

PRARANCANGAN PABRIK SORBITOL DARI JERAMI PADI DENGAN METODE HIDROGENASI KATALITIK KAPASITAS 54.026 TON/TAHUN

Ulfa Faizatul Laily^{1*}, Nanda Ayudiyah Andriani¹, Oktavia Nurjanah¹, Boy Arief Fachri¹,
Bekti Palupi¹, Yukti Nurani¹

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

*Corresponding Author: ulfaf134@gmail.com

Abstrak

Meningkatnya permintaan sorbitol dalam industri pangan, farmasi, dan kosmetik di Indonesia mendorong pengembangan metode produksi lokal yang berkelanjutan. Studi ini menyajikan prarancangan pabrik sorbitol dengan kapasitas 54.026 ton/tahun menggunakan jerami padi sebagai bahan baku utama. Proses terdiri atas empat tahap utama: praperlakuan, delignifikasi, hidrolisis, dan hidrogenasi katalitik. Jerami padi diproses melalui steam explosion untuk mengekstraksi selulosa, dilanjutkan delignifikasi menggunakan NaOH, kemudian dihidrolisis menjadi glukosa menggunakan asam sulfat. Glukosa selanjutnya dikonversi menjadi sorbitol melalui reaktor trickle bed dengan katalis nikel Raney pada kondisi 70 atm dan 135°C. Produk sorbitol dimurnikan melalui tahapan konsentrasi, kristalisasi, pengeringan, dan penyaringan. Kebutuhan utilitas dipenuhi melalui pengolahan air dari Sungai Bengawan Solo, pasokan listrik dari PT PLN ULP Lamongan, serta energi panas dari batu bara antrasit dan bahan bakar diesel. Evaluasi ekonomi menunjukkan bahwa pabrik membutuhkan investasi awal sebesar Rp2,44 triliun dan menghasilkan laba bersih sebesar Rp10,26 triliun. Waktu pengembalian modal (Pay Out Time) tercatat selama 3,8 tahun dengan titik impas (Break-even Point) sebesar 44%. Berdasarkan hasil analisis, pabrik sorbitol berbasis jerami padi dengan teknologi hidrogenasi katalitik ini dinilai layak dan ekonomis untuk dikembangkan di Indonesia.

Kata Kunci: jerami padi, sorbitol, hidrogenasi katalitik, evaluasi ekonomi

1. Pendahuluan

Permintaan industri makanan dan minuman terus meningkat terutama dalam produk gula. Kebutuhan global yang semakin tinggi akan gula telah memicu pengembangan berbagai jenis pemanis alternatif, salah satunya yaitu sorbitol. Sorbitol dapat digunakan sebagai solusi pemanis dan gula alami karena mengandung kalori yang lebih rendah dibandingkan dengan sukrosa. Sorbitol juga menjadi bahan dasar dalam pembuatan pasta gigi, kosmetik, obat-obatan, dan produk makanan. Sebagian besar kebutuhan sorbitol di Indonesia masih bergantung pada impor karena jumlah produsen dan produksi sorbitol dalam negeri masih terbatas, meskipun bahan ini memiliki banyak kegunaan. Oleh karena itu, pengembangan industri sorbitol diharapkan mampu mengurangi ketergantungan industri nasional pada negara lain.

Sorbitol memiliki beberapa kelebihan, di antaranya tingkat kemanisan yang lebih rendah

dibandingkan sukrosa, yaitu sekitar 0,5 hingga 0,7 kali tingkat kemanisan sukrosa. Selain itu, sorbitol memberikan kalori sebesar 16,7 J/g (4 kal/g), sehingga lebih dapat ditoleransi oleh penderita diabetes dibandingkan sukrosa. Keunggulan lainnya adalah sorbitol tidak mudah difermentasi oleh mikroorganisme di dalam mulut, sehingga tidak menyebabkan kerusakan gigi (bersifat nonkariogenik). Secara kimia, sorbitol relatif stabil dan kompatibel dengan sebagian besar bahan tambahan obat. Zat ini juga tidak memiliki efek toksik, sehingga aman untuk dikonsumsi oleh manusia dan bermanfaat dalam diet karena rendah kalori (Aini et al., 2016).

