

PRARANCANGAN PABRIK SIRUP GLUKOSA DARI PATI RUMBIA MENGGUNAKAN PROSES HIDROLISIS ENZIMATIS KAPASITAS 21.000 TON/TAHUN

Muhammad Sahrul Firmansyah¹, Mutiara Cindera Setya Ningrum^{1,*}, Rahayu Oktavianti¹
Ratri Sekaringgalih¹, Istiqomah Rahmawati¹, Ansori¹

¹Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jl. Kalimantan No. 37, Jember Jawa Timur, 68121

*Corresponding Author: sahrulf701@gmail.com

Abstrak

Pabrik Sirup Glukosa berbahan baku Pati Rumbia ini dirancang dengan kapasitas 21.000 ton/tahun dan waktu operasi 330 hari/tahun. Pabrik direncanakan akan didirikan di Jl. P. Sumatera, Kelurahan Pelintung, Kecamatan Medang Kampai, Kota Dumai, Provinsi Riau, Indonesia. Pada prarancangan pabrik ini, sirup glukosa diproduksi melalui 6 tahapan proses, yaitu persiapan bahan baku, gelatinisasi, likuifikasi, sakarifikasi, proses pemurnian, dan proses finishing. Tahap persiapan bahan baku merupakan pengolahan batang sagu menjadi suspensi pati. Tahap berikutnya yaitu gelatinisasi yang dilakukan di dalam Mixer (M-210) dengan penambahan CaCl_2 dan air. Tahap berikutnya yaitu tahap likuifikasi yang dilakukan di dalam Reaktor Likuifikasi (R-220) dengan penambahan enzim α -amilase dan HCl. Tahap selanjutnya yaitu sakarifikasi dengan penambahan enzim glukamilase pada Reaktor Sakarifikasi (R-230). Tahap pemurnian dilakukan di dalam Ion Exchanger (X-314) dan (x-315) untuk menghilangkan ion pengotor pada slurry. Tahap selanjutnya yaitu finishing dilakukan dengan mengurangi kadar air pada produk dengan menggunakan Evaporator (V-320) yang kemudian disalurkan ke dalam tangka penyimpanan sirup glukosa. Bentuk perusahaan yang direncanakan pada pra-rancangan pabrik Sirup Glukosa ini adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan menerapkan struktur organisasi berbentuk line and staff. Jumlah karyawan yang dibutuhkan sebanyak 171 orang. Hasil evaluasi ekonomi menunjukkan bahwa keuntungan penjualan bersih sebesar Rp. 234.424.136.295, tingkat pengembalian investasi (ROI) sebesar 26%, waktu pengembalian modal (POT) adalah 2,8 tahun. Dengan demikian, titik impas (BEP) mencapai 44%. Berdasarkan evaluasi ekonomi tersebut, maka pabrik Sirup Glukosa dengan kapasitas produksi 21.000 ton/tahun layak untuk didirikan.

Kata kunci: sirup glukosa, biomassa, hidrolisis enzimatis, analisis ekonomi.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara tropis yang kaya akan sumber daya hayati, termasuk tanaman rumbia (*Metroxylon sagu*) yang tersebar luas terutama di wilayah Indonesia bagian timur. Tanaman ini memiliki potensi besar sebagai bahan baku industri karena kandungan patinya yang tinggi dan produktivitasnya yang baik. Menurut Bintoro (2010), Indonesia memiliki sekitar 1,25 juta hektar lahan rumbia, yang setara dengan 50% dari total lahan rumbia di dunia. Namun, pemanfaatannya belum optimal, terutama dalam skala industri.

Sirup glukosa merupakan cairan kental yang digunakan secara luas dalam industri makanan dan minuman sebagai pemanis, pengental, pengawet, serta dalam industri farmasi dan tekstil (Muchtadi, 2010). Proses produksi sirup glukosa dari pati dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu hidrolisis asam dan hidrolisis enzimatis. Hidrolisis enzimatis lebih banyak digunakan karena prosesnya berlangsung pada kondisi yang lebih ringan, menghasilkan rendemen yang tinggi, serta minim

menghasilkan produk samping yang tidak diinginkan (Miskiyah, 2011). Dalam konteks ini, penggunaan enzim α -amilase dan glukamilase dapat menghidrolisis pati rumbia secara efisien menjadi glukosa.

