

**PRARANCANGAN PABRIK GLUKOSA DARI SABUT KELAPA
DENGAN METODE HIDROLISIS ASAM FOSFAT 40.000 TON/TAHUN**

Tugas Khusus

Perancangan *Reactor*-02

(Skripsi)

Oleh:

AZIZA FITRIANI

2055041006



JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2026

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK GLUKOSA DARI SABUT KELAPA DENGAN METODE HIDROLISIS ASAM FOSFAT 40.000 TON/TAHUN

(Tugas Khusus Perancangan *Reactor-02*)

Oleh
AZIZA FITRIANI

Glukosa merupakan salah satu produk industri kimia yang digunakan sebagai bahan baku dalam industri makanan, farmasi, dan produksi kimia lainnya. Glukosa dapat diproduksi dari sabut kelapa melalui proses hidrolisis enzimatis dan fermentasi. Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik berupa sistem pengolahan dan penyediaan air, cooling water, sistem penyediaan udara kering, sistem pembangkit tenaga listrik, sistem refrigerasi dan sistem pembakaran gas.

Kapasitas produksi pabrik direncanakan 40.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di daerah industri Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 113 orang dengan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama yang dibantu oleh Direktur Produksi dan Direktur Keuangan dengan struktur organisasi *line and staff*.

Dari analisis ekonomi, diperoleh :

<i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	= Rp.691.852.144.024,57
<i>Working Capital Investment</i> (WCI)	= Rp.172.963.036.006,14
<i>Total Cost Investment</i> (TCI)	= Rp.864.815.180.030,71
<i>Break Event Point</i> (BEP)	= 59,78%
<i>Shut Down Point</i> (SDP)	= 23,15%
<i>Pay Out Time after Taxes</i> (POT) _a	= 2,920 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i> (ROI) _b	= 24,25%
<i>Return on Investment after taxes</i> (ROI) _a	= 19,40%
<i>Discounted Cash Flow</i> (DCF)	= 51,31%

Mempertimbangkan rangkuman di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik glukosa dari sabut kelapa ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai prospek yang baik.

Kata Kunci : Pabrik Glukosa, Sabut Kelapa, *Reactor-02*

ABSTRACT

PRE-DESIGN OF A GLUCOSE PLANT FROM COCONUT FIBER WITH PHOSPHORIC ACID HYDROLYSIS METHOD 40,000 TONS/YEAR (Reactor-02 Design)

**By
Aziza Fitriani**

Glucose is one of the important chemical industry products used as raw material in the food, pharmaceutical, and other chemical production industries. Glucose can be produced from coconut fiber through phosphoric acid hydrolysis and fermentation processes. The required plant utilities include water treatment and supply systems, cooling water systems, dry air supply systems, power generation systems, refrigeration systems, and gas combustion systems.

The plant is designed with a production capacity of 40,000 tons per year, operating 330 days annually. The proposed plant location is the industrial area of Indragiri Hilir Regency, Riau Province. The workforce requirement is 113 employees. The business entity will be established as a Limited Liability Company (PT), led by a President Director, assisted by a Production Director and a Finance Director, with an organizational structure based on the line-and-staff model.

From the economic analysis, the following results were obtained :

Fixed Capital Investment (FCI)	= Rp. 691.852.144.024,57
Working Capital Investment (WCI)	= Rp. 172.963.036.006,14
Total Cost Investment (TCI)	= Rp. 864.815.180.030,71
Break Event Point (BEP)	= 59,78%
Shut Down Point (SDP)	= 23,15%
Pay Out Time after Taxes (POT) _a	= 2,920 years
Return on Investment before taxes (ROI) _b	= 24,25%
Return on Investment after taxes (ROI) _a	= 19,40%
Discounted Cash Flow (DCF)	= 51,31%

Considering the summary above, the establishment of this Glucose plant deserves further evaluation, as it is a profitable project with strong future prospects.

Keywords : Glucose Plant, Coconut Fiber, Reactor-02

**PRARANCANGAN PABRIK GLUKOSA DARI SABUT KELAPA
DENGAN METODE HIDROLISIS ASAM FOSFAT 40.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan *Reactor-02*)**

Oleh

**Aziza Fitriani
2055041006**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

Judul Skripsi : **PRARANCANGAN PABRIK GLUKOSA DARI SABUT
KELAPA DENGAN METODE HIDROLISIS ASAM
FOSFAT KAPASITAS 40.000 TON/TAHUN**

(Tugas Khusus Perancangan Reaktor 02)

Nama Mahasiswa : Aziza Fitriani

No. Pokok Mahasiswa : 2055041006

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

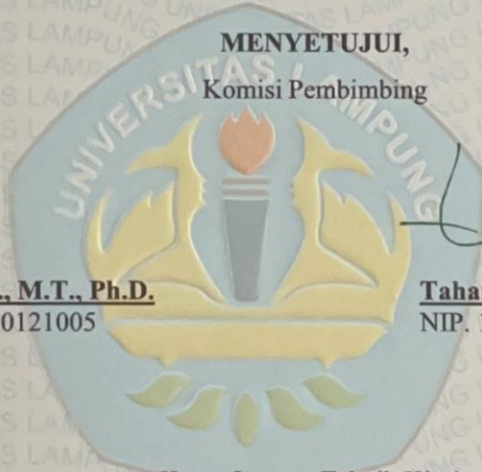
MENYETUJUI,
Komisi Pembimbing

Daf

Darmansyah, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198212252010121005

Tahre 638

Taharuddin, S.T. M.Sc.
NIP. 197001261995121001



Ketua Jurusan Teknik Kimia

Yuli Darni

Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001

MENGESAHKAN

Tim Penguji

Ketua : **Darmansyah, S.T., M.T., Ph.D.**

Sekretaris : **Taharuddin, S.T., M.Sc.**

Penguji

Bukan Pembimbing : **Heri Rustamadji, S.T., M.Eng.**

Lia Lismeri, S.T., M.T.

Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **2 Maret 2026**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 05 Maret 2026



Aziza Fitriani
NPM. 2055041006

RIWAYAT HIDUP



Aziza Fitriani, penulis laporan ini dilahirkan di Bengkulu pada tanggal 22 Desember 2001, putri kedua dari pasangan Bapak Johirman dan Ibu Hepi Susanti.

Penulis menyelesaikan TK Islam Terpadu di Bengkulu Selatan pada tahun 2008, pendidikan sekolah dasar di SDIT Al-Qalam Bengkulu Selatan pada tahun 2014, pendidikan sekolah menengah di SMPN 01 Bengkulu Selatan pada tahun 2017 dan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 01 Bengkulu Selatan pada tahun 2020.

Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SMMPN) Barat. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan, yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) sebagai Staff Departemen Kerohanian 2021-2022 dan Penulis juga aktif dalam organisasi kampus sebagai Staff Kaderisasi UKM Penelitian 2022-2023.

Pada tahun 2023, penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di PT. Semen Baturaja Tbk., Sumatra Selatan dengan Tugas Khusus "Evaluasi Kinerja *Vertical Raw Mill* (*Vertical Roller Mill*)" dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Gunung Sugih, Kecamatan Kedondong, Kabupaten Pesawaran di tahun 2023. Pada tahun 2024, penulis melakukan penelitian dengan judul "Fitoremediasi Limbah Cair Tapioka dengan Tanaman Akar Wangi dan Tambahan Mikroalga *Scenedesmus Sp.*".

Motto dan Persembahan

"Jadikanlah sabar dan sholat sebagai penolongmu. Dan sesungguhnya yang demikian itu sungguh berat, kecuali bagi orang-orang yang khusyu"

(QS. At-Baqarah: 45)

"Dan Dia (Allah) bersama kamu dimana saja kamu berada"

(QS. Al-Hadid: 4)

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan"

(QS. Al-Insyirah: 5)

"Nikmati Masa Mudamu Tapi Jangan Lupakan Masa Depanmu"

"Skripsi yang Baik Bukanlah yang Sempurna Tanpa Cela, Melainkan Skripsi yang Selesai"

*Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha
Penyayang.*

Kupersembahkan karya kecilku ini kepada

Allah yang Maha Esa.

Tuhan yang penuh kasih dan senantiasa menyertai.

Kemuliaan hanya bagi Engkau.

*Kedua orang tuaku, Ayah dan Ibu tercinta, terimakasih yang tak
terhingga untuk segala kasih dan sayang yang hingga detik ini masih
senantiasa tercurah. Ayuk dan adek-adek ku tersayang dan keluarga -
keluargaku, terimakasih banyak untuk doa dan dukungannya selama ini.*

Sahabat - sahabatku tersayang.

Terimakasih selalu ada dan menemani dengan setulus hati.

Serta kupersembahkan kepada Almamaterku.

Semoga dapat berguna dikemudian hari.

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, karunia, lindungan, dan hidayah-Nya yang telah dicurahkan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Prarancangan Pabrik Glukosa dari Sabut Kelapa dengan Metode Hidrolisis Asam Fosfat Kapasitas 40.000 Ton/Tahun”, sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi mahasiswa Program Studi Teknik Kimia untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Universitas Lampung sesuai pada waktu yang telah ditentukan.

Penulis menyadari banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak selama pengerjaan laporan tugas akhir dan seminar tugas akhir. Melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah dan Ibu tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat yang tiada hentinya. Terimakasih atas segala hal yang telah diberikan, cinta kasih, doa, kehangatan, pengorbanan, dan kesabaran dalam mendidik penulis sehingga penulis dimampukan menyelesaikan studi. Terimakasih telah menjadi pendengar segala keluhan dan cerita penulis selama berkuliah. Terimakasih sudah selalu mengusahakan yang terbaik untuk penulis.
2. Ayuk Reike, kakak satu-satunya, tempat penulis berkeluh kesah dalam mengerjakan TA ini, yang selalu menyemangati penulis, yang selalu membantu penulis disaat tidak ada uang jajan, dan yang selalu memastikan kesehatan penulis saat di kosan. Untuk Adek penulis Tiara, terimakasih selalu menemani penulis kemana pun disaat penulis hilang arah di Lampung ini, selalu bercerita hal random yang membuat hari penulis lebih berwarna. Untuk Adek terakhir yaitu Annida, terimakasih sudah lahir di dunia ini dan menjadi adek yang lucu, yang selalu membuat penulis tertawa disaat sedang bersedih, yang hari hari nya selalu ceria dan menjadi adek yang penurut.
3. Yuli Darni, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

4. Darmansyah, S.T., M.T, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya dalam memberikan arahan, bimbingan, dan dukungannya dalam penyelesaian skripsi dengan sabar. Banyak ilmu yang penulis dapatkan, semoga ilmu yang diberikan tersebut dapat berguna dikemudian hari.
5. Taharuddin, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan dukungan, masukan, serta kritik dan saran yang sangat bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini. Semoga ilmu yang diberikan tersebut dapat berguna dikemudian hari.
6. Dr. Heri Rustamaji, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji I yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyelesaian tugas akhir.
7. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyelesaian tugas akhir.
8. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika di jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung atas semua ilmu dan bantuan yang telah diberikan selama ini.
9. Fadilah Putri Dwi Indayani. sebagai partner tugas akhir, penulis mengucapkan terima kasih atas segala dukungan, kerja sama, dan dedikasi yang telah diberikan. Terima kasih telah bersedia menjadi partner dalam proses penyusunan tugas akhir ini serta berjuang bersama melalui berbagai tahapan yang tidak mudah, penuh tantangan, dan menguras emosi. Terima kasih pula atas dukungan, kesediaan untuk mendengarkan, dan perhatian yang senantiasa diberikan.
10. Dimas, Fajar, Ayuw, selaku sahabat yang selalu bersedia menjadi tempat untuk bercerita dan berkeluh kesah, memberikan dukungan, semangat, dan doa. Selalu membantu penulis saat butuh bantuan. Selalu menemani penulis disaat bersedih, memberikan candaan yang sangat menghibur untuk penulis. Sudah menjadi sahabat terbaik selama penulis menempuh pendidikan di Tekkim ini. Semoga suatu saat kita bisa bertemu lagi di kehidupan yang sudah kita capai dari impian kita saat ini. Dan untuk Fara, teman penulis yang selama penulis mengerjakan skripsi mungkin terdapat kesalahan paham, untuk semua kenangan baik dan menyenangkan yang kita lalui

bersama teman-teman lain dari penulis masuk kuliah ini. Semoga kita bisa menjadi sahabat baik lagi suatu saat nanti.

