

## PRARANCANGAN PABRIK BIOBUTANOL DARI MOLASE MELALUI FERMENTASI EKSTRAKTIF DENGAN KAPASITAS 25.000 TON/TAHUN

Difka Augustina Diana Sari<sup>1</sup>, Ariel Seanhan Haezer<sup>1</sup>, Zuhriah Mumtazah<sup>1</sup>, Ditta Kharisma Yolanda Putri<sup>1</sup>, Boy Arief Fachri<sup>1</sup>, Helda Wika Amini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan No. 37, Jember

\*Corresponding Author: dianadifkasari@gmail.com

### Abstrak

Butanol dengan rumus molekul  $C_4H_9OH$ , memiliki berbagai aplikasi industri yaitu bahan baku produksi karet sintesis, pelarut kosmetik, cairan hidrolik, formulasi deterjen, obat-obatan, antibiotik, dan ekstrak dalam manufaktur farmasi, serta menjadi biofuel alternatif yang efisien. Permintaan butanol terus meningkat, namun produksi saat ini terbatas akibat harga bahan baku yang mahal dan tantangan proses produksi. PT Petro Oxo Nusantara sebagai produsen butanol di Indonesia memiliki kapasitas yang relatif kecil yaitu 551.156 ton/tahun. Untuk memenuhi kebutuhan yang terus bertambah, pengembangan pabrik biobutanol berbasis molase sebagai bahan baku alternatif yang murah dan melimpah sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang pabrik biobutanol dengan kapasitas produksi 25.000 ton/tahun menggunakan fermentasi ekstraktif untuk meningkatkan konsentrasi produk akhir. Molase dipilih karena ketersediaannya yang melimpah di Indonesia serta proses yang lebih mudah tanpa perlu hidrolisis. Berdasarkan analisis ekspor, impor, dan konsumsi butanol, ditemukan bahwa kapasitas pabrik yang direncanakan sebesar 25.000 ton/tahun. Proses produksi meliputi persiapan bahan baku, pra-fermentasi, fermentasi ekstraktif, dan distilasi. Utilitas pabrik mencakup penyediaan air, steam, tenaga listrik, bahan bakar, dan pengolahan limbah. Evaluasi ekonomi menunjukkan bahwa proyek ini layak dengan Pay Out Time (POT) sebesar 3,1 tahun, Net Present Value (NPOTLP) sebesar Rp 6.694.864.393.566,57, Total Capital Cost (TCS) sebesar Rp 5.915.188.816.426,34, dan Break-Even Point (BEP) sebesar 44,80%. Dengan demikian, pendirian pabrik biobutanol ini diharapkan dapat mengatasi ketergantungan impor butanol di Indonesia serta memenuhi kebutuhan industri lainnya.

*Kata kunci: biobutanol, fermentasi ekstraktif, molase.*

### 1. Pendahuluan

Butanol adalah bahan bakar rantai lurus dengan rumus molekul  $C_4H_9OH$  (Olson et al., 2023). Butanol digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti bahan baku produksi karet sintesis (Antil, 2019), pelarut kosmetik, cairan hidrolik, formulasi deterjen, obat-obatan, antibiotik, ekstrak dalam manufaktur farmasi, dan saat ini populer sebagai biofuel alternatif yang efisien (Nimbalkar et al., 2023). Melihat banyaknya kegunaan butanol, maka konsumsinya semakin meningkat, sehingga permintaan butanol dalam dan luar negeri juga semakin meningkat setiap tahunnya. Akan tetapi, saat ini produksi butanol masih terbatas karena harga bahan baku yang sangat mahal dan masih banyak tantangan dalam prosesnya. Kapasitas pabrik butanol terbesar di dunia adalah

700.000 ton/tahun, sedangkan pabrik butanol di Indonesia, PT. Petro Oxo Nusantara masih memiliki kapasitas yang kecil, yaitu 551,156 ton/tahun. Karena kebutuhan yang semakin banyak dan tidak diimbangi dengan jumlah produksi yang sesuai, menyebabkan kebutuhan butanol di Indonesia bergantung pada impor.