Permintaan sirup glukosa di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan sektor industri makanan dan minuman. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2024), konsumsi sirup glukosa nasional pada tahun 2024 mencapai 362.630 ton. Namun, kapasitas produksi dalam negeri baru sekitar 190.500 ton, sehingga terjadi defisit sebesar 134.282 ton yang dipenuhi melalui impor (Muhsin, 2020). Jika tren ini terus berlanjut, kebutuhan sirup glukosa diproyeksikan akan meningkat menjadi 705.225 ton pada tahun 2030 (Muhsin, 2020). Hal ini membuka peluang besar untuk pendirian pabrik baru guna mengurangi ketergantungan terhadap impor dan mendukung kemandirian industri nasional. Dengan mempertimbangkan potensi bahan baku lokal,



proyeksi kebutuhan nasional, dan efisiensi proses produksi, kapasitas produksi yang direncanakan untuk pabrik sirup glukosa dari pati rumbia adalah sebesar 21.000 ton per tahun. Kapasitas ini setara dengan 15% dari total kekurangan pasokan berdasarkan proyeksi tahun 2030 (Muhsin, 2020). Pendirian pabrik ini diharapkan mampu mendukung ketahanan industri dalam negeri sekaligus memberdayakan komoditas lokal yang selama ini belum dimanfaatkan secara maksimal.

2. Deskripsi Proses

2.1 Pemilihan Proses

Sirup glukosa dari pati sagu adalah cairan bening, tidak bewarna dan kental hasil hidrolisis, mengandung glukosa, dekstrin, dan sakarida lain. Pati sagu dipilih karena melimpah di Indonesia, lebih ekonomis, bebas GMO, ramah lingkungan, serta mendukung ekonomi lokal. Dibandingkan jagung, sirup ini lebih aman dan berkelanjutan. Jenis jenis hidrolisis pati pembuatan sirup glukosa:

1. Hidrolisis menggunakan Enzimatis.
2. Hidrolisis menggunakan Asam.

Tabel 1. Perbandingan proses produksi Sirup Glukosa

Parameter	Proses	
	Hidrolisis Enzimatis	Hidrolisis Asam.
Suhu	60 - 105°C	140-160°C
Tekanan	1 atm	3 atm
Konversi	95 – 98 %	30 – 55%

Berdasarkan perbandingan proses di atas, maka pabrik Sirup Glukosa yang dirancang menggunakan proses Hidrolisis Enzimatis.

2.2 Uraian Proses

Proses pembuatan sirup glukosa dari pati rumbia dengan proses hidrolisis enzim terbagi menjadi beberapa tahapan, yaitu:

1. Persiapan Bahan Baku

Proses pengolahan bahan baku sagu menjadi pati diawali dengan pemilihan pohon sagu yang telah matang, yaitu berusia antara 8 hingga 10 tahun. Tahap selanjutnya dilakukan pembersihan dan pemotongan batang sagu. Batang sagu dari gudang penyimpanan (F-111) dipindahkan menggunakan *belt conveyor 1* (J-112) kemudian diumpankan ke dalam *debarker* (C-110) untuk proses pengupasan kulit batang sagu dan diumpankan dengan menggunakan *belt conveyor 2* (J-113) ke washer (X-114) untuk dilakukan proses pencucian. Batang sagu yang telah dicuci kemudian diumpankan ke dalam *crusher* dengan menggunakan *belt conveyor 3* (J-115) untuk proses penghancuran batang sagu. Batang sagu yang telah dihancurkan selanjutnya dipindahkan

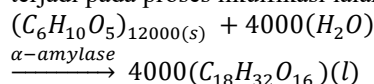
menggunakan *belt conveyor 4* (J-121) menuju ke dalam *hammer mill* (C-122) dengan tujuan untuk menghaluskan batang sagu yang telah dihancurkan. Batang sagu yang telah halus akan disalurkan ke dalam filter press (H-124) dengan menggunakan *belt conveyor 5* (J-123) untuk memisahkan kandungan air dan serat yang ada di dalam pati batang sagu. Bahan baku yang telah dipisahkan dari kandungan air dan serat akan diumpankan ke dalam *mixing tank* (M-210) dengan bantuan *screw conveyor* (J-125) dan *bucket elevator* (J-126) (Candra Z. 2022).

