambahkan NaOH 10% ke dalam reaktor delignifikasi. Sebelum dimasukkan ke dalam reaktor, NaOH pekat harus diencerkan terlebih dahulu pada tangki mixer (M-124). Pada proses delignifikasi ini sebagian lignin akan larut menjadi *black liquor*. Oleh karena itu, *slurry* selanjutnya dialirkan keluar dari reaktor menuju *horizontal vacuum belt filter press* (H-128) untuk memisahkan *black liquor* dan pengotor dengan *cake* (*pretreated* limbah kulit kopi). Pemisahan yang terjadi di *horizontal vacuum belt filter press* dilakukan dengan bantuan pompa vakum (P-127) yang akan disertai dengan pencucian menggunakan air proses untuk menghilangkan pengotor yang kemungkinan masih menempel pada *cake*. Sementara itu, *black liquor* dan pengotor lainnya akan memasuki tangki penampung filtrat atau *black liquor intermediate tank* (F-129) sedangkan air pencuci akan memasuki tangki penampung air pencuci (F-131) sebelum dialirkan menuju unit pengolahan limbah. Lalu, selanjutnya *slurry* yang sudah delignifikasi dialirkan ke reaktor R-210 untuk dilakukan proses gabungan hidrolisis dan fermentasi dengan metode *Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation* (SSCF).

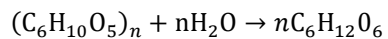
B. Proses Sakarifikasi dan Fermentasi

Setelah melalui tahap *pre-treatment*, limbah kulit kopi

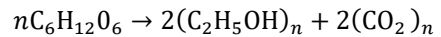


Gambar 3. Process Flow Diagram untuk Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation (SSCF).

masuk ke reaktor R-210 dengan metode yang dipilih adalah *Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation* (SSCF). Mula-mula limbah kulit kopi akan melalui proses sakarifikasi dan sekaligus fermentasi dengan kondisi operasi suhu 30°C dan tekanan 1 bar dengan lama proses adalah 72 jam. Selama proses berlangsung akan terjadi perubahan tekanan di dalam reaktor, sehingga perlu dilakukan penyesuaian tekanan dengan menggunakan *pressure valve* untuk menjaga tekanan di 1 bar. Gambar 5 menunjukkan diagram flow untuk proses ini. Berikut merupakan hidrolisis selulosa menjadi glukosa:



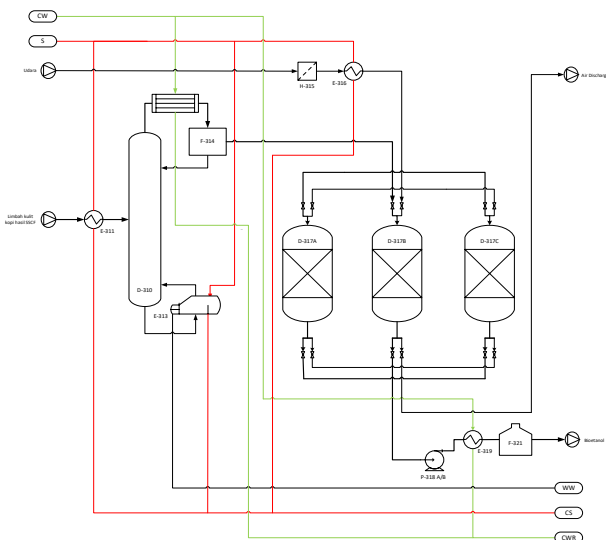
Reaksi fermentasi yang terjadi pada reaktor SSCF ini adalah sebagai berikut



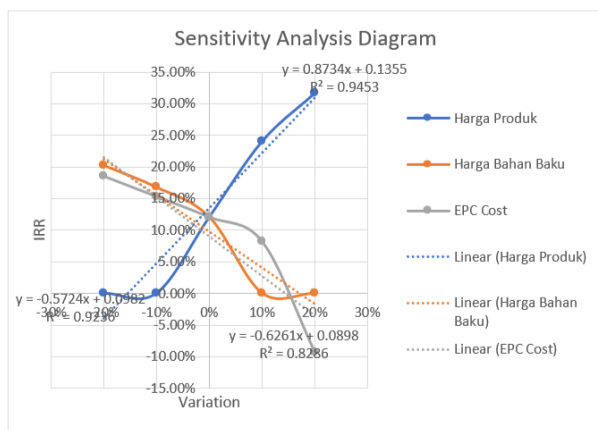
C. Proses Distilasi dan Dehidrasi

Kemudian bioetanol dialirkan ke *centrifuge* (H-215) untuk memisahkan padatan yang dibawa bersama dengan bioetanol. Setelah dipisahkan, padatan (*cake*) dikirim ke unit pengolahan limbah berupa *yeast sludge*. Filtrat dialirkan ke *pre-heater* kolom distilasi (E-311), 93°C sebelum masuk kolom distilasi.