Beberapa proses untuk memproduksi butanol, seperti kondensasi aldol, proses Reppe, oxo, dan hidrogenasi masih memiliki kekurangan, yaitu bahan baku mahal dan tekanan operasi tinggi (Ndaba et al., 2015). Untuk mengatasi hal ini, biobutanol berbasis biomassa yang dapat diproduksi menggunakan fermentasi lebih dipilih karena bahan baku melimpah dan ramah lingkungan (Jiang et al., 2019). Namun,



biobutanol berbasis biomassa lignoselulosa terhambat oleh proses konversi bahan baku yang rumit dan mahal. Oleh karena itu, molase lebih dipilih karena harganya yang murah, ketersediannya melimpah di Indonesia, dan tidak perlu melakukan hidrolisis sehingga prosesnya lebih mudah. Selain itu, molase mengandung 50-55% gula pereduksi (sukrosa, fruktosa, dan glukosa) yang penting untuk pertumbuhan bakteri (Narueworanon et al., 2020).

Fermentasi aseton-butanol-etanol (ABE) merupakan salah satu metode untuk menghasilkan biobutanol, namun masih memiliki kekurangan, yaitu toksisitas produk akhir terhadap mikroorganisme dan memerlukan biaya energi yang tinggi untuk memurnikan biobutanol (Dhamole et al., 2012). Penelitian yang dilakukan oleh Wang et al., (2020) memproduksi biobutanol menggunakan fermentasi ABE, namun menghasilkan kadar yang rendah, yaitu 6,9 g/l. Untuk mengatasi hal tersebut, fermentasi ekstraktif merupakan metode potensial untuk menghilangkan penghambatan produk sehingga meningkatkan konsentrasi produk akhir yang dapat menghemat biaya pada proses hilir. Penelitian yang dilakukan oleh Muharja et al., (2023) menghasilkan kadar butanol sebesar 20,4 g/l. dengan menggunakan fermentasi ekstraktif. Dengan demikian, pendirian pabrik biobutanol ini diharapkan mampu mengatasi permintaan n-butanol yang semakin meningkat serta menjadi pemasok bahan baku bagi industri lain.

Perkiraan kebutuhan biobutanol di Indonesia ditentukan dengan analisis ekspor, impor, produksi, perkiraan nilai peredaran suatu produk pada tahun berdirinya pabrik, dan konsumsi pasar dari tahun ke tahun sehingga diperoleh peluang kapasitas. Dapat dituliskan dalam perumusan pada Persamaan berikut:

$$\begin{aligned}m_3 &= (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2) \\m_3 &= (151 + 133.166) - (23.478 + 551,156) \\m_3 &= 109.288 \text{ ton}\end{aligned}$$

Keterangan:

- $m_1$  = Perkiraan konsumsi butanol di tahun 2026
- $m_2$  = Data produksi butanol di Indonesia
- $m_3$  = Kapasitas produksi pabrik di tahun 2026
- $m_4$  = Perkiraan ekspor di tahun 2026
- $m_5$  = Perkiraan impor butanol di tahun 2026

Berdasarkan perhitungan peluang kapasitas produksi maka diketahui peluang kapasitas pabrik baru sebesar 109.288 ton/tahun, dalam pra-rancangan ini dipilih kapasitas pabrik biobutanol yang akan didirikan 25.000 ton/tahun atau 22,88% dari peluang kapasitas dengan pertimbangan bahan baku. Berdasarkan data dari Direktorat Statistik Tanaman Pangan, Hortikultura, dan Perkebunan

(2021), rata-rata volume ekspor molase Indonesia selama 10 tahun terakhir (2012-2021) sebesar 553,13 ribu ton. Persentase konversi molase untuk menghasilkan butanol sebesar 15,19%, sehingga untuk mendirikan pabrik biobutanol dengan kapasitas 25.000 ton/tahun dibutuhkan bahan baku berupa molase sebesar 164,6 ribu ton/tahun.

## 2. Deskripsi Proses

### 2.1 Persiapan Bahan Baku

Molase dari tangki penyimpanan molase diencerkan dalam tangki pencampuran dengan ditambahkan air sampai kandungan brix pada molase sebesar 40°Bx. Molase yang telah diencerkan disterilisasi menggunakan tangki sterilisasi pada suhu 80oC.

### 2.2 Pra-fermentasi

Bakteri *Clostridium saccharoperbutyl-aceticum* N1-4 diperbanyak pada proses refresh di skala laboratorium. Kentang parut, glukosa,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$ , dan akuades dicampur hingga homogen. Kemudian, potato glucose dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam, didinginkan pada suhu ruang, lalu disaring. Kemudian, larutan dan padatan sampel dipisahkan, larutan disterilisasi pada suhu 118°C selama 10 menit kemudian didinginkan pada suhu 25°C. Larutan ekstrak kentang dipanaskan pada suhu 100oC selama 15 menit kemudian diturunkan suhunya hingga 25oC. Ekstrak kentang ditambahkan ke dalam larutan kultur bakteri *Clostridium saccharoperbutylaceticum* N1-4 dalam bentuk pasir dan dipanaskan pada suhu 100°C selama satu menit, kemudian didinginkan hingga suhu ruang dan dimasukkan ke dalam wadah berisi O2 absorben agar menghasilkan kondisi anaerob dan diletakkan di tempat dengan suhu ruang selama 24 jam.