Penggunaan jerami padi sebagai bahan baku produksi sorbitol menawarkan beberapa keuntungan: bahan baku yang murah dan melimpah, mengurangi limbah jerami, menekan biaya produksi sorbitol, mengurangi dampak



negatif lingkungan akibat pembakaran jerami, serta mendukung konsep ekonomi sirkular dengan mengubah limbah menjadi produk bernilai tambah (Putra et al., 2023). Tingginya produksi padi berdampak pada meningkatnya jumlah jerami sebagai limbah hasil panen padi. Limbah jerami yang dihasilkan dapat mencapai 1–1,5 kg per kilogram padi yang dipanen. Jerami padi mengandung selulosa sekitar 33%-47%, hemiselulosa sekitar 19%-27%, lignin 5%-24%, dan silika dioksida 18,3% (Singh, 2016). Kandungan selulosa yang tinggi serta ketersediaannya yang melimpah membuat jerami padi menjadi bahan baku alternatif yang potensial untuk produksi sorbitol. Berikut merupakan data kapasitas produksi sorbitol di Indonesia yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kapasitas Sorbitol di Indonesia

Nama Perusahaan	Kapasitas (Ton/Tahun)
PT. Sorini Agro Asia Corporindo	52.000
PT. Sorini Towa Berlian Corporindo	62.000
Total	114.600

Berdasarkan pertimbangan data ekspor, impor, konsumsi, dan produksi sorbitol yang digunakan pada tahun 2018 - 2022, produksi sorbitol dari Jerami padi diperkirakan berdiri pada tahun 2030 dengan kapasitas produksi sebesar 54.026 ton/tahun. Proyeksi ini menggarisbawahi potensi pertumbuhan industri yang signifikan dan kemampuannya untuk memenuhi permintaan pasar yang terus meningkat. Kapasitas tersebut, diharapkan dapat menyesuaikan dengan kebutuhan pasar, sehingga menjamin pasokan yang optimal untuk mendukung berbagai industri yang mengandalkan sorbitol sebagai bahan utama.

2. Proses Produksi

2.1 Pemilihan Proses

Aspek penting yang perlu diperhatikan dalam pemilihan suatu proses produksi meliputi pemilihan bahan baku, konversi reaksi, jumlah produk yang dihasilkan, serta kondisi operasi seperti suhu dan tekanan. Kriteria, prosedur produksi sorbitol, beserta kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode dapat

ditinjau pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Proses Produksi Sorbitol

Parameter	Proses	
	Reduksi elektrolit	Hidrogenasi Katalitik
1 Segi Proses		
Bahan baku	Glukosa, NaOH dan Na ₂ SO ₄	Glukosa dan Hidrogen
Konversi Reaksi	85%	95 – 99%
2. Kondisi Operasi		
Tekanan	125 atm	70 – 140 atm
Suhu	120 – 140°C	120 – 150°C
3 Proses	Tahapan proses, bahan penunjang, dan reaksi samping lebih banyak	Tahapan proses, bahan penunjang, dan reaksi samping lebih sedikit
Penggunaan proses	Jarang digunakan	Umum digunakan
4 Segi Ekonomi	Harga elektroda mahal serta membutuhkan daya yang besar untuk elektrolisis	Harga bahan baku penunjang mudah di dapat dan cukup terjangkau

Sumber : (Defri et al., 2021)

2.2 Uraian Proses

2.2.1 Pretreatment

Jerami padi dikeringkan pada suhu ruang lalu disimpan pada *storage* (F-111), selanjutnya dipindahkan menggunakan conveyor (J-112). Jerami padi diperkecil ukurannya menggunakan *crusher* (C-113) hingga berukuran 0,177 mm (Novia et al., 2015); US. Patent No. 9278896, 2016), kemudian dialirkan menuju tangki *steam explosion* (R-110) menggunakan *bucket elevator* (J-114). Tangki *steam explosion* beroperasi dengan menginjeksikan steam pada suhu 198,29°C dan tekanan menjadi 1,5 MPa (Semwal et al., 2024).