2. Gelatinisasi

Proses gelatinisasi berlangsung di dalam *mixing tank* (M-210), di mana pati sagu dicampurkan dengan air dan larutan CaCl_2 yang berasal dari bin CaCl_2 (F-221) hingga membentuk suspensi pati dengan konsentrasi sebesar 30%. Penambahan kalsium klorida bertujuan untuk menstabilkan sistem dan menciptakan lingkungan yang optimal bagi aktivitas enzim, dengan kadar ion Ca^{2+} sebesar 100 mg/L. Tangki pencampur ini dilengkapi dengan alat pengaduk untuk menjamin homogenitas campuran, dengan waktu pengadukan sekitar 30 menit pada kondisi suhu 90°C dan tekanan atmosferik, setelah proses pencampuran dan gelatinisasi selesai, suspensi tersebut dipompa menggunakan Pompa I (L-212) menuju reaktor likuifikasi (R-220) untuk menjalani proses hidrolisis lebih lanjut (Palguna, 2013).

3. Likuifikasi

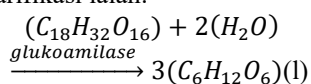
Gelatin pati yang telah terbentuk dialirkan ke dalam reaktor likuifikasi (R-220) untuk menjalani proses dekstrinisasi atau likuifikasi, dengan penambahan enzim α -amilase yang berasal dari bin enzim α -amilase (F-221). Jenis reaktor yang digunakan adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Reaktor ini dioperasikan pada suhu 90°C dan tekanan atmosfer, yang merupakan kondisi optimum bagi aktivitas enzim α -amilase dalam menghidrolisis pati. Enzim α -amilase berfungsi menguraikan pati menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana seperti dekstrin, maltosa, dan glukosa. Dosis enzim yang digunakan adalah sekitar 0,03 per kilogram pati kering (US Patent 5464760A). Enzim bekerja optimal pada pH antara 5 hingga 6, maka dilakukan penyesuaian pH dengan menambahkan larutan HCl yang disalurkan dari tangki HCl (F-222) menggunakan pompa 2 (L-223). Proses likuifikasi ini berlangsung selama dua jam (M. Sarungallo, 2025), dengan efisiensi hidrolisis mencapai sekitar 96,67% dekstrin (Ningsih, 2010). Reaksi yang terjadi pada proses likuifikasi ialah:



Reaksi yang berlangsung bersifat endoterm, maka reaktor dilengkapi dengan jaket pemanas untuk memasukkan uap panas (steam) guna menjaga suhu proses tetap stabil, setelah proses likuifikasi selesai, larutan maltodekstrin dipindahkan menggunakan pompa 3 (L-224) menuju tangki penampungan sementara (F-225). Larutan tersebut dialirkan melalui pompa 4 (L-226) menuju alat penukar panas (cooler) (E-227) untuk menurunkan suhu dari 90°C menjadi 60°C, setelah proses pendinginan, larutan diarahkan menuju reaktor sakarifikasi (R-230) untuk menjalani tahap reaksi selanjutnya.

4. Sakarifikasi

Larutan maltodekstrin yang telah didinginkan hingga mencapai suhu 60°C dialirkan dari alat pendingin (E-227) menuju reaktor sakarifikasi (R-230). Larutan yang masuk ke dalam reaktor memiliki pH mendekati 6. Jenis reaktor yang digunakan adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Reaktor ini dioperasikan pada suhu 60°C dan tekanan 1 atm, yang merupakan kondisi optimal untuk aktivitas enzim glukamilase. Fungsi dari reaktor sakarifikasi adalah untuk mengubah dekstrin dan sisa pati menjadi glukosa melalui penambahan enzim glukamilase (atau amiloglukosidase), yang dipasang dari bin enzim glukamilase (F-231) dan dimasukkan ke dalam reaktor (R-230). Dosis enzim yang digunakan dalam proses ini adalah sebesar 13,44 per gram pati, disesuaikan dengan waktu inkubasi (US Patent 5464760A). Enzim ini menunjukkan kinerja maksimal pada rentang pH 4–5 (Adrian, 2020). Proses sakarifikasi berlangsung selama 24 jam di bawah tekanan atmosferis di dalam reaktor R-230, setelah reaksi selesai, produk dialirkan menggunakan pompa 5 (L-232) menuju tangki penyimpanan (F-233). Hasil akhir dari proses ini adalah konversi dekstrin dan sisa pati hingga mencapai efisiensi sekitar 97% menjadi glukosa, yang selanjutnya disebut sebagai sirup glukosa. Reaksi yang terjadi pada proses sakarifikasi ialah:



Reaksi yang terjadi bersifat endotermis sehingga reaktor diberi jaket pemanas untuk *supply steam* yang dapat mempertahankan kondisi suhu didalam reaktor. Proses akhir setelah dari reaktor sakarifikasi (R-230), larutan glukosa dialirkan oleh pompa 6 (L-234) menuju *Rotary Drum Vacuum Filter* (H-310).