Proses propagasi dilakukan untuk mempermudah yeast beradaptasi dengan lingkungan sehingga dapat berkembang biak dan mengubah gula menjadi alkohol dengan mempersiapkan bibit. Yeast yang digunakan, yaitu *Clostridium saccharoperbutylaceticum* N1-4. Media nutrisi yang digunakan untuk menumbuhkan *Clostridium saccharoperbutylaceticum* N1-4 adalah TYA (Tryptone Yeast Acetate). TYA terdiri dari tryptone bacto, yeast extract, ammonium asetat, magnesium sulfat, besi (II) sulfat, potassium fosfat, dan akuades. Larutan TYA ditambah glukosa, dihomogenkan hingga pH 6,5. Setelah itu, media refresh dimasukkan ke dalam tangki propagasi. Proses aerasi berlangsung hingga tahap propagasi selesai. Molase dengan campuran media refresh dan TYA kemudian dialirkan ke tangki fermentor setelah tahap propagasi selesai.

### 2.3 Fermentasi Ekstraktif





Ekstraktan, molase, dan TYA dimasukkan dalam fermentor kemudian diaduk hingga homogen di dalam reaktor fermentasi. Pada proses fermentasi mengeluarkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>. Tahap selanjutnya yaitu campuran dialirkan menggunakan pompa menuju dekanter kemudian ke kolom distilasi.

#### 2.4 Distilasi

Campuran keluaran fermentasi didekantasi untuk memisahkan media refresh dan TYA dari cairan produk dan ekstraktan yang akan digunakan untuk siklus fermentasi berikutnya. Campuran berupa cairan yang mengandung aseton dan butanol dipisahkan dalam kolom distilasi pertama dengan campuran oleil alkohol dan tributyrin. Campuran ekstraktan berupa oleil alkohol dan tributyrin dialirkan kembali di dalam reaktor fermentasi. Campuran cairan yang mengandung aseton, butanol diproses kembali di unit distilasi untuk pemisahan lebih lanjut.

Process flow diagram pembuatan biobutanol hingga menjadi produk dapat dilihat pada Gambar 1

### 3. Utilitas

Utilitas merupakan salah satu bagian penunjang proses yang menyediakan bahan ataupun energi yang dapat mendukung proses operasi berjalan lancar. Utilitas pada pabrik biobutanol memiliki beberapa unit diantaranya:

- a. Unit Penyedia Kebutuhan Air
- b. Unit Penyedia Kebutuhan Steam
- c. Unit Penyedia Kebutuhan Tenaga Listrik
- d. Unit Penyedia Bahan Bakar
- e. Unit Pengolahan Limbah

Pabrik memiliki kebutuhan air dalam beberapa kebutuhan tertentu dengan syarat disesuaikan dengan keperluan dari penggunaan air tersebut. Air bersih yang digunakan di alirkan dari Sungai Brantas yang terletak tidak jauh dari pabrik. Air tersebut digunakan sebagai kebutuhan air sanitasi, pendingin, umpan boiler, dan proses. Kebutuhan banyaknya air dengan faktor keamanan 20% yaitu sebesar 2.152.404,9505 kg/jam. Pabrik membutuhkan alat untuk menunjang kebutuhan steam yang akan digunakan untuk memanaskan udara. Alat tersebut menggunakan boiler yang berfungsi memanaskan air menjadi steam. Total kebutuhan steam sebesar 5.380,17 kg/jam. Pada pabrik Biobutanol tenaga listrik yang dibutuhkan untuk bangunan kantor dipenuhi oleh PLN, sedangkan kebutuhan listrik, proses, dan utilitas menggunakan generator set. Kebutuhan listrik di pabrik sebesar 225,10 kW/jam. Bahan bakar yang digunakan yaitu petroleum fuels oil 33 °API yang