11. Tevi dan Alica, selaku teman seperjuangan dalam mengejar acc skripsi, terimakasih sudah hadir dan menemani penulis disaat titik terendah. Sudah menjadi teman yang seru dan lucu, sudah hadir di hidup penulis diakhir perjalanan perkuliahan. yang bersedia menjadi tempat untuk bercerita dan berkeluh kesah, memberikan dukungan, semangat, dan doa.
12. Wulan, Tania, Dini, Rafli sebagai teman ku yang selalu bersedia menjadi tempat untuk bercerita dan berkeluh kesah, memberikan dukungan, semangat, dan doa.
13. Kepada NPM 2055031007, terimakasih sudah hadir di dalam hidup penulis, dan banyak memberikan bantuan selama penulis kuliah disini. Memberikan dukungan agar penulis tidak menyerah dalam mengerjakan skripsi ini. Selalu menemani disaat penulis sedih dan merasa putus asa. Selalu memberikan canda tawa kepada penulis sehingga penulis merasa jadi lebih baik. Selalu mengapresiasi apapun pencapaian penulis sehingga membuat penulis lebih bersemangat dalam mengejar cita-cita.
14. Teman-teman angkatan 2020 yang juga senantiasa saling memberikan bantuan dan dukungan.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan dan semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 05 Maret 2026

Aziza Fitriani

DAFTAR ISI

BAB I : PENDAHULUAN.....	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Kegunaan Produk	3
1.3 Ketersediaan Bahan Baku.....	5
1.4 Analisis Pasar.....	5
1.5 Tempat dan Lokasi Pabrik.....	9
BAB II : DESKRIPSI PROSES.....	
2.1 Pemilihan Bahan Baku Glukosa.....	11
2.2 Macam- macam Proses	
2.2.1 Pembuatan Glukosa dari Sabut Kelapa Metode Hidrolisis Asam.....	15
2.2.2 Pembuatan Glukosa dari Tepung Singkong Metode Hidrolisis Katalis Enzim.....	15
2.3 Pemilihan Proses	16
2.3.1 Tinjauan Ekonomi	17
2.3.2 Tinjauan Termodinamika.....	23
2.3.3 Tinjauan Kinetika.....	27
2.4 Uraian Proses.....	29
2.4.1 Persiapan Bahan Baku dan Bahan Pendukung.....	30
2.4.2 Proses <i>Pre-treatment</i> Mekanik.....	30
2.4.3 Proses Isolasi Sabut Kelapa.....	30
2.4.4 Proses Hidrolisis Asam Fosfat.....	32
2.4.5 Proses Pemisahan dan Pemurnian Produk.....	32
BAB III : SPESIFIKASI BAHAN BAKU.....	
3.1 Spesifikasi Bahan Baku.....	34
3.1.1 Bahan Baku.....	34
3.1.2 Bahan Pendukung	35
3.2 Spesifikasi Produk.....	37

BAB IV : NERACA MASSA DAN ENERGI.....	
4.1 Neraca Massa.....	38
4.2 Neraca Energi.....	49
BAB V : SPESIFIKASI ALAT.....	
5.1 Spesifikasi Alat Proses Hidrolisis.....	55
5.2 Spesifikasi Alat Pendukung.....	63
5.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan.....	72
5.4 Pemanas dan Pendingin.....	78
5.5 Spesifikasi Alat Pengangkut.....	83
BAB VI : UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....	
6.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air	113
6.1.1 Unit Penyediaan Air	113
6.1.2 Unit Pengolahan Air	118
6.3 Unit Pembangkit Listrik.....	123
6.4 Unit Penyedia Udara Tekan.....	125
6.5 Unit Pengolahan Limbah.....	125
6.6 Unit Penyedia Bahan Bakar.....	128
6.7 Unit Laboratorium.....	128
BAB IV : TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK.....	
7.1 Lokasi Pabrik.....	129
7.2 Tata Letak Pabrik.....	132
7.3 Tata Letak Peralatan Proses.....	138
7.4 Sistem Distribusi dan Pemasaran.....	141
BAB VIII: MANAJEMEN DAN ORGANISASI.....	
8.1 <i>Project Master Schedule</i>	142
8.2 Bentuk Perusahaan.....	144
8.3 Struktur Organisasi Perusahaan.....	146
8.4 Tugas dan Wewenang.....	148

8.5 Status Karyawan dan Sistem Penggajian.....	154
8.6. Managemen Produksi.....	165
BAB IX : INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....	168
9.1 Investasi.....	168
9.2 Evaluasi Ekonomi.....	173
9.3 Analisis Kelayakan Pabrik.....	177
BAB X: KESIMPULAN.....	179
10.1 Kesimpulan.....	179
10.2 Saran.....	180

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Sumber Bahan Baku Utama.....	5
Tabel 1.2 Harga Bahan Baku dan Produk.....	5
Tabel 1.3 Data Produksi Glukosa di Indonesia.....	6
Tabel 2.1 Perbandingan Sabut Kelapa dengan Biomasssa Lain.....	13
Tabel 2.2 Perbandingan asam.....	13
Tabel 2.3 Harga Produk dan Bahan Baku.....	17
Tabel 2.4 Harga Produk dan Bahan Baku.....	18
Tabel 2.5 Harga Produk dan Bahan Baku.....	21
Tabel 2.6 Harga ΔH_f pada Komponen.....	24
Tabel 2.7 Harga ΔH_f pada Komponen.....	24
Tabel 2.8 Harga ΔG pada Komponen.....	25
Tabel 2.9 Harga ΔH_f pada Komponen.....	26
Tabel 2.11 Nilai Kinetika Glukosa.....	28
Tabel 2.12 Perbandingan Hidrolisis Asam dan Enzim.....	29
Tabel 4.1.1 Neraca Massa <i>Washing Tank</i> (WT-01).....	38
Tabel 4.1.2 Neraca Massa <i>Rotary Dryer</i> (RD-01).....	39
Tabel 4.1.3 Neraca Massa <i>Hammer Mill</i> (HM-01).....	39
Tabel 4.1.4 Neraca Massa <i>Mixer 1</i> (M-01)	39
Tabel 4.1.5 Neraca Massa <i>Filter Press</i> (FP-01)	40
Tabel 4.1.6 Neraca Massa <i>Mixer 2</i> (M-02)	41
Tabel 4.1.7 Neraca Massa <i>Filter Press</i> (FP-02).....	39
Tabel 4.1.8 Neraca Massa <i>Mixer</i> (M-03).....	39
Tabel 4.1.9 Neraca Massa <i>Filter Press</i> (FP-03).....	42
Tabel 4.1.10 Neraca Massa <i>Mixer</i> (M-04).....	42
Tabel 4.1.11 Neraca Massa <i>Storage Tank</i> (ST-01).....	43
Tabel 4.1.12 Neraca Massa <i>Neutralizer</i> (RN-01).....	43
Tabel 4.1.13 Neraca Massa <i>Rotary Drum Vacuum Filter</i> (RDVF-01).....	43

Tabel 4.1.14 Neraca Massa <i>Reaktor</i> (R-01).....	44
Tabel 4.1.15 Neraca Massa <i>Evaporator</i> (EV-01).....	44
Tabel 4.1.16 Neraca Massa <i>Reaktor 2</i> (R-02).....	45
Tabel 4.1.17 Neraca Massa <i>Evaporator</i> (EV-02).....	45
Tabel 5.1 Spesifikasi <i>Reaktor</i> (R-01).....	55
Tabel 5.2 Spesifikasi <i>Reaktor</i> (R-02).....	56
Tabel 5.3 Spesifikasi <i>Evaporator 1</i> (EV-01).....	57
Tabel 5.4 Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-01).....	58
Tabel 5.5 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-01).....	59
Tabel 5.6 Spesifikasi <i>Evaporator</i> (EV-02).....	60
Tabel 5.7 Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-02).....	61
Tabel 5.8 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-02).....	62
Tabel 5.9 Spesifikasi <i>Washing Tank</i> (WT-01).....	63
Tabel 5.10 Spesifikasi <i>Rotary Dryer</i> (RD-01).....	64
Tabel 5.11 Spesifikasi <i>Hammer Mill</i> (HM-01).....	64
Tabel 5.12 Spesifikasi <i>Mixer</i> (M-01).....	65
Tabel 5.13 Spesifikasi <i>Filter Press</i> (FP-01).....	65
Tabel 5.14 Spesifikasi <i>Mixer</i> (M-02).....	66
Tabel 5.15 Spesifikasi <i>Filter Press</i> (FP-02).....	66
Tabel 5.16 Spesifikasi <i>Mixer 3</i> (M-03).....	67
Tabel 5.17 Spesifikasi <i>Filter Press</i> (FP-03).....	67
Tabel 5.18 Spesifikasi <i>Mixer</i> (M-04).....	68
Tabel 5.19 Spesifikasi <i>Neutralizer</i> (RN-01).....	68
Tabel 5.20 Spesifikasi <i>Filter Press</i> (FP-01).....	69
Tabel 5.21 Spesifikasi <i>Rotary Drum Vacuum Filter</i> (RDFV-01).....	70
Tabel 5.22 Spesifikasi <i>Rotary Drum Vacuum Filter</i> (RDVF-02).....	70
Tabel 5.23 Spesifikasi <i>Ball Mill</i> (BM-01).....	71
Tabel 5.24 Spesifikasi <i>Vibrating Screen</i> (VS-01).....	71
Tabel 5.24 Spesifikasi <i>Silo</i> (S-01).....	73
Tabel 5.28 Spesifikasi <i>Tangki Penyimpanan</i> (T-01).....	75

Tabel 5.31 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CL-01).....	78
Tabel 5.35 Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-01).....	80
Tabel 5.38 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-01).....	83
Tabel 5.39 Spesifikasi <i>Belt Conveyor</i> (BC-01).....	83
Tabel 5.41 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-01).....	84
Tabel 5.53 Spesifikasi Pompa Proses (P-01).....	91
Tabel 6.1 Kebutuhan Air Umum.....	114
Tabel 6.2 Kebutuhan Air Pendinginan.....	115
Tabel 6.3 Kebutuhan Air Proses.....	117
Tabel 6.4 Total Kebutuhan air	117
Tabel 6.5 Kebutuhan Air <i>Steam</i>	122
Tabel 6.6 Kebutuhan Listrik Alat Proses.....	123
Tabel 6.7 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas.....	124
Tabel 6.8 Kebutuhan Air Umum.....	114
Tabel 7.1 Rincian Luas Tanah dan Bangunan Pabrik.....	136
Tabel 8.1 <i>Project Master Schdule of Glucose Plant</i>	144
Tabel 8.3 Perincian Tingkat Pendidikan.....	158
Tabel 8.4 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses	159
Tabel 8.5 Jumlah Operator Berdasarkan Alat Utilitas.....	160
Tabel 8.6 Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan	161
Tabel 9.1 <i>Fixed Capital Investment</i>	168
Tabel 9.2 <i>Manufacturing Cost</i>	170
Tabel 9.3 <i>General Expenses</i>	171
Tabel 9.4 Biaya Administratif...../.....	171
Tabel 9.5 <i>Minimum Acceptable Percent Return On Investment</i>	174
Tabel 9.6 <i>Acceptable Pay Out</i>	174
Tabel 9.7 Hasil Uji Kelayakan Ekonomi.....	177

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Impor Glukosa dari Tahun 2020-2024.....	7
Gambar 1.2 Ekspor Glukosa dari Tahun 2020-2024.....	7
Gambar 1.3 Konsumsi Glukosa dari Tahun 2020-2024.....	8
Gambar 1.4 Lokasi Pabrik Glukosa.....	9
Gambar 7.1 Peta Lokasi Pabrik.....	132
Gambar 7.2 Tata Letak Pabrik Glukosa	138
Gambar 7.3 Tata Letak Alat Proses Pabrik Glukosa	140
Gambar 8.1 Struktur Organisasi Perusahaan.....	155
Gambar 9.1 Grafik Analisa Ekonomi.....	175
Gambar 9.2 Kurva <i>Accumulative Cash Flow</i>	177



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelapa (*Cocos nucifera*) adalah salah satu tanaman perkebunan penting dari famili *Palmae* yang banyak diminati karena manfaat ekonominya. Tanaman ini memiliki batang lurus dan dikenal sebagai sumber bahan industri. Ada dua teori utama mengenai asal-usul kelapa. Pertama, menurut D.F. Cook, Van Martius Beccari, dan Thor Heyerdahl, kelapa berasal dari Amerika Selatan, khususnya Lembah Andes di Kolombia. Kedua, teori lain menyebutkan bahwa kelapa berasal dari kawasan Asia atau Indo-Pasifik, termasuk Malaysia-Indonesia. Nama genus *Cocos* pertama kali digunakan oleh Vasco da Gama. Para peneliti menyimpulkan bahwa kelapa kemungkinan besar berasal dari wilayah Malaysia-Indonesia. Dari kawasan ini, kelapa menyebar ke berbagai daerah melalui arus laut dan perantara manusia. Proses penyebaran tersebut menjadikan kelapa sebagai tanaman tropis yang kini tersebar luas di seluruh dunia.