5. Proses Pemurnian

Larutan glukosa dialirkan menggunakan pompa 6 (L-234) menuju alat *Rotary Drum Vacuum Filter* (H-310) pada suhu 60°C. Tahap ini bertujuan

untuk memisahkan padatan (cake) dan zat pengotor yang masih tersisa dalam larutan. Sirup glukosa dipompa kembali menggunakan pompa 7 (L-311) menuju unit *Ion Exchanger* untuk proses demineralisasi. Tahapan ini penting untuk menghilangkan ion-ion pengotor seperti kalsium (Ca^{2+}) dari $CaCl_2$ dan klorida (Cl^-) yang berasal dari HCl, sebelum sirup masuk ke dalam evaporator, sisa-sisa ion hasil penambahan HCl perlu dihilangkan karena dapat memengaruhi kestabilan pH serta mutu akhir produk. Proses penukaran ion dilakukan terlebih dahulu dalam cation exchanger vessel (X-312) yang berisi resin aktif, kemudian dilanjutkan ke anion exchanger (X-314) melalui pompa 8 (L-313). Sirup glukosa yang telah dimurnikan dialirkan menggunakan pompa 9 (L-315) ke dalam evaporator (V-320) untuk proses konsentrasi. Tahap ini, larutan diuapkan hingga mencapai konsentrasi glukosa sebesar 75%, dilakukan pada suhu 125°C dan tekanan 1 atm selama 150 menit. Pengaturan suhu dan waktu penguapan bertujuan untuk mencegah perubahan warna menjadi kecokelatan (Rachmika, 2021). Uap air yang dihasilkan selama proses evaporasi langsung dialirkan ke sistem uap. Tahap akhir, sirup glukosa yang telah terkonsentrasi kemudian didinginkan menggunakan alat pendingin (cooler) (E-322) yang dialiri melalui pompa 10 (L-321).

6. Proses Finishing

Sirup glukosa yang telah melalui proses evaporasi kemudian didinginkan menggunakan alat pendingin (E-322) hingga suhunya turun menjadi 40°C, setelah mencapai suhu tersebut, sirup disalurkan ke tangki penyimpanan produk (F-323). Tangki ini berfungsi sebagai tempat penampungan sementara sirup glukosa sebelum masuk ke tahap selanjutnya, dengan durasi penyimpanan selama 7 hari. Produk sirup glukosa akan dibawa ke unit pengemas sebagai persiapan untuk proses distribusi dan pemasaran.

3. Neraca Massa dan Neraca Energi

Pabrik Sirup glukosa dirancang beroperasi 330 hari/tahun dengan jam kerja 24 jam dalam sehari. Berdasarkan perhitungan neraca massa, pabrik Sirup glukosa dari Pati rumbia membutuhkan bahan baku Sagu sebanyak 5450,75181 kg/jam dan menghasilkan Sirup glukosa sebanyak 2651,51515 kg/jam. Kebutuhan panas disediakan oleh unit pembangkit steam di utilitas. Steam masuk pada suhu 148°C. Total kebutuhan steam yang diperlukan sebesar 4533.5113 kg/jam.

4. Utilitas

Utilitas merupakan unit pendukung yang memiliki fungsi untuk memenuhi kebutuhan proses



produksi dalam pabrik. Utilitas perlu dirancang sesuai dengan kebutuhan sehingga proses dapat berjalan dengan baik. Berdasarkan dengan kebutuhan system utilitas pada pabrik sirup glukosa diklasifikasikan sebagai berikut:

Salah satu faktor penunjang kelancaran suatu proses produksi di suatu pabrik adalah penyediaan utilitas. Sarana penunjang merupakan sarana dapat berjalan sesuai yang diinginkan. Unit utilitas merupakan salah satu bagian yang sangat penting dalam menunjang jalannya proses produksi pada suatu industri kimia. Proses produksi dalam suatu pabrik tidak akan berjalan dengan baik apabila tidak terdapat utilitas. Berdasarkan hal tersebut, utilitas memegang peranan penting dalam pabrik. Perancangan diperlukan agar dapat menjamin kelangsungan operasi suatu pabrik. Terdapat unit utilitas yang terdapat di pabrik sirup glukosa dari pati rumbia dengan kapasitas 21.000 ton/tahun, yaitu:

- Unit Penyedia Kebutuhan Air
- Unit Pengolahan Air (Water Treatment Process)
- Unit Penyedia Kebutuhan Steam
- Unit Penyedia Kebutuhan Tenaga Listrik
- Unit Penyedia Bahan Bakar
- Unit pengolahan limbah

Kebutuhan air sanitasi sebanyak 1014.8112 kg/jam, kebutuhan air pendingin 8493.0576 kg/jam, kebutuhan air proses 10212.5943kg/jam, dan air umpan boiler sebanyak 7043.2150 kg/jam, dan kebutuhan steam 7043.2150 kg/jam. Tenaga listrik yang dibutuhkan untuk bangunan kantor dipenuhi oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) terdekat yaitu Gardu Induk Kawasan Industri Dumai serta Generator Set digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik proses dan utilitas, dengan total kebutuhan daya sebanyak 39.20 kWh/hari. Selain itu, akan digunakan suplai daya cadangan dengan menggunakan diesel (generator) untuk mendukung kondisi gangguan pemadaman atau maintenance penyedia listrik utama dengan daya 9.8008 kWh/hari. Bahan bakar yang digunakan berupa bahan bakar minyak dengan total kebutuhan sebesar 4.72846 kg/jam.

5. Evaluasi Ekonomi

Evaluasi ekonomi bertujuan untuk menilai kelayakan pendirian sebuah pabrik berdasarkan hasil rancangan yang telah dibuat. Dalam proses ini, beberapa komponen utama yang perlu dianalisis meliputi *Total Capital Investment (TCI)* atau total investasi modal, *Total Production Cost (TPC)* atau biaya keseluruhan produksi, *Pay Out Time (POT)* yang menunjukkan waktu pengembalian investasi, *Rate of Investment (ROI)* atau tingkat pengembalian modal, serta *Break Even Point (BEP)* yang menunjukkan titik impas produksi.

Total Capital Investment (TCI) mencerminkan total dana yang dibutuhkan untuk

membangun pabrik, yang mencakup *Fixed Capital Investment (FCI)* sebagai modal tetap dan *Working Capital Investment (WCI)* sebagai modal kerja. Sementara itu, *Total Production Cost (TPC)* menggambarkan keseluruhan biaya operasional yang diperlukan untuk menjalankan proses produksi di pabrik.

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), keuntungan adalah selisih positif antara pendapatan dan biaya, atau laba. Waktu pengembalian modal merupakan periode yang dibutuhkan pabrik untuk menutup kembali investasi awalnya.