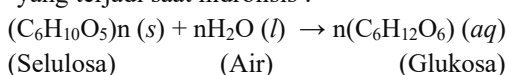
Operator yang berada pada jarak aman setelah 15 menit, secara spontan menurunkan tekanan reaktor. *Slurry* yang meledak bersama uap kemudian dialirkan ke *cyclone* (F-115) untuk memisahkan *slurry* dari uap. *Slurry* dialirkan ke *centrifuge* (H-116) untuk dicuci dan dipisahkan antara senyawa selulosa dan hemiselulosa. Proses ini menghasilkan fraksi padat yang terdiri dari selulosa dan lignin, sementara fraksi cairnya berupa



hemiselulosa yang terlarut dalam air. Fraksi hemiselulosa tersebut kemudian dialirkan ke unit lain untuk dimanfaatkan lebih lanjut.

Senyawa selulosa dan lignin yang dihasilkan kemudian dipindahkan menggunakan *screw conveyor* (J-117) menuju tangki delignifikasi (R-120). Proses delignifikasi dilakukan untuk mengurangi kadar lignin dengan menggunakan reaktor berpengaduk (R-120) yang diberi larutan NaOH 9% dan dipanaskan hingga suhu 100°C selama 1 jam. Waktu operasi selesai, campuran tersebut difiltrasi untuk memisahkan fase padat menggunakan *rotary vacuum filter* (H-123), lalu dialirkan keluar dengan *screw conveyor* (J-124). Pulp selulosa dipindahkan menuju tangki hidrolisis (R-130). Pada tahap *pretreatment* ini, komposisi pulp selulosa terdiri dari 49% selulosa; 27% hemiselulosa; 24% lignin. Larutan NaOH digunakan dalam proses delignifikasi karena mampu merusak ikatan eter yang menghubungkan lignin dengan selulosa, sehingga lignin dapat dihilangkan dan porositas biomassa meningkat (Veptiyan et al., 2019).

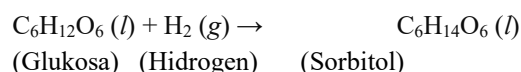
Asam sulfat (F-131) diencerkan hingga 70% dengan penambahan air selama 1 jam yang kemudian dialirkan ke dalam tangki berpengaduk (M-132). Tangki hidrolisis (R-130) direaksikan pada suhu 100°C, tekanan 1 atm dalam 1 jam untuk memecahkan selulosa menjadi glukosa. Reaksi selesai, campuran dialirkan menuju *cooler* (E-133) untuk didinginkan menjadi 30°C, setelah suhu 30°C dialirkan menuju *rotary drum vacuum filter* (H-134) untuk memisahkan fraksi padat dan fraksi cair. Larutan gula menuju *mixer* (M-135) untuk dicampurkan dengan natrium hidroksida dari tangki (M-122) untuk menetralkan sehingga larutan gula bebas dari asam. Proses ini akan menghasilkan natrium sulfat (Na₂SO₄) sebagai produk samping. Campuran tersebut kemudian dialirkan menuju *centrifuge* (H-136) untuk memisahkan natrium sulfat dengan cairan. Cairan glukosa diproses pada tahap berikutnya. Reaksi yang terjadi saat hidrolisis :



2.2.2 Hidrogenasi katalitik

Katalis *raney nickel* dari gudang penyimpanan *raney nickel* (F-211) dipindahkan menggunakan *belt conveyor* (J-212) menuju *hopper* (F-214). *Hopper* (F-214) mengatur jumlah katalis

sebelum dialirkan ke reaktor (R-210) melalui bagian atas reaktor. Pencampuran antara glukosa dan hidrogen dilakukan dengan rasio perbandingan glukosa : hidrogen = 1 : 2000. Hidrogen dari PT. Air Product dan hidrogen *recycle* dialirkan ke kompresor (G-215) untuk menaikkan tekanannya dari 30 atm menjadi 70 atm. Larutan glukosa dan hidrogen yang telah dinaikkan tekanannya kemudian masuk kedalam *heater* (E-216). Larutan bersuhu 135°C tersebut dimasukkan ke dalam reaktor bertekanan (R-210). Reaktor yang digunakan adalah reaktor *trickle bed* dimana kedua reaktan tersebut akan melewati partikel-partikel katalis yang ada di dalam reaktor. Larutan dialirkan menuju *flash separator* (H-217) untuk memisahkan gas hidrogen dari larutan sorbitol. Larutan sorbitol dari separator (H-217) bersuhu 155°C didinginkan hingga 80°C menggunakan *cooler* (E-218). Hidrogen yang tidak dikonsumsi di *recycle* menuju ke *pressure reducing valve* (PRV) untuk mengurangi tekanan gas hidrogen sebelum masuk ke kompresor (G-215). Reaksi ini menghasilkan konversi sorbitol sebesar 99%. Hasil yang diperoleh, yaitu larutan sorbitol, glukosa, air, xylitol, dan hidrogen, dialirkan menggunakan pompa (L-219) menuju evaporator (V-310) untuk memekatkan larutan sorbitol 20% menjadi 70%. Reaksi yang terjadi saat proses hidrogenasi katalitik :