Perkebunan kelapa di Indonesia mencakup sekitar 10% dari total wilayahnya, atau sekitar 700.000 hektar, yang tersebar di berbagai wilayah seperti Sumatera, Kalimantan, Jawa, Sulawesi, Maluku, dan Papua. Kelapa (*Cocos nucifera* L.) merupakan satu-satunya spesies dalam genus *Cocos* dari keluarga *Arecaceae*. Pemanfaatan buah kelapa muda oleh manusia terutama terbatas pada air dan daging buahnya. Bagian lain dari kelapa, seperti sabut, belum dimanfaatkan secara optimal untuk meningkatkan nilai ekonomi, dan pemanfaatan kulit kelapa muda menjadi produk bernilai jual tinggi masih terbatas. Dengan produksi kelapa Indonesia yang mencapai rata-rata 15,5 miliar butir per tahun, potensi bahan ikutan yang dapat dihasilkan meliputi 3,75 juta ton air, 0,75 juta ton arang tempurung, 1,8 juta ton serat sabut, dan 3,3 juta ton debu sabut sebagai produk sampingan (Mahmud & Ferry, 2005).

Salah satu jenis limbah yang dihasilkan dari kelapa dengan potensi besar untuk diolah adalah sabut kelapa. Sabut kelapa (juga disebut serat sabut) adalah serat berbasis lignoselulosa yang diekstraksi dari sekam kelapa, sejenis buah yang pada dasarnya ditanam di daerah tropis, terutama Asia Tenggara. Sabut kelapa dapat dibagi menjadi dua serat yang berbeda sesuai dengan warnanya, yaitu sabut putih dan sabut coklat. Serat dengan warna putih diperoleh dari kelapa mentah, sedangkan yang coklat berasal dari kelapa pemerkosaan. Dalam hal komposisi kimia sabut kelapa, mengandung selulosa (32% hingga 50 %), hemiselulosa (0,15%-15%), lignin (30%-46%) dan pektin (3%-4%) (Adeniyi et al.). Ini berarti bahwa selulosa dan lignin adalah komponen utama dalam serat alami ini, sehingga membuat bahan tahan lama, tahan cuaca, dan tahan air. Selain itu, sabut kelapa menunjukkan keunggulan yang jelas dalam biaya rendah (Muharja et al., 2018).

Kandungan selulosa dan hemiselulosa yang tinggi dalam sabut kelapa memungkinkan keduanya untuk dihidrolisis menjadi monomer gula, yang kemudian dapat dimanfaatkan sebagai gula reduksi. Selulosa dan hemiselulosa adalah makromolekul yang berasal dari jenis gula yang berbeda, sedangkan lignin adalah polimer aromatik yang dibentuk dari prekursor *fenilpropanoid*. Secara alami, selulosa terikat oleh hemiselulosa dan tersusun rapat oleh lapisan lignin. (Sukardati et al., 2010).

Keberadaan lignin membuat bahan-bahan lignoselulosa sulit untuk dihidrolisis. Namun, dengan menggunakan metode *pre-treatment*, aktivitas hidrolisis dapat ditingkatkan. Metode ini bekerja dengan mengubah kondisi bahan lignoselulosa dari segi struktur dan ukuran, yang meliputi kerusakan pada struktur lignin dan hemiselulosa. Hal ini menyebabkan peningkatan porositas bahan, pengurangan kristal selulosa, serta penurunan derajat polimerisasi selulosa (Sun & Cheng, 2002; Ahmed et al., 2013). Dengan merusak struktur selulosa, proses pemecahan selulosa menjadi glukosa menjadi lebih mudah, sementara hemiselulosa akan terurai menjadi senyawa gula sederhana seperti glukosa, galaktosa, manosa, heksosa, pentosa, xilosa, dan arabinosa (Mosier et al., 2005).

1.2 Kegunaan produk

Penggunaan Glukosa secara umum dalam beberapa bidang adalah sebagai berikut:

1. Industri Polimer

a. Bahan Baku untuk Produksi Polimer

Glukosa dapat digunakan sebagai bahan baku dalam sintesis polimer. Melalui proses fermentasi, glukosa dapat diubah menjadi asam laktat, yang merupakan monomer penting dalam pembuatan polimer *biodegradable* seperti *polylactic acid* (PLA). PLA banyak digunakan dalam kemasan ramah lingkungan dan produk medis.

b. Pengikat dan Pemanis dalam Produk Polimer

Dalam industri makanan, glukosa sering digunakan sebagai pengikat dan pemanis dalam produk berbasis polimer. Misalnya, sirup glukosa dapat ditambahkan ke dalam produk makanan untuk meningkatkan rasa dan tekstur, serta mencegah pengkristalan gula.

c. *Stabilizer* dan *Emulsifier*

Glukosa juga berfungsi sebagai *stabilizer* dan *emulsifier* dalam formulasi polimer. Dalam industri kosmetik dan farmasi, glukosa dapat membantu menjaga stabilitas emulsi dan meningkatkan kekentalan produk.

d. Sumber Karbon untuk Mikroorganisme

Dalam produksi polimer berbasis bioteknologi, glukosa berfungsi sebagai sumber karbon bagi mikroorganisme yang digunakan untuk memproduksi biopolimer. Mikroorganisme seperti bakteri dan ragi dapat memfermentasi glukosa untuk menghasilkan berbagai jenis polimer.

e. Penghambat Kristalisasi

Glukosa dapat berfungsi sebagai penghambat kristalisasi dalam proses pembuatan polimer. Dengan mengurangi kecenderungan bahan untuk mengkristal, glukosa membantu meningkatkan kualitas dan konsistensi produk akhir.

2. Industri Kosmetik

a. Pelembab Kulit

Glukosa berfungsi sebagai humektan, yang berarti dapat menarik dan

mempertahankan kelembaban dalam kulit. Ini sangat bermanfaat untuk produk perawatan kulit, membantu menjaga kulit tetap terhidrasi dan mencegah kekeringan.

b. Pengangkat Sel Kulit Mati

Glukosa dapat digunakan dalam formulasi scrub untuk mengangkat sel-sel kulit mati. Dengan mengombinasikannya dengan bahan lain seperti minyak zaitun, glukosa dapat membantu membersihkan kulit dan memberikan tampilan yang lebih halus dan segar.

c. Efek *Anti-Aging*

Glukosa memiliki sifat yang dapat membantu mengurangi kerutan dan garis halus pada kulit. Dengan meningkatkan kelembaban dan nutrisi pada kulit, glukosa berkontribusi terhadap penampilan kulit yang lebih muda dan bercahaya.

d. Meningkatkan Tekstur Kulit

Dalam produk kosmetik, glukosa dapat membantu memperbaiki tekstur kulit, menjadikannya lebih halus dan kenyal. Ini sangat diinginkan dalam formulasi lotion dan krim.

e. *Stabilizer* dalam Produk Kosmetik

Glukosa juga berfungsi sebagai *stabilizer* dalam berbagai produk kosmetik, membantu menjaga konsistensi dan kualitas produk selama penyimpanan. Secara keseluruhan, glukosa adalah bahan yang berharga dalam industri kosmetik karena kemampuannya untuk meningkatkan kelembaban, tekstur, dan penampilan kulit secara keseluruhan.

3. Industri Kesehatan

Glukosa berfungsi sebagai humektan, yang berarti dapat menarik dan mempertahankan kelembaban dalam kulit. Ini sangat bermanfaat untuk produk perawatan kulit, membantu menjaga kulit tetap terhidrasi dan mencegah kekeringan. Secara keseluruhan, glukosa adalah bahan yang berharga dalam industri kosmetik karena kemampuannya untuk meningkatkan kelembaban, tekstur, dan penampilan kulit secara keseluruhan.

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang dapat digunakan untuk produksi glukosa adalah sebagai berikut:

Tabel 1.1 Sumber Bahan Baku Utama

No.	Bahan Baku	Nama Produsen	Lokasi
1.	Sabut kelapa	PT Mahligai Indococo Fiber (MIF)	Aceh, Sumatera Barat, Lampung, dan Pangandaran
2.	Asam Fosfat (H_3PO_4)	PT Petrokimia Gresik	Gresik, Jawa Timur

(Sumber: Kemenperin, 2025)

1.4 Analisis Pasar

Langkah yang digunakan untuk mengetahui besarnya minat pasar terhadap suatu produk adalah dengan menggunakan analisis pasar. Analisis pasar meliputi data impor, data kebutuhan luar negeri, dan data produksi glukosa. Berdasarkan data (Badan Pusat Statistik, 2025), Indonesia masih melakukan impor dalam jumlah besar untuk memenuhi kebutuhan glukosa di beberapa tahun terakhir. Harga produk dan bahan baku glukosa dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Harga Bahan Baku dan Produk

Komponen	Rumus Molekul	BM (kg/kmol)	Harga (Rp)/kg
Selulosa	$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$	162,00	4.157,77
Asam Fosfat	(H_3PO_4)	98,00	32.610,00
Natrium Hidroksida	(NaOH)	40,00	8.152,50
Asam Sulfat	(H_2SO_4)	98,08	48.915,00
Etanol	$(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})$	46,07	73.372,50

Sumber : (Alibaba, 2025)

Penentuan kapasitas pabrik suatu produk yang akan didirikan perlu mempertimbangkan keberadaan pabrik-pabrik produksi yang telah berdiri. Hal ini untuk memberikan gambaran rentang kapasitas pabrik yang layak didirikan atau yang menguntungkan untuk didirikan.

Tabel 1. 3 Data Produksi Glukosa di Indonesia

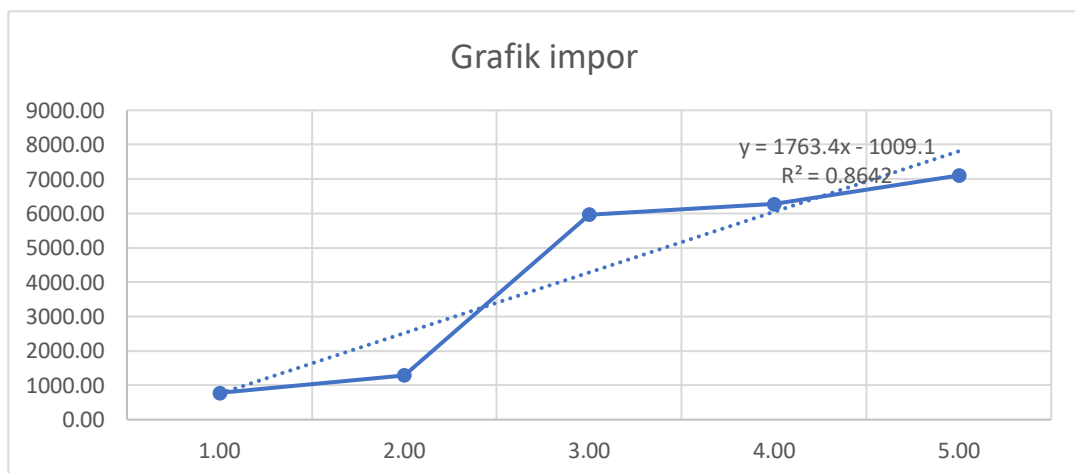
Data Pabrik Glukosa	Lokasi	Produksi Glukosa (ton/tahun)
PT Budi Strarch and Sweetener	Lampung	108.000
PT Suba Indah	Cilegon, Banten	82.500
PT BAJ	Jawa Timur	18.000
PT Associated British	Jawa Barat	72.500
PT Trebor Indonesia	Jakarta	17.500
PT Sari Pati Idaman	Pati, Jawa Tengah	72.500

(Sumber: Kemenperin, 2025)

Penentuan kapasitas pabrik suatu produk yang akan didirikan perlu mempertimbangkan keberadaan pabrik-pabrik produksi yang telah berdiri. Hal ini untuk memberikan gambaran rentang kapasitas pabrik yang layak didirikan atau yang menguntungkan untuk didirikan. Pada Tabel 1.3 menunjukkan data kapasitas produksi glukosa yang telah berdiri di Indonesia

1.4.1 Data Impor Glukosa di Indonesia

Berdasarkan data dari BPS (Badan Pusat Statistik), jumlah impor glukosa pada tahun 2020 (tahun ke-0) s.d 2024 (tahun ke-4) dapat dilihat pada Gambar.