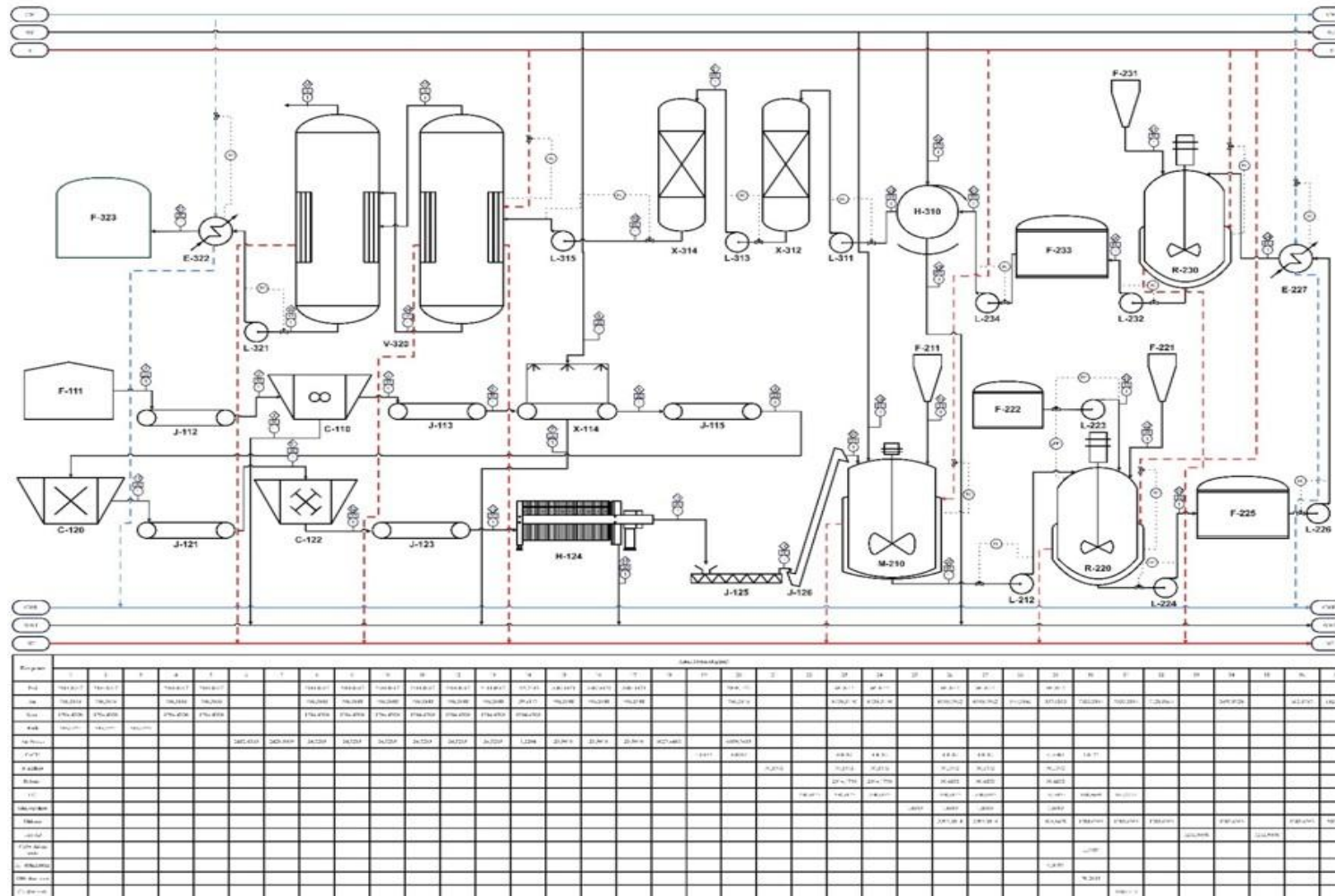
Tingkat pengembalian investasi atau ROI adalah perbandingan antara laba bersih yang diperoleh dan jumlah modal yang diinvestasikan. Agar investasi dianggap layak, ROI harus lebih tinggi dibandingkan suku bunga bank. Dalam studi ini, bunga acuan berasal dari Bank Seabank sebesar 7,82%. Adapun *Break Even Point (BEP)* menggambarkan kapasitas produksi saat pendapatan sama dengan biaya operasional, sehingga tidak ada laba maupun rugi. Suatu pabrik dinyatakan ekonomis apabila BEP-nya berada dalam kisaran 40% hingga 60% dari kapasitas produksi maksimum. Rincian hasil evaluasi ekonomi untuk pabrik Sirup glukosa dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Evaluasi Ekonomi Pabrik

Parameter	Nilai	Kesimpulan
Total modal	Rp 1.104.139. 401.083	
Biaya produksi	Rp 609.760. 796.180	
POT	2,8 Tahun	Layak
ROI	26%	Layak
BEP	44%	Layak



PRARANCANGAN PABRIK SIRUP GLUKOSA DARI PATI RUMBIJA MENGGUNAKAN PROSES HIDROLISIS ENZIMATIS KAPASITAS 21.000 TON/TAHUN



Gambar 1. Process Flow Diagram

6. Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan pembahasan yang terdapat pada bab-bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pabrik Sirup Glukosa berlokasi di Jl. P. Sumatera, Kelurahan Pelintung, Kecamatan Medang Kampai, Kota Dumai, Provinsi Riau, Indonesia.
2. Pabrik Sirup Glukosa ini memiliki kapasitas produksi sebesar 21.000 ton/tahun.
3. Bahan baku berupa pati rumbia yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan produksi pabrik ini adalah 7.267,669 kg/jam dengan produksi sirup.
4. Pabrik ini direncanakan beroperasi secara kontinyu 24 jam per hari selama 330 hari per tahun.
5. Bentuk badan usaha yang direncanakan pada pabrik ini adalah perseroan terbatas (PT) dengan jumlah karyawan sebanyak 171 orang.
6. Evaluasi ekonomi pabrik Sirup Glukosa:
 - Keuntungan Penjualan Bersih = Rp. 234.424.136.295
 - Tingkat pengembalian investasi (ROI) sebesar 26%.
 - Waktu pengembalian modal (POT) adalah 2,8 tahun.
 - BEP mencapai 44%.