Efluen dari tangki fermentasi (R-210) dipompa melalui pompa sentrifugal (P-214) menuju *centrifuge* (H-215) untuk memisahkan padatan yang dibawa bersama dengan bioetanol. Bahan padat (*cake*) setelah pemisahan, residu ragi, dikirim ke alat pembuangan limbah biasa, dan filtrat dikirim ke *preheater* kolom distilasi (E-311) dan dipanaskan hingga suhu 93°C sebelum masuk ke kolom distilasi (D-310) menggunakan pompa filtrat (P-217). Pada kolom distilasi (D-310) *feed* masuk ke tray ke-7 dengan suhu distilat 82,3°C dan suhu dasar 101,8°C. Kemurnian etanol yang dihasilkan dari proses distilasi ini adalah 94,7% massa, mengingat campuran etanol dan air. Azeotrop dicapai dalam hal kemurnian etanol



Gambar 6. *Process Flow Diagram* untuk Proses Distilasi dan Dehidrasi.



Gambar 7. Grafik *Sensitivity Analysis Diagram*.

95,6% berat mencapai kemurnian. Menurut SNI, etanol atau 99,5% volume membutuhkan lebih banyak proses pemurnian. Selanjutnya yaitu akibat proses dehidrasi menggunakan *moleculer sieve*. Keluaran dari kolom distilasi berupa campuran etanol dan air dikirim ke hidrator (D-315 A/B/C). Proses dehidrasi ini menggunakan *moleculer sieve* dengan diameter 3 Å. Tujuannya agar dapat memisahkan molekul air dan asam asetat yang masing-masing berukuran 2,8 Å dan 4 Å dari molekul etanol yang berukuran 4,4 Å. Saringan molekuler dengan ukuran pori 3 Å dapat menyerap molekul air secara efektif, tetapi tidak dapat menjebak molekul etanol. Proses dehidrasi (penyerapan) terjadi pada suhu 82°C, di bawah kondisi tekanan atmosfer. Saringan molekuler yang sudah mengandung air diregenerasi dengan tujuan untuk menghilangkan kelembaban yang terkandung. Udara kering disuplai agar saringan molekuler dapat digunakan kembali dalam proses penyerapan. Selanjutnya, bioetanol yang sudah sesuai dengan syarat bahan bakar yang telah dihasilkan dari proses dehidrasi dan penyerapan ini akan dilewatkan ke proses kondensasi dalam kondensor (E-316). Tahap akhir adalah tahap penyimpanan bioetanol pada suhu ruang dalam tangki penyimpanan bioetanol (F-317). Diagram proses distilasi dan dehidrasi tertera pada Gambar 6.

III. NERACA MASSA DAN ENERGI

Berdasarkan perhitungan neraca massa yang dilakukan dengan asumsi pabrik beroperasi 24 jam selama 330 hari per

tahun, dibutuhkan bahan baku limbah kulit kopi sebanyak 10.923,92045 kg/jam, NaOH 10% sebanyak 62.257,2 kg/jam, *Saccharomyces cerevisiae* sebanyak 101,585 kg/jam. Dengan jumlah bahan baku utama tersebut maka produk bioetanol yang dihasilkan adalah bioetanol 99,5% sebesar 1070,815 kg/jam.

IV. ANALISA EKONOMI DAN ANALISA DAMPAK LINGKUNGAN

Setelah dilakukan perhitungan ekonomi diperoleh nilai total capital investment sebesar Rp 1.275.824.319.362 dengan bunga sebesar 9,25%. Modal tetap (CAPEX) Rp 1.117.149.060.000 per tahun dan biaya produksi tetap (OPEX) Rp 29.029.020.000 per tahun Harga Pokok Penjualan (HPP) bioetanol sebesar Rp 223.336,17/liter. Diperoleh IRR sebesar 12,06% dan BEP 47% dengan pengembalian modal selama 10 tahun. Umur pabrik diperkirakan 30 tahun dengan masa pembangunan 5 tahun dan pabrik beroperasi 330 hari/tahun.