2.2.3 Tahap pemisahan dan pemurnian produk

Evaporator (V-310) dioperasikan pada tekanan 1 atm dengan pertimbangan bahwa sorbitol tidak akan mengalami degradasi. Evaporasi dilakukan pada suhu 100°C. Uap air yang dihasilkan akan dialirkan menuju unit utilitas. Larutan sorbitol 70% yang dihasilkan akan dialirkan menuju *crystallizer* (CR-320) untuk di kristalisasi. Proses pembentukan kristal berlangsung dengan waktu tahan selama 1 jam di dalam *crystallizer*. Suhu diatur sebesar 29°C. Larutan diubah menjadi 98% kristal sorbitol didalam *crystallizer* (CR-320). Hasil dari *crystallizer* (CR-320) kemudian dialirkan menuju *rotary dryer* (B-321) untuk dilakukan pengeringan selama 42 menit hingga suhu mencapai 90°C. Pengeringan ini menggunakan udara panas bersuhu 100°C yang berasal dari *steam*. Kristal sorbitol didinginkan menggunakan *cooler* (E-323) dengan



suhu 29°C. Udara yang mengandung kristal halus dari *dryer* (B-321) masuk ke dalam *cyclone* (H-322). *Output* utama adalah kristal sorbitol yang akan dilanjutkan ke *crusher* (C-325) untuk menghaluskan sorbitol menjadi 65 mesh. Sorbitol dilanjutkan ke *vibrating screen* (VS-326) untuk disaring dengan getaran otomatis. Produk *off speck* akan di *recycle* ke *ball mill* (C-325) agar kristal sorbitol memiliki ukuran yang seragam. Produk *on speck* dialirkan dengan menggunakan *belt conveyor* (J-327) untuk menuju silo (F-328).

3. Utilitas

Sumber air bersih dalam pabrik ini diperoleh dari Sungai Bengawan Solo, yang telah melalui proses pengolahan agar memenuhi standar kualitas yang berlaku. Kebutuhan listrik utama disuplai oleh PT PLN ULP Lamongan, dengan total konsumsi listrik sebesar 1.947,88 kW per jam. Sementara itu, bahan bakar untuk pemanasan pada generator dan boiler menggunakan *Anthracite Coal* serta *Diesel Fuel*. Rincian kebutuhan utilitas secara keseluruhan disajikan dalam tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Kebutuhan air Pabrik Sorbitol

No.	Jenis Kebutuhan	Laju alir air (kg/jam)
1	Air Umpan Boiler	116.424,62
2	Air Pendingin	117.968,71
3	Air Proses	155.480,05
4	Air Sanitasi	170,80
Total		390.044,18

Tabel 4. Kebutuhan listrik Pabrik Sorbitol

Jenis Kebutuhan	Daya (kW/jam)	Daya (hp/jam)
Peralatan		
1. Proses, Utilitas, dan Instrumentasi	1.249,44	1.249,44
2. Kantor, Laboratorium, dan Fasilitas Lainnya	249,89	335,10
3. Penerangan	123,91	166,16
Total Kebutuhan	1.623,23	1.750,70
Faktor keamanan (20%)	324,65	350,14
Total Kebutuhan dan Faktor Keamanan	1.947,88	2.100,84