Berdasarkan evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa pabrik Sirup Glukosa dari Pati Rumbia menggunakan Proses Hidrolisis Enzimatis dengan kapasitas 21.000 ton per tahun ini layak untuk didirikan.

Daftar Pustaka

- Aditiya, V., & Mustafa, S. (2023). Produktivitas Adrian, M., Triyono, S. & Yulianingsih, R., 2020, "Karakteristik Sirup Glukosa Berbahan Dasar Umbut Kelapa Sawit dengan Variasi Konsentrasi α -Amilase dan Suhu Gelatinisasi", *Jurnal Teknologi Pangan*, 14(1), 1–10.
- Akbar, R. I., 2022, "Pengaruh Proporsi Enzim Mix (Inulinase: Gluko-Amilase) dan Lama Sakarifikasi terhadap Karakteristik High Fructose Syrup dari Umbi Bengkuang", *Jurnal Teknologi Pangan*, 16(1), 57–71.
- Astuti, R., 2009, "Kajian Kandungan Bioaktif Sagu sebagai Pangan Fungsional", *Jurnal Pangan dan Gizi*, 6(2), 45–52.
- Badan Pusat Statistik, 2024, "Keadaan Ketenagakerjaan Provinsi Riau Februari 2023", Badan Pusat Statistik Provinsi Riau, diakses dari <https://riau.bps.go.id/id/pressrelease/2023/05/05/947/keadaan-ketenagakerjaan-provinsi-riau-februari-2023.html>
- Bintoro, M. H., Purwanto, M. Y. J. & Amarillis, S., 2010, "Sagu di Lahan Gambut", IPB Press, Bogor.
- Budiwati, R., 2019, "Kimia Dasar", Institut Teknologi Nasional (ITENAS).
- Bustaman, S., 2018, "Strategi Pengembangan Industri Sagu untuk Meningkatkan Perekonomian Masyarakat di Maluku", *Jurnal Litbang Pertanian*, 27(1), 25–30.
- Candra, Z., 2022, "Analisis Mutu Fisik Pati Sagu (*Metroxylon* sp.) dengan Lama Pengeringan yang Berbeda", disertasi doktoral, UIN Sultan Syarif Kasim Riau.
- Couper, J. R., Penney, W. R., Fair, J. R. & Walas, S. M., 2012, "Chemical Process Equipment: Selection and Design", Butterworth-Heinemann.
- Fadhilah, S. & Nurhalimah, S., 2024, "Analisis Kimia Pati Sagu dari Berbagai Pati Lokal", *Karimah Tauhid*, 3(10), 11726–11738.
- Flach, M. & Rumawas, F., 1996, "Sago Palm: *Metroxylon sagu* Rottb.", International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).
- Flinn Scientific, 2015, "Safety Data Sheet (SDS): Kalsium Klorida (CaCl_2)", Flinn Scientific, Inc.
- Flinn Scientific, 2020, "Safety Data Sheet: Calcium Chloride (CaCl_2)", Flinn Scientific.
- Hermaningsih, 2018, "Pabrik Sirup Glukosa dari Biji Jagung dengan Proses Hidrolisis Enzim", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Hull, P., 2010, "Glucose Syrups: Technology and Applications", John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781444314748>
- Jong, F. S. & Widjono, A., 2017, "Sagu: Potensi Besar Pertanian Indonesia", *Jurnal Iptek Tanaman Pangan*, 2(1), 54–65.
- Kusnarjo, 2010, "Desain Pabrik Kimia", Desain Pabrik Kimia.
- Lab Chem, 2020, "Lembar Data Keamanan Air", lembar data keselamatan bahan, diakses dari <http://www.labchem.com/tools/msds/msds/LC26750.pdf>
- Latuconsina, H., 2015, "Potensi Sagu sebagai Sumber Pangan Utama di Indonesia", *Jurnal Pertanian Tropik*, 4(1), 15–22.
- Masriatini, R., 2018, "Penambahan Gula terhadap Mutu Sirup Mangga", *Jurnal Redoks*, 3(1), 33–36.
- Miskiyah, K., Mulyawanti, I. & Haliza, W., 2011, "Pemanfaatan Pati Sagu untuk Pembuatan Sirup Glukosa Menggunakan Enzim α -Amilase dan Glukoamilase", *Jurnal Pascapanen*, 8(2), 99–107.
- Muhsin, A. & Pratama, Z., 2018, "Analisis Efektivitas Mesin Cooling Tower Menggunakan Range and Approach", *OPSI*, 11(2), 119. <https://doi.org/10.31315/opsi.v11i2.2552>