**Gambar 1. 1** Impor Glukosa dari Tahun 2020 s.d 2024

Pabrik Glukosa direncanakan untuk beroperasi pada tahun 2031, Dari Gambar 1.2 dilakukan regresi linear untuk memprediksi kebutuhan pada tahun tersebut. Hal itu dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Y = 1763,4x - 1009,1$$

Dengan,

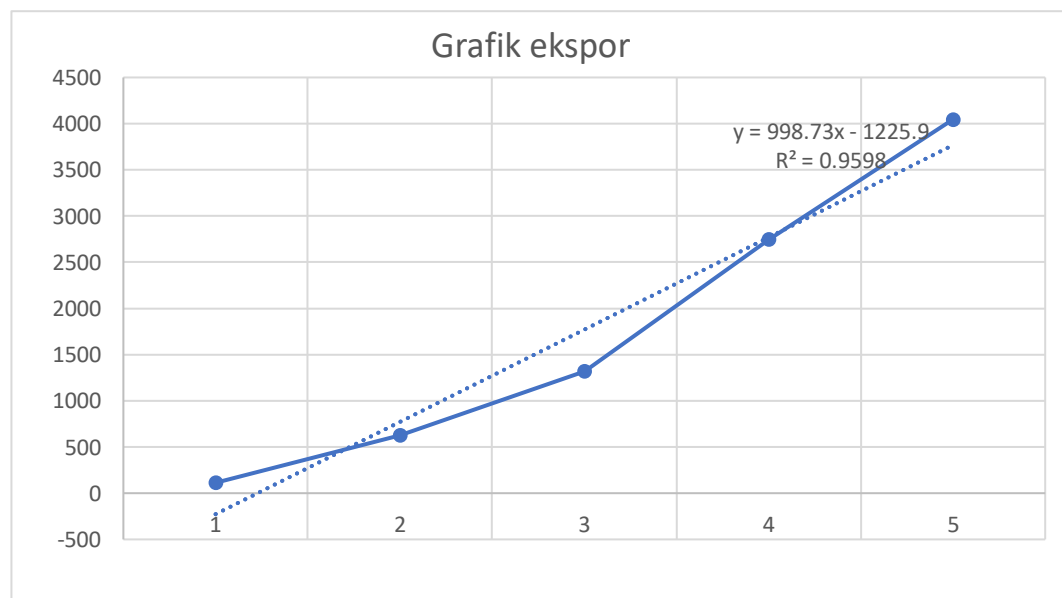
Y = Kebutuhan glukosa

X = Tahun ke-n (2031)

Dengan memasukkan data tahun ke-n pada tahun pengoperasian pabrik (X) menggunakan persamaan tersebut maka diperkirakan impor glukosa (Y) sebesar 22.169,90 ton pada tahun 2031.

1.4.2 Data Ekspor Glukosa di Indonesia

Dalam menentukan kapasitas pabrik perlu dipertimbangkan perkembangan kebutuhan bahan yang akan diproduksi. Jumlah ekspor glukosa berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) RI, pada tahun 2020 (tahun ke-0) s.d 2024 (tahun ke-4) dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Ekspor Glukosa dari Tahun 2020 s.d 2024

Data ekspor glukosa pada tahun 2031:

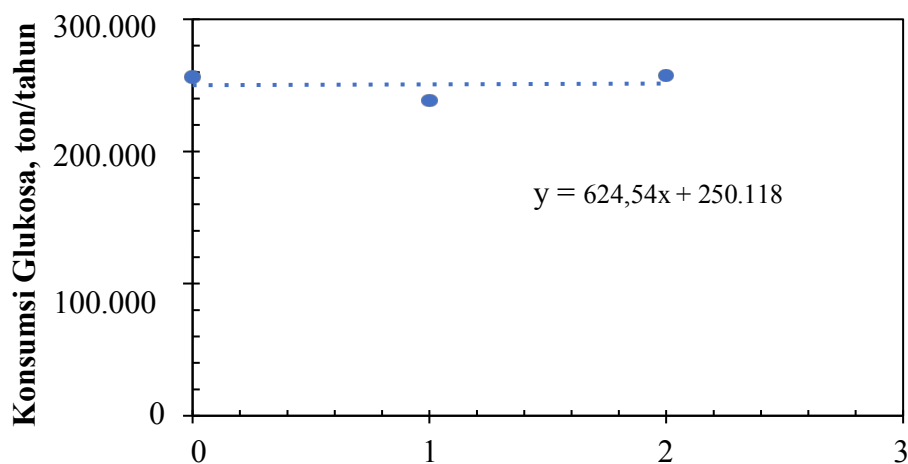
$$y = 998,73x - 1225,9$$

$$y = 998,73(12) - 1225,9$$

$$y = 10.758,86 \text{ ton/tahun}$$

1.4.3 Data konsumsi glukosa di indonesia

Jumlah konsumsi glukosa pada tahun 2023 (tahun ke-0) s.d 2024 (tahun ke-2) dapat dilihat pada Gambar 1.3. Pada tahun 2021-2022 pada data bps tidak menunjukkan konsumsi glukosa.



Gambar 1. 3 Konsumsi Glukosa dari Tahun 2023 s.d 2024

Estimasi besarnya konsumsi glukosa tahun 2031 dengan persamaan sesuai trend grafik. Persamaan yang didapatkan adalah $y = 624,54x + 250.118$. Dengan menggunakan persamaan tersebut, dapat diperkirakan bahwa konsumsi glukosa pada tahun 2031 (tahun ke-12) sebesar $y = 256.363,40 \text{ ton/tahun}$.

Pertimbangan kapasitas pabrik pada tahun 2031 didasarkan pada jumlah impor, ekspor, konsumsi, dan produksi. Dimana, potensi kapasitas pabrik gluosa pada tahun 2031:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Pabrik} &= \text{Demand} - \text{Supply} \\ &= (\text{Konsumsi} + \text{Ekspor}) - (\text{Produksi} + \text{Impor}) \end{aligned}$$

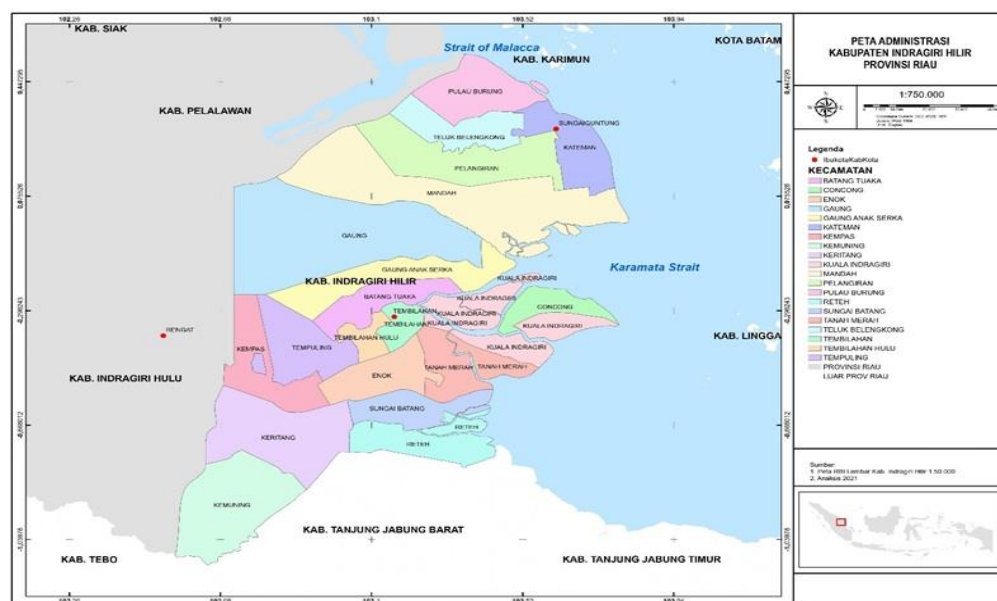
$$= (256.363,40 + 10.758,86) - (208.500 + 22.169,90)$$

$$= 36.452,36 \text{ ton/tahun}$$

Berdasarkan dari hasil potensi kapasitas pabrik glukosa pada tahun 2031, maka pabrik direncanakan akan memproduksi glukosa sebesar 40.000 ton/tahun. Dengan pertimbangan karena masih berada di rentang 18.000-108.000 ton/tahun dari produksi glukosa yang sudah berdiri di Indonesia. Selain itu, pabrik ini baru didirikan sehingga modal yang dimiliki belum terlalu besar dan hanya mampu menghasilkan kapasitas dengan jumlah yang tidak terlalu banyak. Dari kapasitas yang telah ditentukan, diharapkan dapat memenuhi kebutuhan glukosa di Indonesia.

1.5 Tempat dan Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik direncanakan atas pemikiran secara praktis serta meninjau aspek keuntungan dari segi teknis maupun ekonomis.



Gambar 1.3 Lokasi Pabrik Glukosa

Terdapat beberapa faktor yang dipertimbangkan dalam penentuan lokasi pabrik, diantaranya:

1. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama yaitu sabut kelapa yang diperoleh dari petani dan pengolah lokal di Indragiri Hilir, Riau, yang memproduksi hingga 313.000 ton kelapa/tahun dengan potensi sabut ~60.000-90.000 ton/tahun. Asam fosfat dan bahan kimia lain dapat dipasok dari industri pupuk terdekat di Sumatera atau impor via pelabuhan Dumai.

2. Pemasaran Produk

Pabrik didirikan sedekat mungkin dengan industri makanan, minuman, dan farmasi di Pekanbaru serta kawasan industri Sumatera Utara, demi menghemat biaya distribusi glukosa sirup melalui jalur darat dan laut.

3. Transportasi

Ketersediaan transportasi sangat mempengaruhi pendistribusian produk dan bahan baku baik melalui jalur darat maupun laut. Indragiri Hilir memiliki akses jalan nasional bagus, dekat Pelabuhan Selat Panjang dan Dumai untuk impor bahan kimia serta ekspor glukosa, plus pasokan sabut lokal minimalkan logistik. Regulasi pendirian pabrik didukung pemerintah provinsi via kawasan hilirisasi kelapa.

4. Utilitas

Air merupakan sarana utilitas penting untuk proses hidrolisis, sehingga pabrik didirikan dekat Sungai Indragiri atau sungai lokal dengan jarak <500 meter. Energi listrik dan uap didukung PLTU/PLTG terdekat atau biomassa sisa proses, dengan pasokan air dari sungai utama Indragiri yang debitnya melimpah.

5. Ketersediaan Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan pelaku proses produksi. Indragiri Hilir dan sekitarnya memiliki populasi petani kelapa serta lulusan teknik kimia lokal (dari politeknik Riau) yang terampil, dengan total kebutuhan ~174 orang untuk skala 80.000 ton/tahun yang dapat disesuaikan untuk 40.000 ton/tahun, memperlancar operasi dengan biaya upah kompetitif.



II. DESKRIPSI PROSES

2.1 Pemilihan Bahan Baku Sabut Kelapa Produksi Glukosa

Bahan baku merupakan faktor penting dalam perancangan pabrik glukosa karena berpengaruh terhadap efisiensi proses, biaya produksi, serta keberlanjutan operasi pabrik. Glukosa dapat diproduksi dari berbagai bahan yang mengandung karbohidrat, salah satunya adalah biomassa lignoselulosa. Biomassa lignoselulosa tersusun atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin, di mana selulosa merupakan komponen utama yang dapat dihidrolisis menjadi glukosa.

Sabut kelapa merupakan salah satu limbah agroindustri yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan glukosa. Sabut kelapa mengandung selulosa dalam jumlah yang cukup tinggi, yaitu sekitar 30–43%, sehingga berpotensi menghasilkan glukosa dalam jumlah yang signifikan. Selain itu, sabut kelapa juga memiliki kandungan lignin dan abu yang relatif lebih rendah dibandingkan beberapa biomassa lignoselulosa lainnya, sehingga lebih mudah diproses melalui tahap *pretreatment* dan hidrolisis.

Dibandingkan dengan sekam padi, sabut kelapa memiliki keunggulan dari segi kandungan abu. Sekam padi mengandung silika dalam jumlah tinggi yang dapat menyebabkan permasalahan teknis pada proses pengolahan, seperti abrasi peralatan, fouling pada penukar panas, serta kesulitan dalam proses *pretreatment* kimia. Kandungan silika yang tinggi juga dapat meningkatkan konsumsi bahan kimia dan biaya perawatan alat. Oleh karena itu, penggunaan sekam padi sebagai bahan baku pabrik glukosa memerlukan perlakuan tambahan yang lebih kompleks dibandingkan sabut kelapa.

Jika dibandingkan dengan limbah kelapa sawit, seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), sabut kelapa memiliki struktur lignoselulosa yang relatif lebih sederhana. TKKS umumnya memiliki struktur yang lebih keras dan kompleks, sehingga memerlukan kondisi pretreatment yang lebih berat, baik dari segi temperatur, tekanan, maupun konsumsi bahan kimia. Kondisi ini dapat meningkatkan biaya operasi dan menurunkan efisiensi proses hidrolisis. Sebaliknya, sabut kelapa dapat dihidrolisis pada kondisi operasi yang lebih ringan dengan hasil glukosa yang lebih stabil.

Sementara itu, bagas tebu juga merupakan biomassa lignoselulosa yang potensial untuk produksi glukosa karena kandungan selulosanya yang tinggi. Namun, ketersediaan bagasse bersifat musiman dan sebagian besar telah dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler dan pembangkit energi pada industri gula. Hal ini menyebabkan ketersediaan bagasse untuk industri lain menjadi terbatas. Berbeda dengan bagass, sabut kelapa tersedia secara kontinu sepanjang tahun dan hingga saat ini masih belum dimanfaatkan secara optimal.