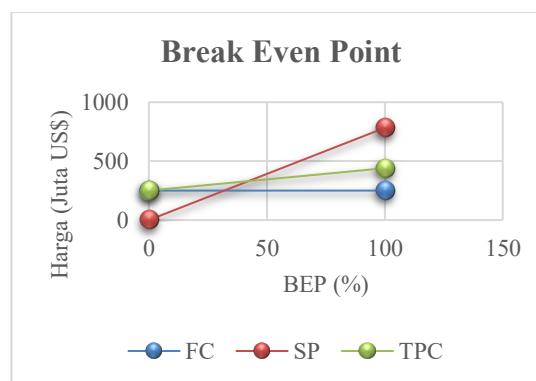
4. Evaluasi Ekonomi

Tinjauan kelayakan pendirian pabrik sorbitol disajikan secara ringkas pada Tabel 5. Berdasarkan berbagai aspek penilaian, pabrik sorbitol berbahan dasar jerami padi dinyatakan layak untuk dibangun. Hal ini ditinjau dari sejumlah parameter evaluasi, antara lain *Annual Cash Flow* (ACF), *Pay Out Time* (POT), *Net Profit Over Total Life of the Project* (NPOTLP), *Total Capital Sink* (TCS), *Rate of Return* (ROR), serta *Break Even Point* (BEP).

Tabel 2. Evaluasi Ekonomi

Parameter	Hasil Perhitungan	Syarat Layak
ACF	42%	ACF > Bunga bank %
POT	3,8	POT < Setengah umur pabrik
NPOTLP	Rp112.893.646.460.430	NPOTLP > TCI + Jumlah bunga
ROR	16,8%	ROR > Bunga bank%
BEP	44%	40% < BEP < 60%

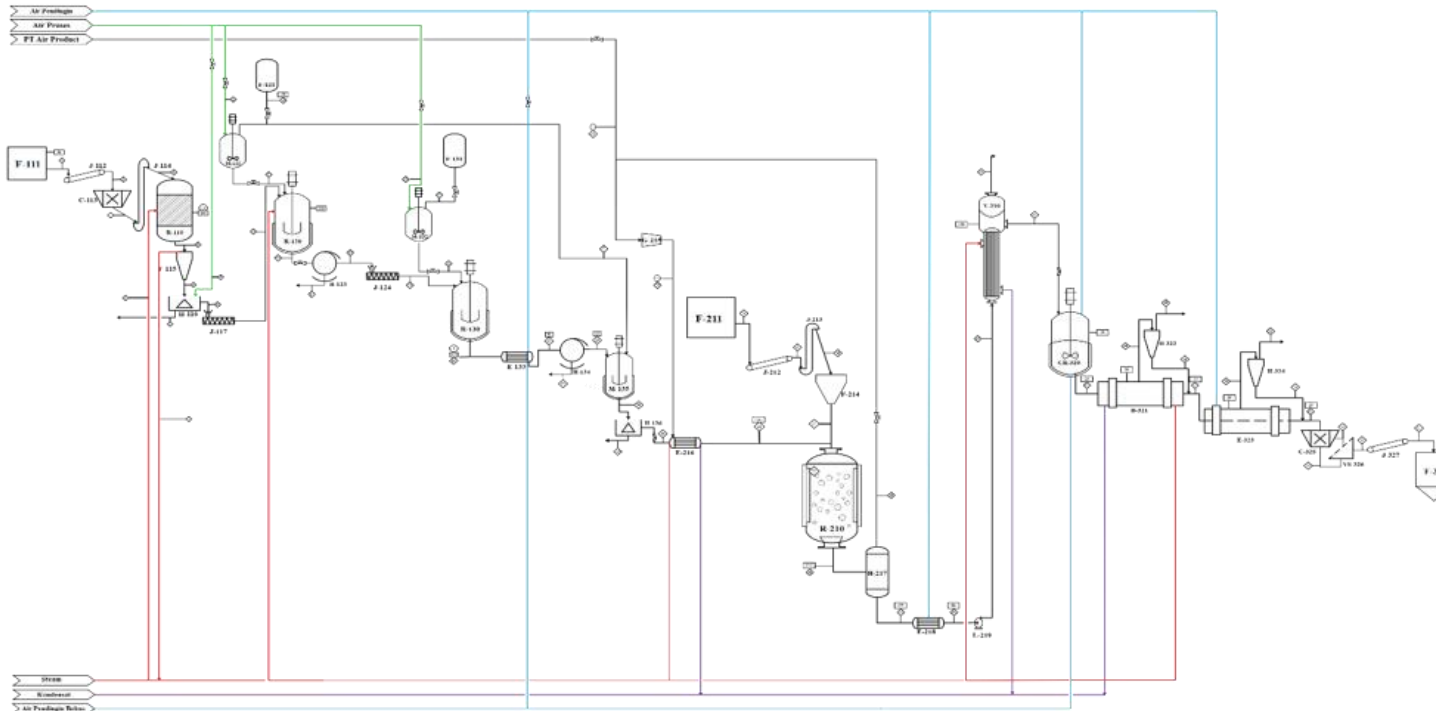
Break Even Point (BEP) merupakan suatu kondisi di mana jumlah biaya produksi yang dikeluarkan setara dengan pendapatan yang diperoleh, sehingga pada titik ini pabrik berada dalam keadaan impas, yaitu tidak mengalami keuntungan maupun kerugian. *Break even point* disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik BEP