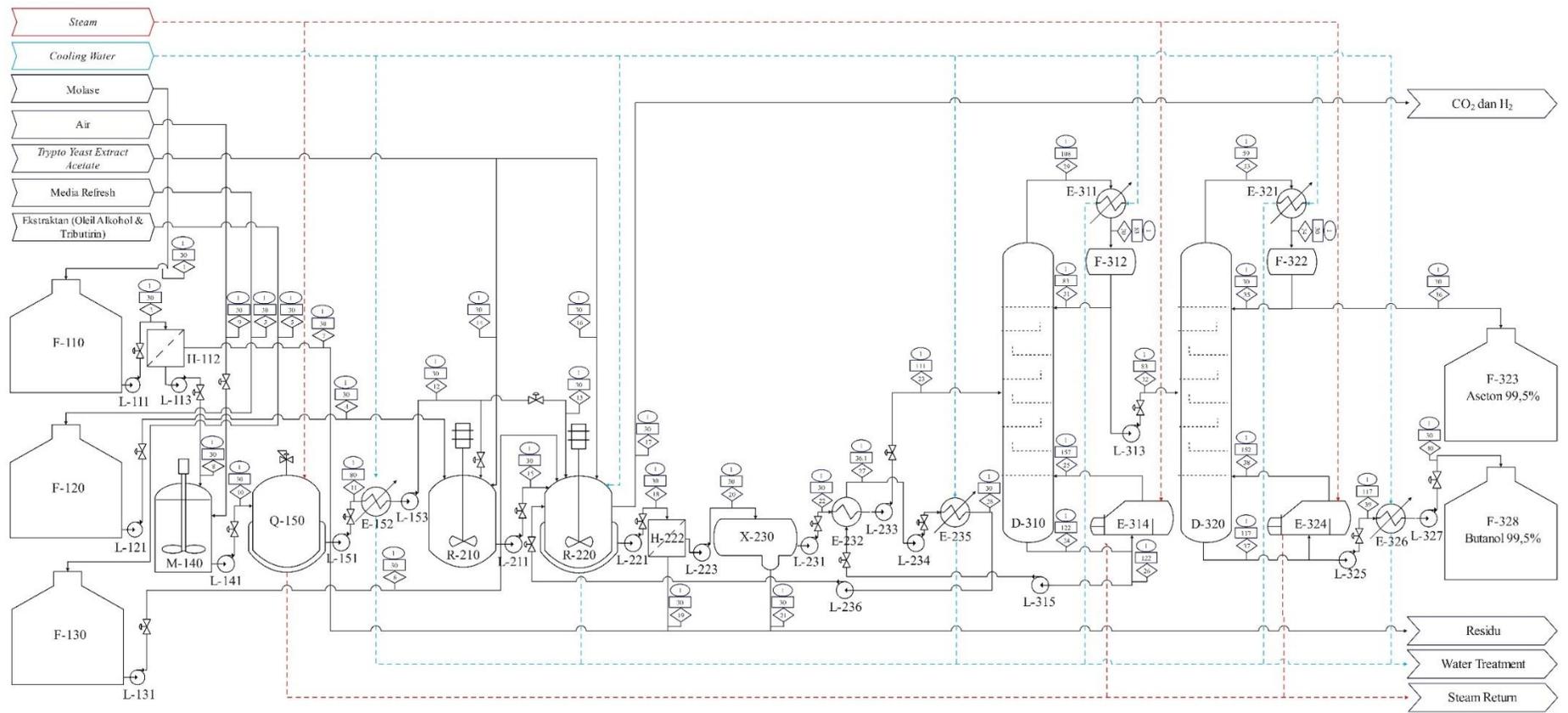
berfungsi sebagai pemanas boiler untuk unit pengadaan steam dan pemutar generator set. Limbah pada pabrik biobutanol diolah berdasarkan jenis limbah. Setiap proses pengolahan bahan baku menjadi produk di pabrik biobutanol menghasilkan limbah yang perlu dikelola dengan baik untuk menghindari pencemaran lingkungan. Limbah padat berupa lumpur dikumpulkan dan dibakar dalam proses insinerasi. Limbah cair meliputi sisa fermentasi dan etanol. Limbah etanol didaur ulang untuk proses selanjutnya. Limbah cair ini diolah melalui Waste Water Treatment (WWT) untuk memenuhi standar kualitas sebelum dibuang ke lingkungan. Pada WWT, proses dimulai dengan kolom ekualisasi untuk menyeimbangkan konsentrasi Total Organic Carbon (TOC) dan suhu aliran masuk. Dilanjutkan dengan reaktor anaerobik untuk degradasi limbah dan produksi biogas. Proses selanjutnya melalui kolom aerasi untuk menghilangkan sisa TOC menggunakan bakteri anaerobik dengan pengontrolan dissolved oxygen (DO). Setelah itu, terdapat unit klarifier untuk memisahkan padatan tersuspensi dan thickener untuk mengontrol kandungan air dalam lumpur sebelum incinerator. Selain itu, limbah gas yang terdiri dari gas hidrogen dan karbondioksida hasil fermentasi disimpan dalam gas holder dan dialirkan ke pabrik lain yang memanfaatkannya sebagai bahan baku. Pengelolaan limbah ini penting untuk memastikan bahwa limbah tidak mencemari lingkungan sekitar pabrik.