Berdasarkan pertimbangan kandungan selulosa, kemudahan proses, ketersediaan bahan baku, serta aspek teknis dan ekonomis, sabut kelapa dipilih sebagai bahan baku pabrik glukosa dalam perancangan ini. Pemanfaatan sabut kelapa tidak hanya meningkatkan nilai tambah limbah agroindustri, tetapi juga mendukung konsep industri berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Tabel 2.1 Perbandingan Sabut Kelapa dengan Biomassa Lain

Parameter	Sabut Kelapa	Sekam Padi	Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)	Bagasse Tebu	Tongkol Jagung
Kandungan selulosa (%)	30–43	35–40	38–45	40–50	35–45
Kandungan lignin (%)	18–25	20–25	22–30	18–24	15–20
Kandungan abu (%)	Rendah (1–3%)	Tinggi (15–20%)	Sedang	Rendah	Rendah
Kandungan silika	Sangat rendah	Sangat tinggi	Rendah	Sangat rendah	Rendah
Kemudahan pretreatment	Sedang-mudah	Sulit	Sulit	Sedang	Mudah
Kebutuhan bahan kimia	Sedang	Tinggi	Tinggi	Sedang	Rendah–sedang
Potensi fouling alat	Rendah	Tinggi	Sedang	Rendah	Rendah
Ketersediaan bahan baku	Tinggi & kontinu	Tinggi	Tinggi	Musiman	Musiman
Pemanfaatan saat ini	Minim	Terbatas	Terbatas	Sudah banyak dimanfaatkan	Terbatas
Nilai ekonomi awal	Rendah	Rendah	Rendah–sedang	Sedang	Sedang
Dampak ke biaya operasi	Rendah	Tinggi	Tinggi	Sedang	Sedang
Kesesuaian untuk pabrik glukosa	Sangat sesuai	Kurang sesuai	Cukup sesuai	Cukup sesuai	Cukup sesuai

Tabel 2.2 Perbandingan Asam

Parameter	Asam Fosfat (H ₃ PO ₄)	Asam Sulfat (H ₂ SO ₄)	Asam Klorida (HCl)	Asam Nitrat (HNO ₃)
Kekuatan asam	Sedang	Sangat kuat	Sangat kuat	Sangat kuat
Kontrol reaksi	Baik & stabil	Sulit dikontrol	Cepat & agresif	Terlalu reaktif
Korosi reaktor	Rendah	Tinggi	Sangat tinggi	Sangat tinggi
Material reaktor	SS biasa	Alloy / lining	Alloy khusus	Alloy khusus
Degradasi glukosa	Minimal	Tinggi (HMF, char)	Tinggi	Sangat tinggi
Pembentukan garam	Fosfat (lunak)	Sulfat (scaling)	Klorida (korosif)	Nitrat (oksidatif)
Warna produk	Jernih	Cenderung gelap	Bisa gelap	Gelap
Keamanan operasi	Relatif aman	Risiko tinggi	Gas HCl	Oksidator kuat
Pembentukan garam	Fosfat (lunak)	Sulfat (scaling)	Klorida (korosif)	Nitrat (oksidatif)
Warna produk	Jernih	Cenderung gelap	Bisa gelap	Gelap
Keamanan operasi	Relatif aman	Risiko tinggi	Gas HCl	Oksidator kuat
Kesesuaian <i>food grade</i>	Sangat cocok	Kurang	Tidak dianjurkan	Tidak dianjurkan
Biaya total proses	Ekonomis	Mahal (korosi)	Mahal	Mahal

2.2 Macam-macam Proses

Berdasarkan metode yang digunakan dalam pembuatan glukosa dapat dibedakan menjadi 2 yaitu:

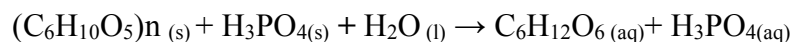
1. Hidrolisis dengan katalis asam
2. Hidrolisis dengan katalis enzimatik

2.2.1 Pembuatan Glukosa dari Sabut Kelapa Dengan Metode Hidrolisis Asam

Hidrolisis selulosa dengan asam dilakukan dengan menambahkan larutan asam berupa H_3PO_4 atau asam fosfat sebagai katalis ke dalam *filtrate* selulosa yang telah ditambahkan air. Zat asam digunakan untuk mengatur pH. Proses hidrolisis ini membutuhkan suhu antara 135°C , sehingga harus dilakukan pemanasan antara suhu tersebut untuk proses hidrolisis yang optimal.

Setelah itu dilakukan proses netralisasi, larutan yang sudah netral kemudian dijernihkan dengan cara menambahkan larutan *bleaching agent* yaitu karbon aktif, kaolin, dan lain-lain. Setelah itu dilakukan penyaringan untuk memisahkan kotoran. Untuk mendapatkan glukosa dengan kepekatan yang diinginkan dapat dilakukan dengan cara pemekatan pada evaporator (Schenck, 1992). Reaksi yang terjadi pada proses hidrolisis menggunakan asam:

Reaksi Utama



Reaksi Samping



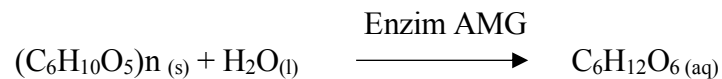
2.2.2 Proses Pembuatan Glukosa dari Tepung Singkong dengan Metode Hidrolisis Katalis Enzim

Bahan dasar yang digunakan untuk pembuatan glukosa yaitu pati singkong yang berasal dari sabut kelapa. Terdapat beberapa tahapan proses yang harus dilakukan yaitu:

1. Tahap persiapan bahan baku berupa pati untuk proses liquifikasi
2. Tahap pembentukan produk
3. Tahap pemurnian produk

Persiapan bahan baku berupa pati diangkut menuju *mixer* untuk dicampur dengan air yang kemudian dipompa dan dipanaskan menjadi 90°C lalu diumpankan ke dalam tangki liquifikasi bersama hasil dari keluaran *mixer*. Kemudian masuk tahap pembentukan produk dengan bantuan katalis asam klorida (HCl) kemudian masuk ke reaktor untuk reaksi sakarifikasi menggunakan enzim amiloglukosidase (AMG) pada suhu 60°C dan tekanan 1 atm.

Kemudian hasil keluaran dari reaktor kemudian di netralkan dalam tangki neutralizer (N) dengan penambahan natrium hidroksida hingga pH netral. Dilakukan penyerapan karbon aktif dalam *centrifuge*. Terakhir dipekatkan dalam evaporator sampai 80%-berat kemudian keluarannya didinginkan sampai suhu 30°C dan disimpan dalam tangki produk. Reaksi yang terjadi pada proses hidrolisis enzimatik menggunakan enzim amiloglukosidase (AMG) setelah mengalami proses *pretreatment* bahan baku:



2.3 Pemilihan Proses

Dalam pemilihan proses untuk menghasilkan produk berupa glukosa, harus dipertimbangkan beberapa faktor yaitu faktor ekonomis yang meliputi biaya bahan baku dan harga produksi serta harga jual produk dan kelayakan teknis yang meliputi suhu operasi, energi bebas gibbs (ΔG^0), dan panas pembentukan standar (ΔH^0_r).

Energi bebas Gibbs (ΔG^0) merupakan cara untuk menentukan apakah reaksi tersebut berjalan spontan, tidak spontan atau berada dalam keadaan setimbang, apabila nilai ΔG^0 adalah positif maka reaksi tersebut berjalan tidak spontan, apabila nilai ΔG^0 adalah negatif maka reaksi tersebut berjalan spontan, sedangkan apabila nilai ΔG^0 adalah nol maka reaksi tersebut berada dalam keadaan setimbang.

Panas pembentukan standar (ΔH^0_r) merupakan besar panas reaksi yang mampu dihasilkan atau dibutuhkan untuk berlangsungnya suatu reaksi kimia. ΔH^0_r bernilai positif menunjukkan reaksi tersebut membutuhkan panas untuk melangsungkan reaksi kimia (endotermis). Sedangkan, untuk ΔH^0_r yang bernilai negatif menunjukkan reaksi tersebut menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi (eksotermis).

2.3.1 Tinjauan Ekonomi

Kapasitas produksi yang dirancang untuk pendirian pabrik glukosa di tahun 2031 ini sebesar 40.000 ton/tahun. Dalam satu tahun, pabrik dirancang untuk beroperasi selama 330 hari, sehingga kapasitas produksi untuk setiap kg/jam sebesar:

$$\frac{40.000 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1.000 \text{ kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} = 5.050,505 \text{ kg/jam}$$

Tabel 2.3 Harga Produk dan Bahan Baku

Nama Bahan	Rumus Kimia	Harga (USD)/kg	Harga (IDR)/kg
Sabut Kelapa	-	0,006	100,00
Asam Fosfat	H ₃ PO ₄	0,03	491,70
Asam Sulfat	H ₂ SO ₄	0,31	5.000,00
Natrium Hidroksida	NaOH	0,50	8.152,50
Glukosa	C ₆ H ₁₂ O ₆	8,32	135.000,00
Hidroximethyl furfural	C ₆ H ₆ O ₃	1,00	16.305,00
Enzim Amiloglukosidase	AMG	20,00	325.929,00

(Sumber: Alibaba, 2025)

Beberapa proses pembuatan glukosa adalah sebagai berikut:

1. Glukosa dari Sabut Kelapa dengan Hidrolisis Asam Fosfat

Tabel 2.4 Harga Produk dan Bahan Baku

Nama Bahan	Rumus Kimia	Harga (USD)/kg	Harga (IDR)/kg
Sabut Kelapa	-	0,006	100,00
Asam Fosfat	H ₃ PO ₄	0,03	491,70
Asam Sulfat	H ₂ SO ₄	0,31	5.000,00
Natrium Hidroksida	NaOH	0,50	8.152,50
Glukosa	C ₆ H ₁₂ O ₆	8,32	135.000,00
HMF	C ₆ H ₆ O ₃	1,00	16.305,00

(Sumber: Alibaba, 2025)

Reaksi Utama

Pada kapasitas produksi C₆H₁₂O₆ sebesar 5.050,505 kg/jam dengan konversi sebesar 97% terhadap (C₆H₁₀O₅)_n, maka jumlah mol/jam C₆H₁₂O₆ yang dihasilkan sebesar:

	$(C_6H_{10}O_5)_n (s) + H_3PO_4(s) + H_2O(l) \rightarrow C_6H_{12}O_6(aq) + H_3PO_4(aq)$				
Mula-mula	nA0	nB0	nC0	-	-
Reaksi	-nA0. X	-nA0.X	-nA0.X	nA0.X	nA0. X
Sisa	nA0-nA0.X	nB0-nA0.X	nC0-nA0.X	nA0.X	nAo.X
BM	162	98	18	180	98

Konversi Reaktor 2 = 97%

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad nA0 &= \frac{\text{Massa } C_6H_{12}O_6}{\text{BM } C_6H_{12}O_6} \\
 &= \frac{5.050,51 \text{ kg/jam}}{180 \text{ kg/mol}} \\
 &= 28,058 \text{ kmol/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Harga} &= 5.050,51 \text{ kg/jam} \times \text{Rp } 135.000,00 \\
 &= \text{Rp } 681.818.850,00
 \end{aligned}$$

$$\bullet \quad nB0 = nB0 - nA0. X$$

$$\begin{aligned}
 &= n_{B0} - 28,058 \\
 &= n_{B0} \times \left(\frac{1-0,15}{0,15} \times \frac{28,058}{0,97} \right) \\
 n_{B0} &= (5,666 \times 28,926) \\
 &= 163,893 \text{ kmol/jam} \\
 \text{Massa } n_{B0} &= 163,893 \times 98 \\
 &= 16.061,51 \text{ kg/jam} \\
 \text{Harga} &= 16.061,51 \text{ kg/jam} \times \text{Rp } 491,70 \\
 &= \text{Rp } 7.897.444,47 \\
 \bullet \quad n_{C0} &= n_{C0} - n_{A0} \cdot X \\
 0 &= n_{C0} - (28,058 \times 0,97) \\
 n_{C0} &= 23,216 \text{ kmol/jam} \\
 \text{Massa } n_{C0} &= 23,216 \times 18 \\
 &= 417,888 \text{ kg/jam} \\
 \text{Harga} &= 417,888 \text{ kg/jam} \times \text{Rp } 0 \\
 &= \text{Rp } 0.- \\
 \bullet \quad n_{D0} &= n_{A0} \\
 \text{Massa } n_{D0} &= 5.050,51 \text{ kg/jam} \\
 \text{Harga} &= 5.050,51 \text{ kg/jam} \times \text{Rp } 135.000,00 \\
 &= \text{Rp } 681.818.850,00 \\
 \bullet \quad n_{E0} &= n_{C0} \\
 \text{Massa } n_{E0} &= 23,216 \times 18 \\
 &= 417,888 \text{ kg/jam} \\
 \text{Harga} &= 417,888 \text{ kg/jam} \times \text{Rp } 0 \\
 &= \text{Rp } 0.-
 \end{aligned}$$

Reaksi Samping

	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \text{ (l)}$	$\rightarrow$	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_3 \text{ (s)}$	$+ 3\text{H}_2\text{O} \text{ (l)}$
Mula-mula	n_{A0}		-	-
Bereaksi	$n_{A0} \cdot X$		$n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$
Sisa	$n_{A0} - n_{A0} \cdot X$		$n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$
BM	180		126	18