PROGRAM STUDI DI S1 TEKNIK KIMIA JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS JEMBER		
DIAGRAM ALIR PROSES PRA-RANCANGAN PABRIK SORBITOL DARI JERAMI PAADI DENGAN METODE HIDROGENAS KATALITIK KAPASITAS 54.000 TON/TAHUN		
DISUSUN OLEH:		
ULFA F. FAZULTAL LAILY	(211910401009)	
NANDA AYUDYAH ANDRIANI	(211910401015)	
OKTAVIA NURINAH	(211910401055)	
DOSEN PEMBIMBING UTAMA: Ir. Bekti Palupi, S.T., M.Eng, IPM		
Kode Alat	Keterangan	
(F-111)	Gudang penyimpanan jerami padi	
(G-112)	Grain Conveyor jerami padi	
(C-113)	Crusher Jerami Padi	
(R-114)	Bucket elevator jerami padi	
(R-110)	Tangki steam explosion	
(F-115)	Cyclone	
(R-116)	Centrifuge	
(F-117)	Screw Conveyor	
(R-120)	Tangki Delignifikasi	
(F-121)	Tangki Penyimpanan NaOH 48%	
(M-122)	Mixer Pengenceran NaOH 9%	
(H-123)	Rotary Drum Vacuum Filter	
(F-124)	Screw Conveyor	
(F-131)	Tangki Penyimpanan H2SO4 98%	
(M-132)	Mixer Pengenceran H2SO4 70%	
(R-130)	Tangki Hidrolisis	
(F-133)	Cooler	
(H-134)	Rotary Drum Vacuum Filter	
(M-135)	Mixer	
(H-136)	Centrifuge	
(G-125)	Kompresor	
(F-216)	Heater	
(F-212)	Gudang penyimpanan katalis raney nickel	
(F-213)	Screw Conveyor	
(F-213)	Bucket elevator	
(F-214)	Hopper	
(F-214)	Reaktor Hidrogenasi katalitik	
(F-218)	Flash separator	
(F-219)	Cooler	
(L-217B)	Pompa	
(V-310)	Evaporator	
(CR-320)	Crystallizer	
(R-321)	Rotary Dryer	
(H-322)	Cyclone	
(F-323)	Rotary cooler	
(R-324)	Cyclone	
(C-325)	Ball mill	
(VS-326)	Vibrating screen	
(F-327)	Bell conveyor	
(F-328)	Silos	

[illegible][illegible]

Gambar 2 *Process Flow* Diagram Pabrik Sorbitol dari Jerami Padi

5. Kesimpulan

Berdasarkan uraian proses dan hasil perhitungan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Lokasi pabrik sorbitol di Kecamatan Babat, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur
- Kapasitas produksi pabrik sorbitol sebesar 54.026 ton/tahun dengan bahan baku berupa Jerami padi
- Pabrik sorbitol beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun
- Pabrik sorbitol direncanakan memiliki bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT)
- Evaluasi Ekonomi diperoleh:
 - Total modal (TCI) = Rp2.440.467.879.445
 - Ongkos produksi (TPC) = Rp2.348.292.069.291
 - Keuntungan (laba bersih) = Rp10.263.957.420.409
 - Lama waktu Pengembalian = 3,8 Tahun
 - Break Event Point (BEP) = 44%
- Berdasarkan evaluasi ekonomi disimpulkan bahwa pabrik sorbitol dari Jerami padi dengan metode hidrogenasi katalitik kapasitas 54.026 ton/tahun layak untuk didirikan