- Napitupulu, M., Sarungallo, Z., Situngkir, R. U., Iriani, F., Hutagaol, J. & Ginting, D., 2025, "Karakteristik Fisikokimia Sirup Glukosa dari Sagu (*Metroxylon* sp.) Lokal Papua yang Diproduksi secara Enzimatis", *Agriotech*.
- Nutri Survey, 2014, "Komposisi Gizi Bahan Makanan Indonesia", *Pusat Data dan Informasi Gizi Kesehatan*.
- Palguna, I. G. P. A., Sugiyono, S. & Haryanto, B., 2013.
- Permatasari, L., 2022, "Kecambah: Agen Penghidrolisis Pati yang Potensial", *Sasambo Journal of Pharmacy*, 3(2), 111–114.
- Phieter, A. C., Chrisnasari, R. & Pantjajani, T., 2020, "Karakterisasi Enzim Pemecah Pati dari Malt Serelia", *KELUWIH: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(1), 38–48. <https://doi.org/10.24123/saintek.v1i1.2773>
- Puspita, D., Setiawan, B. & Sunarti, T. C., 2017, "Karakteristik Pati Sagu dan Pengembangan Produk Turunannya", *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 27(2), 180–189.
- Rachmika, R., Rahman, M. A., Mulyadi, E. & Triana, N. W., 2021, "Pengaruh *Vacuum Evaporator* dan *Vacuum Dryer* dalam Produksi Dekstrosa Monohidrat Berbasis Tapioka *Off-Grade*", *Chempro*, 2(3), 28–32.
- Rahman, M. A., Abdullah, N., Amin, I. & Shariff, F. M., 2021, "Phenolic Compounds and Antioxidant Properties of Sago Starch", *Food Chemistry*, 340, 127933.
- Rahmawati, A. Y. & Sutrisno, A., 2015, "Hidrolisis Tepung Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas* L.) secara Enzimatis Menjadi Sirup Glukosa Fungsional: Kajian Pustaka", *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 3(3), 1152–1159.
- Rudi, N. & Sudaryati, H. P., 2017, "Produksi Sirup Glukosa Hasil Hidrolisis Enzimatis Pati Garut (*Glucose Syrup from Enzymatic Hydrolysis of Arrowroot Starch*)".
- Safety Data Sheet, t.t., "Safety Data Sheet", GBiosciences.
- Salsabila, A. L. & Fahrurroji, I., 2021, "Hidrolisis pada Sintesis Gula Berbasis Pati Jagung", *Edufortech*, 6(1), 32–38.
- Sandifa, M. N., Chumaidi, A. & Hadiangoro, S., 2024, "Analisis Biaya Utilitas pada Prarancangan Pabrik *Disproportionated Rosin* dari Gondorukem Grade WG dengan Kapasitas 3.000 Ton/Tahun", *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 10(4), 880–888.
- Setiadi, 2007, "Pengolahan dan Penyediaan Air", Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Singhal, R. S., Kennedy, J. F., Gopalakrishnan, S. M., Kaczmarek, A., Knill, C. J. & Akmar, P. F., 2008, "Industrial Production, Processing, and Utilization of Sago Palm-Derived Products", *Carbohydrate Polymers*, 72, 1–20.
- Smith, R., 2016, "Chemical Process Design and Integration", John Wiley & Sons.
- Syartiwiwida, S., 2023, "Potensi Sagu (*Metroxylon* sp.) dalam Mendukung Ketahanan Pangan di Provinsi Riau", *Selodang Mayang: Jurnal Ilmiah Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Indragiri Hilir*, 9(1), 77–84.
- Tarigan, T., Purba, R. Y. & Silalahi, M., 2015, "Indeks Glikemik Beberapa Jenis Makanan Berbasis Sagu", *Jurnal Gizi dan Pangan*, 10(3), 195–202.
- Turton, R., Bailie, R. C., Whiting, W. B. & Shaeiwitz, J. A., 2018, "Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes", Prentice Hall.
- Water, H. C., 2019, "Material Safety Data Sheet (MSDS): Hydrochloric Acid", Itthad Chemicals Limited.