- $$\begin{aligned} \bullet \quad nA0 &= \frac{\text{Massa } C_6H_{12}O_6}{BM \ C_6H_{12}O_6} \\ &= \frac{5.050,51 \text{ kg/jam}}{180 \text{ kg/mol}} \\ &= 28,058 \text{ kmol/jam} \\ \text{Harga } nA0 &= 5.050,51 \text{ kg/jam} \times \text{Rp } 135.000,00 \\ &= \text{Rp } 681.818.850,00 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \bullet \quad nB0 &= nB0 - nA0 \cdot X \\ &= nB0 - 28,058 (0,97) \\ &= 27,216 \text{ kmol/jam} \\ \text{Massa } nB0 &= 27,216 \times 126 \\ &= 3.429,216 \text{ kg/jam} \\ \text{Harga} &= 3.429,216 \text{ kg/jam} \times \text{Rp } 16.305,00 \\ &= \text{Rp } 55.913.432,10 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \bullet \quad nC0 &= nC0 - nA0 \cdot X \\ &= nC0 - \left(\frac{1-0,97}{0,97} \times \frac{28,058}{0,97} \right) \\ &= (0,031 \times 28,926) \\ &= 0,897 \text{ kmol/jam} \\ \text{Massa } nC0 &= 0,897 \times 18 \\ &= 16,147 \text{ kg/jam} \\ \text{Harga } nC0 &= \text{Rp } 0.- \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan keuntungan untuk pabrik Glukosa dari sabut kelapa yaitu;

$$\begin{aligned} \text{Keuntungan} &= \text{Harga produk} - \text{Harga bahan baku (Smith, R. 2005)} \\ &= (\text{Rp } 681.818.850,00 + \text{Rp } 55.913.432,10) - \\ &\quad (\text{Rp } 7.897.444,47 + \text{Rp } 681.818.850,00) \\ &= \text{Rp } 737.732.282,00 - \text{Rp } 689.716.132,00 \text{ kg/jam} \\ &= \text{Rp } 48.016.150 \text{ kg/jam} \\ &= \text{Rp } 48.016,15 \text{ ton/jam} \\ &= \text{Rp } 420.621.474 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

2. Glukosa dari Pati Singkong dengan Hidrolisis Enzim Amiloglukosidase

Tabel 2.5 Harga Produk dan Bahan Baku

Nama Bahan	Rumus Kimia	Harga (USD)/kg	Harga (IDR)/kg
Singkong	-	0,062	1.000,00
Asam Klorida	HCl	20,00	326.100,00
Enzim Amiloglukosidase	-	19,00	327.693,30
Glukosa	C ₆ H ₁₂ O ₆	7,39	120.000,00

(sumber: Alibaba, 2025)

Reaksi :



Mula-mula	nA0	nB0	nC0		
Reaksi	-nA0. X	-nA0. X	-nA0.X	nA0.X	nA0. X
Sisa	nA0-nA0.X	nB0-nA0.X	nC0-nA0.X	nA0. X	nA0. X
Berat Molekul	162	36	18	180	36

Konversi Reaktor = 97%

Jika terbentuk 1kg glukosa maka;

$$\text{Mol } C_6H_{12}O_6 = \frac{\text{Massa } C_6H_{12}O_6}{\text{BM } C_6H_{12}O_6}$$

$$\text{Maka } n \text{ } C_6H_{12}O_6 = \frac{5.050,51 \text{ kg}}{180 \text{ kg/mol}} = 28,058 \text{ kmol}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ nA0} &= \frac{\text{Massa } C_6H_{12}O_6}{\text{BM } C_6H_{12}O_6} \\ &= \frac{5.050,51 \text{ kg/jam}}{180 \text{ kg/mol}} \\ &= 28,058 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga} &= 5.050,51 \text{ kg/jam} \times \text{Rp } 120.000,00 \\ &= \text{Rp } 606.061.200,00 \end{aligned}$$

$$\bullet \text{ nB0} = nB0 - nA0. X$$

$$\begin{aligned}
 &= nB0 - 28,058 \\
 &= nB0 \times \left(\frac{1-0,25}{0,25} \times \frac{28,058}{0,97} \right) \\
 nB0 &= (3 \times 28,926) \\
 &= 86,778 \text{ kmol/jam} \\
 \text{Massa } nB0 &= 86,778 \times 36 \\
 &= 3.124,01 \text{ kg/jam} \\
 \text{Harga} &= 3.124,01 \text{ kg/jam} \times \text{Rp } 491,70 \\
 &= \text{Rp } 1.536.075,72 \\
 \bullet \quad nC0 &= nC0 - nA0 \cdot X \\
 1 &= nC0 - (28,058 \times 0,97) \\
 nC0 &= 23,216 \text{ kmol/jam} \\
 \text{Massa } nC0 &= 23,216 \times 18 \\
 &= 417,888 \text{ kg/jam} \\
 \text{Harga} &= 417,888 \text{ kg/jam} \times \text{Rp } 0 \\
 &= \text{Rp } 0.- \\
 \bullet \quad nD0 &= nA0 \\
 \text{Massa } nD0 &= 5.050,51 : 162 \\
 \text{Harga} &= 31,176 \text{ kg/jam} \times \text{Rp } 120.000,00 \\
 &= \text{Rp } 3.741.120,00 \\
 \bullet \quad nE0 &= nB0 \\
 \text{Massa } nE0 &= 86,778 \times 36 \\
 &= 3.124,01 \text{ kg/jam} \\
 \text{Harga} &= 3.124,01 \text{ kg/jam} \times \text{Rp } 491,70 \\
 &= \text{Rp } 1.536.075,72 \\
 \bullet \quad &\text{Harga enzim AMG per kg} = \text{Rp } 327.693,30
 \end{aligned}$$

Sehingga keuntungan pabrik glukosa dari pati singkong dengan hidrolisis asam HCl dan enzim amiloglukosidase (AMG) adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Keuntungan} &= \text{Harga produk} - \text{Harga bahan baku (Smith, R. 2005)} \\
 &= (\text{Rp } 606.061.200,00 + \text{Rp } 3.741.120,00) -
 \end{aligned}$$

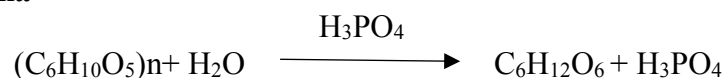
$$\begin{aligned}
 & (\text{Rp } 606.061.200,00 + \text{Rp } 1.536.075,72 + \text{Rp } 327.693,30) \\
 & = (\text{Rp } 609.802.320 - \text{Rp } 607.924.969) \\
 & = \text{Rp } 1.877.351,00
 \end{aligned}$$

Jika kedua proses diatas dibandingkan dari nilai keuntungan secara ekonomi, maka dipilih pabrik glukosa dari sabut kelapa dengan hidrolisis asam fosfat dibandingkan glukosa dari pati singkong hidrolisis asam HCl dan enzim amiloglukosidase (AMG) dikarenakan nilai keuntungannya lebih besar.

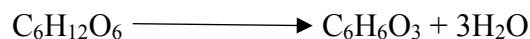
2.3.2 Tinjauan Termodinamika

Konsep termodinamika diperlukan untuk mengetahui sifat-sifat reaksi pada setiap proses yang berlangsung. Untuk mengetahui apakah reaksi bersifat eksotermis atau endotermis dan reaksi berlangsung searah atau berlawanan arah. Untuk penentuan panas reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis diketahui dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada suhu 298K.

Reaksi Utama

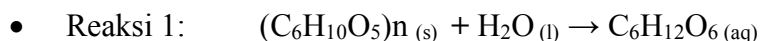


Reaksi Samping



1. Termodinamika Proses Pembuatan Glukosa dari Sabut Kelapa dengan Hidrolisis Asam Fosfat

a. Entalpi Reaksi (ΔH):



Harga ΔH°_f masing-masing komponen pada suhu 298,15 K dapat dilihat pada Tabel 2.4 yang bersumber dari (Perry, 2008):

Komponen	Rumus Kimia	Harga ΔH°_f (kJ/mol)
Selulosa	$(C_6H_{10}O_5)_n$	-737,04
Air	H_2O	-241,80
Glukosa	$C_6H_{12}O_6$	-1.014,96

Tabel 2.6 Harga ΔH°_f pada masing-masing komponen

Setelah mengetahui nilai harga ΔH°_f pada masing-masing komponen, kemudian menghitung nilai *enthalpy*. *Enthalpy* reaksi utama pada persamaan:

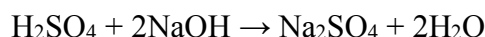
$$\Delta H = \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan}$$

$$\Delta H = \Delta H^\circ_f \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 - (\Delta H^\circ_f (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O})$$

$$\Delta H = (-1.014,96 \text{ kJ/mol}) - ((-737,04 \text{ kJ/mol}) + (-241,80 \text{ kJ/mol}))$$

$$\Delta H = -36,12 \text{ kJ/mol}$$

- Reaksi 2:



Harga ΔH°_f masing-masing komponen pada suhu 298,15 K dapat dilihat pada Tabel 2.5 yang bersumber dari (Yaws, 1999):

Komponen	Rumus Kimia	Harga ΔH°_f (kJ/mol)
Asam Sulfat	H_2SO_4	-735,13
Natrium Hidroksida	NaOH	-425,60
Air	H_2O	-241,80
Natrium Sulfat	Na_2SO_4	-1.387,10

Tabel 2.7 Harga ΔH°_f pada masing-masing komponen

Setelah mengetahui nilai harga ΔH°_f pada masing-masing komponen, kemudian menghitung nilai *enthalpy*. *Enthalpy* reaksi utama pada persamaan:

$$\Delta H = \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan}$$

$$\Delta H = (\Delta H^\circ_f \text{ Na}_2\text{SO}_4 + \Delta H^\circ_f 2\text{H}_2\text{O}) - (\Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{SO}_4 + \Delta H^\circ_f 2\text{NaOH})$$

$$\Delta H = (-1387,1 \text{ kJ/mol} + (2 \times -241,80 \text{ kJ/mol})) - (-735,13 \text{ kJ/mol} + (2 \times -425,6 \text{ kJ/mol}))$$

$$\Delta H = -284,37 \text{ kJ/mol}$$

Sehingga dapat diketahui nilai entalpi reaksi total (ΔH_{total}) pada proses pembuatan glukosa dari sabut kelapa dengan hidrolisis asam fosfat sebagai berikut:

$$\Delta H_{\text{total}} = \sum \Delta H_{\text{rx1}} + \sum \Delta H_{\text{rx2}}$$

$$\Delta H_{\text{total}} = -36,12 \text{ kJ/mol} + (-284,37 \text{ kJ/mol})$$

$$\Delta H_{\text{total}} = -320,49 \text{ kJ/mol}$$

Diperoleh harga panas reaksi bernilai negatif, dapat diketahui reaksi tersebut adalah

reaksi eksotermis. Reaksi akan melepaskan panas dengan jumlah tertentu sehingga reaktor memerlukan pendingin agar suhu pada reaktor relatif konstan.

b. Energi Gibbs

Setelah mengetahui nilai *enthalpy*, kemudian menghitung nilai *Gibbs* pada reaksi yang sama dengan suhu 298,15 K. Tabel 2.6 yang bersumber dari (Yaws, 1999) menunjukkan harga energi *Gibbs* pada masing-masing komponen.

Tabel 2.8 Harga ΔG°_f pada masing-masing komponen

Komponen	Rumus Kimia	Harga ΔG°_f (kJ/mol)
Selulosa	$(C_6H_{10}O_5)_n$	-569,77
Asam Sulfat	H_2SO_4	-653,47
Natrium Hidroksida	$NaOH$	-379,50
Natrium Sulfat	Na_2SO_4	-1.270,20
Air	H_2O	-228,60
Glukosa	$C_6H_{12}O_6$	-910,56

Energi *Gibbs* menggunakan persamaan:

$$\Delta G^\circ = \Delta G^\circ_f \text{ produk} - \Delta G^\circ_f \text{ reaktan}$$

- Reaksi 1:

$$\Delta G^\circ = \Delta G^\circ_f C_6H_{12}O_6 - (\Delta G^\circ_f (C_6H_{10}O_5)_n + \Delta G^\circ_f H_2O + \Delta G^\circ_f H_3PO_4)$$

$$\Delta G^\circ = -910,56 \text{ kJ/mol} - ((-569,77 \text{ kJ/mol}) + (-228,60 \text{ kJ/mol}))$$

$$\Delta G^\circ = -112,19 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ = -112.190 \text{ J/mol}$$

- Reaksi 2:

$$\Delta G^\circ = (\Delta G^\circ_f Na_2SO_4 + \Delta G^\circ_f 2H_2O) - (\Delta G^\circ_f H_2SO_4 + \Delta G^\circ_f 2NaOH)$$

$$\Delta G^\circ = (-1.270,2 \text{ kJ/mol} + (2 \times -228,60 \text{ kJ/mol})) - (-653,47 \text{ kJ/mol} + (2 \times -379,5 \text{ kJ/mol}))$$

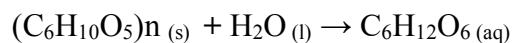
$$\Delta G^\circ = -314,93 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ = -314.930 \text{ J/mol}$$

Nilai energi bebas gibbs (ΔG_r) pada proses pembuatan glukosa dari sabut kelapa dengan hidrolisis asam fosfat ini bernilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi pada proses ini berlangsung secara spontan dan tidak membutuhkan energi dalam proses pereaksinya.