Nilai IRR tidak selalu akan tetap selama pabrik berjalan. Untuk menganalisa perubahan nilai IRR, dilakukan analisis sensitivitas terhadap beberapa faktor yang mempengaruhi nilai NPV. Analisis sensitivitas memecah perhitungan NPV menjadi asumsi komponennya dan menunjukkan bagaimana NPV bervariasi ketika asumsi yang mendasarinya berubah [10]. Analisa yang akan dilakukan adalah analisa terhadap harga produk bioetanol, harga bahan baku, serta harga EPC. Berdasarkan hasil analisa sensitivitas terhadap IRR, nilai jual produk adalah yang paling mempengaruhi. Gambar 7 menunjukkan grafik *sensitivity analysis diagram*. Limbah dari proses pengolahan kulit kopi menjadi bioetanol berupa biomass sisa fermentasi, hemiselulosa dan lignin. Untuk limbah biomassa sisa fermentasi tergolong limbah jenis B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) sehingga harus diproses di pengolahan limbah B3. Untuk limbah hasil separasi berupa lignin dan hemiselulosa dapat dimanfaatkan kembali untuk diproses menjadi produk lain seperti pupuk dan perekat.

V. KESIMPULAN

Pabrik bioethanol dari limbah kulit kopi ini memiliki kapasitas sebesar 17.087.836 liter/tahun. Pembangunan akan dimulai pada tahun 2023 dan akan selesai pada tahun 2028. Lokasi pendirian pabrik berada pada kabupaten Empat Lawang, Sumatera Selatan. Pabrik akan mulai beroperasi mulai tahun 2028 hingga 30 tahun mendatang dengan jumlah tenaga kerja sebanyak 207 orang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS RI, "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit), 2019-2021," Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2022.
- [2] A. F. Sa'adah, A. Fauzi, and B. Juanda, "Peramalan penyediaan dan konsumsi bahan bakar minyak indonesia dengan model sistem dinamik," *J. Ekon. dan Pembang. Indones.*, vol. 17, no. 2, p. 2, 2017.
- [3] M. Haniati, A. N. A. Fajrin, R. Tetrisyanda, and K. Kuswandi, "Pra desain pabrik bioetanol dari tandan kosong kelapa sawit," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, pp. B164--B170, 2021.
- [4] Y. Sudiyani, S. Aiman, and D. Mansur, *Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi dan Perspektif*. Bandung: LIPI Press, 2009. ISBN: 978-602-496-071-1
- [5] S. Sardjoko, *Bioteknologi Latar Belakang dan Beberapa Penerapannya*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 1991. ISBN: 9795110314.

- [6] R. V. Febrina and R. S. Nasution, "Pengaruh variasi massa ragi *saccharomyces cerevisiae* terhadap kadar bioetanol berbahan dasar limbah kulit kopi (*coffea arabica* l)," *AMINA*, vol. 2, no. 1, pp. 19--25, 2020.
- [7] A. P. Putri, Z. Zulnazri, R. Dewi, S. Sulhatun, and S. Bahri, "Karakterisasi glukosa sebagai bahan baku bioetanol yang diproduksi dari α -selulosa berbasis limbah kulit kopi arabika," *J. Teknol. Unimal*, vol. 11, no. 1, pp. 102--111, 2022.
- [8] I. S. Choi, S. G. Wi, S.-B. Kim, and H.-J. Bae, "Conversion of coffee residue waste into bioethanol with using popping pretreatment," *Bioresour. Technol.*, vol. 125, pp. 132--137, 2012.
- [9] Y. Sudiyani, D. Styarini, E. Triwahyuni, K. C. Sembiring, and Y. Aristiawan, "Utilization of biomass waste empty fruit bunch fiber of palm oil for bioethanol production using pilot-scale unit," *Energy Procedia*, vol. 32, pp. 31--38, 2013.
- [10] S. A. Ross, R. Westerfield, and J. F. Jaffe, *Corporate Finance*. McGraw-Hill, 1999. ISBN: 9781265533199.