### 4. Analisis Ekonomi

Kelayakan pendirian suatu pabrik ditentukan berdasarkan evaluasi ekonomi. Proses ini bertujuan untuk menilai potensi keuntungan yang dapat diperoleh dari kapasitas produksi yang direncanakan. Selain itu, evaluasi membantu dalam mengidentifikasi risiko finansial yang mungkin timbul, sehingga perusahaan dapat mempersiapkan strategi mitigasi yang efektif. Hasil evaluasi ekonomi pabrik biobutanol terdapat pada Tabel 1.

Pabrik dapat dikatakan layak untuk dibangun jika memenuhi beberapa syarat, menurut Kusnarjo, (2010) nilai BEP yang dapat diterima yaitu 40% - 50%. Nilai POT harus < 5 tahun atau kurang (½ umur pabrik). Nilai TCS harus lebih besar dari TCI. Nilai ROR dan DCF-ROR harus lebih besar dari bunga bank (8,42%). Sehingga dapat pabrik biobutanol layak didirikan.





**Gambar 1.** Flow Diagram Process Pabrik Biobutanol

**Tabel 1** Evaluasi Ekonomi Pabrik Biobutanol

No.	Parameter	Hasil	Kesimpulan
1	POT	3,1	Layak
2	NPOTLP	6,695 T	Layak
3	TCS	5,915 T	Layak
4	ROR	27%	Layak
5	DCF-ROR	35%	Layak
6	BEP	44,8%	Layak

## 5. Kesimpulan

Pabrik biobutanol memiliki kapasitas produksi 25.000 ton/tahun dengan proses yang digunakan yaitu fermentasi ekstraktif. Pabrik akan beroperasi selama 330 hari/tahun dengan tenaga kerja sebanyak 194 karyawan. Pabrik ini berlokasi di Mojokerto dan direncanakan akan berdiri pada tahun 2026. Berdasarkan analisa ekonomi, pabrik biobutanol ini layak didirikan dengan berbagai pertimbangan, yakni Annual Cash Flow (ACF) Pay Out Time (POT) dan Break Event Point (BEP).

## Daftar Pustaka

- Antil, S., 2019, "Biobutanol: production, scope and challenges", *Int J Curr Microbiol App Sci*, 8(11), hal. 580–584.
- Dhamole, P.B. et al., 2012, "Extractive fermentation with non-ionic surfactants to enhance butanol production", *Biomass and Bioenergy*, 40, hal. 112–119. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.02.007>.
- Direktorat Statistik Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan, 2021, Statistik Tebu Indonesia 2021, *Badan Pusat Statistik Republik Indonesia*.
- Jiang, Y. et al., 2019, "Current status and perspectives on biobutanol production using lignocellulosic feedstocks", *Bioresource Technology Reports*, 7, hal. 100245.
- Muharja, M. et al., 2023, "Biobutanol production from cocoa pod husk through a sequential green method: Depectination, delignification, enzymatic hydrolysis, and extractive fermentation", *Bioresource Technology Reports*, 21, hal. 101298. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101298>
- Narueworanon, P. et al., 2020, "Impacts of initial sugar, nitrogen and calcium carbonate on butanol fermentation from sugarcane molasses by *Clostridium beijerinckii*", *Energies*, 13(3), hal. 694.

Ndaba, B., Chiyanzu, I. and Marx, S., 2015, "N-Butanol derived from biochemical and chemical routes: A review", *Biotechnology Reports*, 8, hal. 1–9. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2015.08.001>.

Nimbalkar, P.R. et al., 2023, "Biobutanol from agricultural residues: Technology and economics", *Advances and Developments in Biobutanol Production*, Elsevier, hal. 139–169.

Olson, A.L., Tunér, M. and Verhelst, S., 2023, "A Review of Isobutanol as a Fuel for Internal Combustion Engines", *Energies*, 16(22), hal. 7470.

Wang, F. et al., 2020, "Effect of detoxification methods on ABE production from corn stover hydrolysate by *Clostridium acetobutylicum* CICC 8016", *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 67(5), hal. 790–798.