2. Termodinamika Pembuatan Glukosa dari Pati Singkong dengan Hidrolisis Enzim Amiloglukosidase

a. Entalpi Reaksi (ΔH):



Harga ΔH°_f masing-masing komponen pada suhu 298,15 K dapat dilihat pada Tabel 2.7 yang bersumber dari (Perry, 2008):

Komponen	Rumus Kimia	Harga ΔH°_f (kJ/mol)
Selulosa	$(C_6H_{10}O_5)_n$	-737,04
Air	H_2O	-241,80
Glukosa	$C_6H_{12}O_6$	-1.014,96

Tabel 2.9 Harga ΔH°_f pada masing-masing komponen

Setelah mengetahui nilai harga ΔH°_f pada masing-masing komponen, kemudian menghitung nilai *enthalpy*. *Enthalpy* reaksi utama pada persamaan:

$$\Delta H = \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan}$$

$$\Delta H = \Delta H^\circ_f C_6H_{12}O_6 - (\Delta H^\circ_f (C_6H_{10}O_5)_n + \Delta H^\circ_f H_2O)$$

$$\Delta H = (-1.014,96 \text{ kJ/mol}) - ((-737,04 \text{ kJ/mol}) + (-241,80 \text{ kJ/mol}))$$

$$\Delta H = -36,12 \text{ kJ/mol}$$

Diperoleh harga panas reaksi bernilai negatif, dapat diketahui reaksi tersebut adalah reaksi eksotermis. Reaksi akan melepaskan panas dengan jumlah tertentu sehingga reaktor memerlukan pendingin agar suhu pada reaktor relatif konstan.

b. Energi Gibbs

Setelah mengetahui nilai *enthalpy*, kemudian menghitung nilai *Gibbs* pada reaksi yang sama dengan suhu 298,15 K. Tabel 2.8 yang bersumber dari (Yaws, 1999) menunjukkan harga energi *Gibbs* pada masing-masing komponen.

Tabel 2.10 Harga ΔG°_f pada masing-masing komponen

Komponen	Rumus Kimia	Harga ΔG°_f (kJ/mol)
Selulosa	$(C_6H_{10}O_5)_n$	-569,77
Air	H_2O	-228,60
Glukosa	$C_6H_{12}O_6$	-910,56

Energi *Gibbs* menggunakan persamaan:

$$\Delta G^\circ = \Delta G^\circ_f \text{ produk} - \Delta G^\circ_f \text{ reaktan}$$

$$\Delta G^\circ = \Delta G^\circ_f C_6H_{12}O_6 - (\Delta G^\circ_f (C_6H_{10}O_5)_n + \Delta G^\circ_f H_2O + \Delta G^\circ_f H_3PO_4)$$

$$\Delta G^\circ = -910,56 \text{ kJ/mol} - ((-569,77 \text{ kJ/mol}) + (-228,60 \text{ kJ/mol}))$$

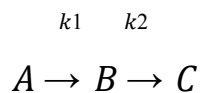
$$\Delta G^\circ = -112,19 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ = -112.190 \text{ J/mol}$$

Nilai energi bebas gibbs (ΔG_r) pada pembuatan glukosa dari pati singkong dengan hidrolisis enzim amiloglukosidase ini bernilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi pada proses ini berlangsung secara spontan dan tidak membutuhkan energi dalam proses pereaksinya.

2.2.3 Tinjauan Kinetika

Tinjauan secara kinetika bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi kimia, seperti laju kinetika. Berdasarkan Lenihan *et al.*, 2011, laju reaksi hidrolisis asam bergantung pada beberapa variabel, seperti: suhu, konsentrasi asam, waktu, konsentrasi substrat, dan komposisi substrat. Dengan reaksi yang terjadi:



Dimana:

A : Selulosa

B : Glukosa

C : HMF

Persamaan kinetika untuk reaksi diatas:

$$r_A = kCA.CB$$

$$r_A = \frac{dCB}{dt}$$

$$\frac{dCB}{dt} = k_1.CA - k_2.CB$$

Selanjutnya, dicari nilai kinetika (k) dengan persamaan Arrhenius:

$$k = Ae^{\frac{-E_a}{RT}}$$

$$\ln k = \ln Ae^{\frac{-E_a}{RT}}$$

$$\ln k = \ln A + \frac{-E_a}{RT}$$

$$\ln k = \ln A - \left(\frac{E_a}{RT}\right)\left(\frac{1}{T}\right)$$

Keterangan:

A : Faktor Arrhenius

E_a : Energi Aktivasi (kJ/mol)

T : Temperatur (K)

R : Konstanta gas (kJ/mol.K)

Pada Tabel 2.9 menunjukkan nilai kinetika dari hidrolisis asam menggunakan katalis H₃PO₄.

Tabel 2.11 Nilai Kinetika Glukosa

Konstanta Reaksi k1	Konstanta Reaksi k2	Suhu (°C)	k1 (menit)	k2 (menit)
		135	0,0373	0,0200
E _a =66,958 kJ	E _a =82,411 kJ	150	0,0841	0,0444
k ₁₀ =1,51×10 ⁷	k ₂₀ =7,15×10 ⁸	175	0,2772	0,2054
R ² =0,9945	R ² =0,9891	200	0,5438	0,5213

Dari penjelasan masing-masing proses, terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan tiap proses yang dapat tabel 2.10 dibawah ini:

Proses	Kelebihan	Kekurangan
Hidrolisis Katalis Asam	Bahan baku mudah diperoleh, hemat biaya, peralatan sederhana, seluruh bahan tersedia di dalam negeri, waktu operasi tidak terlalu lama.	Penggunaan asam sebabkan korosi peralatan tetapi kekurangan ini dapat diminimalisir dengan mengganti bahan baja menjadi aluminium pada reaktor.
Hidrolisis Katalis Enzim	Bahan baku mudah diperoleh, proses lebih sederhana, peralatan sederhana didapat hasil sirup glukosa yang lebih murni, jernih, dan bersih.	Waktu hidrolisis memerlukan waktu yang cukup lama, menggunakan enzim yang banyak, enzim masih <i>impor</i> (harga relatif mahal), waktu operasi sangat lama.

Tabel 2.12 Perbandingan Hidrolisis Asam dan Enzim

Dari kedua macam proses diatas, proses yang digunakan dalam pembuatan glukosa dari sabut kelapa yaitu hidrolisis dengan katalis asam, dikarenakan hidrolisis dengan katalis asam lebih efisien dibandingkan dengan menggunakan metode hidrolisis enzim.

2.4 Uraian Proses

Pembuatan glukosa menggunakan bahan baku sabut kelapa berupa kandungan selulosa dan air, dengan katalisator asam fosfat (H_3PO_4). Proses dibagi menjadi lima tahap, yaitu:

1. Persiapan Bahan,
2. Proses *Pretreatment* Mekanik,
3. Proses Isolasi Sabut Kelapa Dengan Metode *Chesson-Datta*,
4. Proses Hidrolisis menggunakan Asam Fosfat
5. Proses Pemisahan dan Pemurnian Produk.

2.4.1 Persiapan Bahan Baku dan Bahan Pendukung

Persiapan bahan baku dengan menentukan asal bahan baku dibeli, jarak dan waktu

pengiriman bahan baku, serta jumlah dari bahan baku yang diperlukan. Bahan baku utama berupa sabut kelapa dibeli dari CV Kosapa. Bahan yang digunakan dalam proses pembuatan glukosa adalah sabut kelapa, natrium hidroksida (NaOH), asam fosfat (H_3PO_4) dan asam sulfat (H_2SO_4). Setiap bahan baku disimpan pada suhu 35°C dan tekanan 1 atm.

Pabrik glukosa ini memiliki lima silo penyimpanan yaitu; silo 1 (S-01) yang berisi sabut kelapa, silo 2 (S-02) yang berisi natrium hidroksida (NaOH) dan silo 4 (S-04) berisi produk akhir yaitu glukosa dan terdapat empat tangki penyimpanan ; tangki 1 (T-01) dan tangki 2 (T-02) yang berisi asam sulfat (H_2SO_4), tangki 3 (T-03) yang berisi asam fosfat (H_3PO_4). Air yang digunakan dalam proses produksi glukosa dari unit utilitas yang dialirkan pada sistem perpipaan dengan bantuan pompa.

2.4.2 Proses *Pre-treatment* Mekanik

Proses *pre-treatment* merupakan pembersihan sabut kelapa dari kotoran-kotoran. Sabut kelapa dari silo 1 (S-01) dimasukkan ke dalam *washing tank* untuk dicuci bersih menggunakan air bersih agar bersih dari kotoran- kotoran yang masih menempel pada sabut kelapa. Air pada *washing tank* untuk proses pencucian sifatnya sekali pakai. Air yang sudah digunakan untuk mencuci dialirkan menuju Unit Pengolahan Limbah (UPL).

Washing tank dioperasikan pada suhu 35°C dan tekanan 1 atm. Kemudian sabut kelapa yang sudah dicuci diangkut *Belt Elevator* (BE-01) untuk dibawa menuju *Rotary Dryer* (RD-01) untuk dilakukan proses pengeringan dengan suhu 110°C , tekanan 1 atm selama 3 jam. Sabut kelapa kering kemudian diangkut dengan *belt conveyor* (BC-01) menuju ke *Hammer Mill* (HM-01) untuk dilakukan pencacahan menjadi serbuk sabut kelapa dengan suhu 100°C , waktu 15 menit dan tekanan 1 atm. Serbuk sabut kelapa kering kemudian diangkut dengan *screw conveyor* (SC-01) menuju *Mixer* (M-01) untuk dilakukan proses isolasi sabut kelapa menjadi selulosa.

2.4.3 Proses Isolasi Sabut Kelapa

Isolasi sabut kelapa (delignifikasi) ini dilakukan dengan berdasar pada metode Chesson-data. Pertama-tama serbuk sabut kelapa akan direfluks dengan *aquadest* pada

Mixer (M-01) suhu 35°C dan tekanan 1 atm selama 1 jam. Hal ini bertujuan untuk melarutkan ekstraktif polar pada sabut kelapa dengan memecah ikatan lemah polisakarida dan zat terlarut tanpa merusak struktur utama selulosa sabut kelapa. Kemudian keluaran dari *Mixer* (M-01) berupa residu (*slurry*) dialirkan menuju *Filter Press* 1 (FP-01) untuk dipisahkan antara *slurry* sabut kelapa dan *hot water soluble* yang membawa zat ekstraktif larut dengan kondisi operasi suhu 35°C dan tekanan 1 atm. *Hot water soluble* akan dialirkan menuju unit pengolahan limbah (UPL). Keluaran *slurry* sabut kelapa dialirkan ke *Mixer* (M-02) dengan penambahan asam sulfat (H_2SO_4) 0,5 M dari tangki penyimpanan (T-01) untuk direfluks selama 1 jam dengan tujuan memecah kandungan hemiselulosa pada sabut kelapa pada kondisi suhu 35°C dan tekanan 1 atm.

Keluaran samping *Mixer* (M-02) berupa residu serbuk sabut kelapa kering dan asam sulfat dipisahkan pada *Filter Press* (FP-02) pada suhu 35°C dan tekanan 1 atm. Keluaran atas *Filter Press* (FP-02) berupa residu serbuk sabut kelapa kering yang diteruskan ke *Mixer* (M-03) dan keluaran bawah berupa filtrat hemiselulosa dan asam sulfat (H_2SO_4) 0,5 M dialirkan menuju Unit Pengolahan Limbah.(UPL). Pada *Mixer* (M-03) dilakukan penambahan larutan asam sulfat (H_2SO_4) 72% untuk perendaman sabut kelapa selama 4 jam agar didapatkan filtrat selulosa. Larutan asam sulfat pekat akan mendorong proses delignifikasi (penghilangan lignin) sehingga didapat selulosa dengan konsentrasi kemurnian yang lebih tinggi. Kondisi operasi *Mixer* (M-03) adalah suhu 35°C dan tekanan 1 atm.

Hasil keluaran berupa residu serbuk sabut kelapa kering dan asam sulfat (H_2SO_4) 72% yang dipisahkan pada *Filter Press* (FP-03) dengan suhu 35°C dan tekanan 1 atm. Hasil samping berupa filtrat selulosa dan asam sulfat (H_2SO_4) 72% akan diteruskan menuju *Mixer* (M-04) dengan penambahan air (H_2O) untuk dilakukan pengenceran menjadi asam sulfat (H_2SO_4) 0,5 M dan direfluks pada suhu 35°C selama 1 jam dengan tekanan 1 atm sedangkan untuk hasil bawah berupa residu padatan.