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, F. Y., Affandi, D. R., & Basito, 2016, "Kajian Penggunaan Pemanis Sorbitol sebagai Pengganti Sukrosa terhadap Karakteristik Fisik dan Kimia Biskuit Berbasis Tepung Jagung (*Zea mays*) dan Tepung Kacang Merah (*Phaseolus vulgaris* L.)", *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 9(2), 22–32.
- Aisiyah, A. N., 2023, "Pra Perancangan Pabrik Sorbitol dari Pati Jagung Menggunakan Katalis Raney Nickel pada Proses Hidrogenasi Katalitik Kapasitas 25.000 Ton/Tahun", skripsi, Universitas Diponegoro.
- Ar-Rosyidah, F. H., Rochman, H. A., Hendrianie, N., & Juliastuti, S. R., 2016, "Studi Pendirian Pabrik Natrium Sulfat Dekahidrat di Kabupaten Sampang", *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), B320–B323.
- Awuchi, C. G. & Echeta, C. K., 2019, "Current Developments in Sugar Alcohols: Chemistry, Nutrition, and Health Concerns of Sorbitol, Xylitol, Glycerol, Arabitol, Inositol, Maltitol, and Lactitol", *International Journal of Advanced Academic Research | Sciences*, 5(11), 2488–9849.
- Badan Pusat Statistik, 2024, "Luas Panen Padi dan Produksi Padi di Indonesia 2024".
- Bank Indonesia, 2025, "Bank Indonesia", diakses 29 Juni 2025.
- Bank Mandiri, 2025, "Suku Bunga Dasar Kredit Rupiah", diakses 14 Juli 2025.
- Brownell, L. E. & Young, E. H., 1959, *Process Equipment Design*, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Bucket Elevator Design Guide*, Chief Agri, Kearney, Nebraska, 2010, "Bucket Elevator Design Guide", Chief Agri, Kearney, Nebraska.
- Budianto, B., 2022, "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Etilen Oksida Bahan Baku Etanol dengan Kapasitas Produksi 85.000 Ton/Tahun", skripsi, Universitas Jambi.
- Choirunnisa, A. & Mustain, A., 2023, "Penentuan Kapasitas Produksi dan Seleksi Proses Pra Rancangan Pabrik Kimia Bioetanol Gel Kapasitas 5000 Ton/Tahun", *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(1), 86–93. <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i1.251>
- Defri, I., Irfansyah, A., Sudarsono, S. N. & Saputro, E. A., 2021, "Teknologi Pembuatan Sorbitol dari Tepung Tapioka dengan Proses Hidrogenasi Katalitik", *Atmosphere*, 2(2), 8–13.
- Geankoplis, C. J., 1978, *Transport Processes and Unit Operations*, edisi ke-3, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Hazrol, M. D., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S. & Zuhri, M. Y. M., 2021, "Corn Starch (*Zea mays*) Biopolymer Plastic Reaction in", *Polymers*, 13(242), 1–22.
- Hill, C. G., 1977, *An Introduction to Chemical Engineering Kinetics & Reactor Design*, Engineering.
- Janna, M. & Sulham, N. F., 2024, "Pra Rancangan Pabrik Ethylenediamine Kapasitas 10.000 Ton/Tahun", skripsi, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kimia Berkelanjutan, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar.
- Kurniati, I. H., U. M., Yustiana, D. & Fajriah, I., 2017, "Proses Delignifikasi Menggunakan NaOH dan Amonia (NH₃) pada Tempurung Kelapa", *Jurnal Integrasi Proses*, 6(4), 197–201.
- Kusnarjo, 2010, *Desain Pabrik Kimia*.
- Levenspiel, O., 1999, *Chemical Reaction Engineering*, edisi ke-3, John Wiley & Sons, New York.
- Notiyanto, A., Soebiyakto, G. & Suwandono, P., 2019, "Studi Proses Pirolisis Berbahan Jerami Padi terhadap Hasil Produksi Char dan Tar sebagai Bahan Bakar Alternatif", *Jurnal PROTON*, 11(1), 21–28.
- Novia, Yanto, A. R. & Saputra, A., 2015, "Padi yang Didelignifikasi dengan Alkaline-Ozonolysis Pretreatment", *Jurnal Teknik Kimia*, 19(4), 1–6.
- Perry, R. H. & Green, D. W., 2019, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, edisi ke-9, McGraw-Hill Education.
- Peters, M. S. & Timmerhaus, K. D., 2004, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, edisi ke-5, McGraw-Hill Book



- Co., Inc., New York.
- PT Air Products & Chemicals, 2018, *Hydrogen PSA Technology*, PT Air Products & Chemicals.
- PT Petrokimia Gresik, 2019, *Asam Sulfat Safety Data Sheet*.
- PT Smart Lab Indonesia, 2018, "Lembar Data Keselamatan Bahan: Aquadest", *Smart Lab*, 0(1907), 1–6.
- PT Smart Lab Indonesia, 2022, "Lembar Data Keselamatan Bahan: Sodium Hydroxide", *Smart Lab*, 0(1907), 1–6.
- Putra, R. E. P., Santoso, C. R. & Susilowati, T., 2023, "Utilization of Rice Straw Waste in the Manufacture of Edible Film (Study of the Addition of Lignin and Sorbitol)", *Jurnal Indonesia Sosial Sains*, 4(2), 166–173. <https://doi.org/10.36418/jiss.v4i02.782>
- Sa'diah, S., 2019, "Prarancangan Pabrik Sorbitol dari Glukosa melalui Proses Hidrogenasi Katalitik Kapasitas 10.000 Ton/Tahun", *Jurnal Tugas Akhir Teknik Kimia*, 1(2), 1–7.
- Science Lab, 2012, "Material Safety Data Sheet: Sorbitol", *Chemicals & Laboratory Equipment*, 1–6.
- Semwal, S., Sivagurunathan, P., Satlewal, A., Kumar, R., Gupta, R. P., Christopher, J. & Kumar, R., 2024, "An Efficient and Cost-Effective Pretreatment of Rice Straw Using Steam Explosion: A Pilot Scale Experience", *Waste and Biomass Valorization*, 15(4), 1975–1986. <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02267-5>
- Singh, R., Srivastava, M. & Shukla, A., 2016, "Environmental Sustainability of Bioethanol Production from Rice Straw in India: A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 202–216.
- Sinnott, R. K., 2005, *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Design*, Volume 6, edisi ke-4, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Smith, J. & Van Ness, H., 1975, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, McGraw-Hill Book Companies, Inc., Tokyo.
- Sutini, Widiastuty, Y. R. & Ramadhani, A. N., 2020, "Review: Hidrolisis Lignoselulosa dari Agricultural Waste sebagai Optimasi Produksi Fermentable Sugar", *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 3(2), 59. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v3i2.42788>
- Triandini, H. N., Haryanto, A. & Rahmawati, W., 2022, "Karakteristik Bahan Bakar Pelet Jerami Padi: Pengaruh Ukuran Partikel dan Penambahan Bekatul".
- Ulrich, G. D., 1984, *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Veptiyan, E. D., Apriani, M. & Mayangsari, N. E., 2019, "Pengaruh Waktu Delignifikasi terhadap Karakteristik Selulosa dari Daun Nanas dan Jerami", *National Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, 2623, 59–64.
- Walas, S. M. et al., 1990, *Chemical Process Equipment: Selection and Design*, edisi ke-3, Elsevier, Inc., Oxford.
- Widyahapsari, D. A. N., Indrati, R., Setyabudi, S. & Sardjono, 2016, "Evaluasi Perlakuan Pendahuluan Menggunakan Kalsium Hidroksida untuk Biokonversi Jerami Padi menjadi L-Asam Laktat oleh *Rhizopus oryzae* AT3", *AGRITech*, 36(3), 253–260.
- Yaws, C. L., 1999, *Chemical Properties Handbook*, McGraw-Hill.