Padatan keluaran *Mixer* (M-04) dipompa menuju *Storage Tank* (ST-01) untuk disimpan selama 1 hari pada kondisi suhu 35°C dan tekanan 1 atm. Selanjutnya

keluaran *Storage Tank* (ST-01) dipompa menuju *Neutralizer* (RN-01) untuk proses penetralan. Pada *Neutralizer* (RN-01) dilakukan penambahan natrium hidroksida (NaOH) dengan kondisi operasi suhu 60°C dan tekanan 1 atm. Keluaran dari *Neutralizer* (RN-01) berupa filtrat selulosa dengan kandungan natrium sulfat (Na_2SO_4) dan H_2O (*slurry*) yang kemudian dialirkan menuju *Rotary Drum Vacuum Filter* (RDVF-01) untuk dipisahkan dengan kondisi suhu 35°C dan tekanan 1 atm. Keluaran atas *Rotary Drum Vacuum Filter* (RDVF-01) berupa selulosa (*filtrate*) dan hasil bawah berupa natrium sulfat (Na_2SO_4) dengan H_2O yang saling terlarut. Hasil filtrat selulosa diteruskan menuju ke reaktor untuk proses hidrolisis asam fosfat. Sedangkan untuk hasil bawah berupa natrium sulfat (Na_2SO_4) dengan H_2O terlarut akan dialirkan ke UPL.

2.4.4 Proses Hidrolisis Asam Fosfat

Filtrat selulosa dimasukkan ke dalam Reaktor 1 (R-01) untuk proses hidrolisis asam fosfat. Jenis reaktor yang digunakan adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB), struktur reaktor yang digunakan seri dan prosesnya *kontinu*. Kemudian ditambahkan asam fosfat (H_3PO_4) dari Tangki Penyimpanan (T-03) dengan rasio 1:2 dan H_2O dari unit utilitas pada suhu 135°C tekanan 1 atm dan waktu 47 menit. Pada reaktor 1 terjadi reaksi dengan konversi sebesar 83% dengan keluaran glukosa, asam fosfat (H_3PO_4), sisa H_2O dan *Hydroxymethylfurfural* atau HMF($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_3$) kemudian keluaran ini dialirkan ke Evaporator 1 (EV-01) untuk menguapkan sebagian kandungan air (H_2O) pada suhu 120°C dan tekanan 1 atm. Keluaran Evaporator 1 (EV-01) dialirkan ke Reaktor 2 (R-02) untuk menghabiskan sisa selulosa (produk bawah). Pada Reaktor 2 (R-02) terjadi reaksi dengan konversi sebesar 97% dengan kondisi operasi yaitu pada suhu 135°C , waktu 128 menit, dan tekanan 1 atm.

2.4.5 Proses Pemisahan dan Pemurnian Produk

Pemurnian produk dilakukan dengan tujuan menghasilkan produk glukosa dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Dirancang produk glukosa dengan kemurnian mencapai 99%. Keluaran Reaktor 2 (R-02) kemudian menuju *Evaporator* 2 (EV-02) untuk pengurangan kadar air (proses penguapan kedua). Kondisi operasi pada suhu 110°C dan tekanan 1 atm. Keluaran bawah Evaporator 2 (EV-02) berupa produk glukosa.

Keluaran samping glukosa ke *Ball Mill* (BM-01) dan keluaran bawah *Rotary Drum Vacuum Filter* (RDVF-02) menuju ke UPL.

Glukosa yang diangkut ke *Ball Mill* (BM-01) dibentuk glukosa ukuran seragam dengan kondisi operasi suhu 35°C dan tekanan 1 atm yang menghasilkan kristal glukosa dengan bentuk seragam ukuran 200 mesh yang kemudian diangkut menuju *Vibrating Screen* suhu 35 °C dan tekanan 1 atm untuk pengayakan produk spesifikasi 200 mesh. Produk yang tidak sesuai spesifikasi akan dikembalikan kembali ke *Ball Mill*. Dihasilkan produk akhir berupa glukosa diangkut *screw conveyor* menuju silo (S-04) produk. Kemudian dari silo 4 (S-04) produk akan diteruskan menuju unit *packing* untuk kemudian diproses pengemasan dan distribusi pasar.



X. KESIMPULAN

10. 1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan pra rancangan pabrik glukosa dari sabut kelapa dengan metode hidrolisis asam fosfat kapasitas 40.000 ton/tahun baik ditinjau secara teknis maupun ekonomi, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pabrik glukosa berbentuk Perseroan Terbatas (PT) didirikan di daerah kawasan industri Indragiri Hilir (Tenayan) dengan luas tanah keseluruhan 43.820 m² dan jumlah karyawan 113 orang.
2. Berdasarkan tinjauan kondisi operasi, pemilihan bahan baku, dan kondisi sosio-kultural lokasi pabrik, maka pabrik glukosa dari sabut kelapa dengan metode hidrolisis asam tergolong pabrik beresiko rendah.
3. Dari segi evaluasi ekonomi serta analisis kelayakan, pabrik ini cukup menarik dan layak untuk didirikan dengan beberapa parameter kelayakan sebagai berikut:

a. *Return On Investment* (ROI)

- ROI sebelum pajak = 24,25%
- ROI setelah pajak = 19,40%

Syarat ROI untuk pabrik kimia dengan resiko rendah minimum adalah 11%.

b. *Pay Out Time* (POT)

- POT sebelum pajak = 2,481 tahun
- POT setelah pajak = 2,920 tahun

Syarat POT maksimum sebelum pajak untuk pabrik dengan resiko rendah adalah 5 tahun.

- c. *Break Even Point* (BEP) = 59,78%

Nilai BEP untuk pabrik pada umumnya berada pada rentang 40% - 60%.

- d. *Shut Down Point* (SDP) = 23,15%

Nilai SDP umumnya lebih rendah daripada nilai BEP dengan rentang 20% - 30%.

- e. *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR) = 18,53%

Suku bunga pinjaman dan deposito di bank saat ini adalah 6,25%. Syarat minimum DCF adalah diatas suku bunga pinjaman bank yaitu sekitar 1,5 kali suku bunga pinjaman bank.

10.2 Saran

Dalam perancangan pabrik kimia tidak hanya diperlukan dasar-dasar pengetahuan dan pemahaman teknik kimia, tetapi juga perlu didukung dengan adanya referensi yang berhubungan dengan konsep dasar pendirian suatu pabrik yang dapat meningkatkan kelayakannya. Dengan mempelajari lebih dalam terhadap seluruh konsep tersebut, harapannya akan menjadikan produk glukosa dapat direalisasikan sebagai sarana untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan ekspor dimasa yang akan mendatang yang jumlahnya semakin meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Antony. (1984). *Introduction to Organic and Biological Chemistry*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.
- Aprianti, A. and Tendri, S.H., 2023. Prarancangan Pabrik Sirup Glukosa dari tepung Tapioka melalui Proses Hidrolisis Asam Pekat dengan Kapasitas 64.000 Ton/Tahun. *Jurnal Tugas Akhir Teknik Kimia*, 6(1), pp.15-19.
- Aries, R.S. and Newton, R.D. (1955). *Chemical Engineering Cost Estimation*. New York: McGraw-Hill Book Company
- Badan Pusat Statistik. (2020). *10 Provinsi Penghasil Kelapa Terbesar di Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Bps. (2024). Diakses pada 10 Februari 2025 dari <https://www.bps.go.id/exim/>
- BPS Provinsi Riau. (2024). *Provinsi Riau Dalam Angka 2024*. Pekanbaru: BPS Riau
- Buss, S. A., & Buss, B. A. (1976). *Rotary Vacuum Drum Filter*. U.S. Patent No. 3,963,623.
- Debmandal, M. & Mandal, S. (2011). Coconut (Cocos nucifera L.: Arecaceae): In health promotion and disease prevention. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 241- 247.
- Dewi, N. K. A., Hartiati, A., & Harsojuwono, B. A. (2018). Pengaruh suhu dan jenis asam pada hidrolisis pati ubi talas (*Colocasia esculenta* L. Schott) terhadap karakteristik glukosa. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 6(4), 307.

- Edahwati, L. (2010). Perpisahan Massa Karbohidrat menjadi Glukosa dari Buah Kersen dengan Proses Hidrolisis. *Jurnal Peneliti Ilmu Teknik*, 10(1), 1–5.
- Envirotech Corporation. (1979). *Rotary Drum Filter and Method of Operation for Medium Cleaning*. International Publication No. WO 79/00765.
- Fengel, G., & Wegener, G. 1984. *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Fujita, I., Yoneda, T., Fukuoka, A., Kobayashi, H., & Yabushita, M. (2015). *Plant-Biomass Hydrolysis Method*. U.S. Patent Application No. US 2015/0337402 A1.
- Handika, G., Maulina, S. & Mentari, V.A., 2017. Karakteristik Karbon Aktif Dari Pemanfaatan Limbah Tanaman Kelapa Sawit Dengan Penambahan Aktivator Natrium Karbonat (Na_2CO_3) Dan Natrium Klorida (NaCl). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(4), pp.41-44.
- Herlon, M., Rifa'i, A., Rosnita, Yulida, R., Muwardi, D., Ridho, Z., & Mustaqim. (2026). Strategi Pengembangan Usaha Sabut Kelapa di Kabupaten Indragiri Hilir. *Mimbar Agribisnis: Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis*, 12(1), 1121-1129.
- Junianti, F. and Widjaja, A., 2022. Produksi Gula Reduksi Dari Sabut Kelapa Melalui Pretreatment Autoclave. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 1(1), pp.6-9.
- Khadafi, M., Zulnazri, Z., Kurniawan, E., Sulhatun, S., & Dewi, R. (2022). Isolasi Sabut Kelapa Dengan Metode Chessson-Datta Sebagai Sumber Alfa Selulosa. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 2(1), 40-51.

- Kusmiyati, K., Heratri, A., Kubikazari, S., Hidayat, A., & Hadiyanto, H. (2020). Hydrolysis of microalgae spirulina platensis, chlorella sp., and macroalgae ulva lactuca for bioethanol production. *International Energy Journal*, 20(4), 611-620.
- Lenihan, P., Orozco, A., O'Neill, E., Ahmad, M. N. M., Rooney, D. W., Mangwandi, C., & Walker, G. M. (2011). Kinetic modelling of dilute acid hydrolysis of lignocellulosic biomass. *Biofuel production-recent developments and prospects. InTech, Croatia*, 293-308.
- Luterbacher, J. S. (2000). *Aqueous Fractionation of Biomass Based on Novel Carbohydrate Hydrolysis Kinetics*. International Publication No. WO 00/61276.
- Luterbacher, J. S. (2012). *Aqueous Fractionation of Biomass Based on Novel Carbohydrate Hydrolysis Kinetics*. Cornell University: Ph.D. Dissertation.
- Made-in-China. (2023). Diakses pada 30 Oktober 2023 dari Glucose powder, China glucose powder, glucose powder Manufacturers, China glucose powder catalog (made-in-china.com).
- Maryana R, D. Ma'rifatun, A. I. Wheni, K. W. Satriyo, and W. A. Rizal, "Alkaline Pretreatment on Sugarcane Bagasse for Bioethanol Production," *Energy Procedia*, vol. 47, pp. 250–254, 2014.
- McGilvery. (1996). *Biokimia: Suatu Pendekatan Fungsional*. Airlangga University Press.
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y. Y., Holtzapple, M., & Ladisch, M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource technology*, 96(6), 673-686.

- Muharja, M., Junianti, F., Ranggina, D., Nurtono, T., & Widjaja, A. (2018). *An integrated green process: Subcritical water, enzymatic hydrolysis, and fermentation, for biohydrogen production from coconut husk*. *Bioresource Technology*, 249 (October 2017), 268–275.
- Nadia, A., Fauziah, A., & Mayori, E. (2017). *Potential of Lignocellulosic Oil Palm Waste in South Kalimantan for Bioethanol and Xylitol Production*. *Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*, 8(2), 41–51.
- Nanda, S., Mohanty, P., Pant, K. K., Naik, S., Kozinski, J. A., & Dalai, A. K. (2013). *Characterization of North American Lignocellulosic Biomass and Biochars in Terms of their Candidacy for Alternate Renewable Fuels*. *Bioenergy Research*, 6(2), 663–677.
- Olivier, L. (2021). *Method and System for Processing of Aquatic Species*. European Patent Application No. EP 3 903 604 A1.
- Patent, CN. (2012): A Acid Degenerative Starch And Preparation Method.
- Perry, Jhon H. (Ed). 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. Edisi Ketujuh, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Peters, M.S., and Timmerhaus, K.D., 2004, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, 5th ed., Mc Graw Hill Book Co., Inc., New York.
- Poedjiadi. (2006). *Dasar-Dasar Biokimia*. UI Press.
- Pratiwi, W. D., & Irfani, M. (2018). *Studi Pengolahan Limbah Cair Tapioka dengan Metode Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Air*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(1), 15-24.
- Reddy, S. N., Nanda, S., Dalai, A. K., & Kozinski, J. A. (2014). *Supercritical water gasification of biomass for hydrogen production*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(13), 6912–6926.

- Ridhani, M.A. and Aini, N., 2021. Potensi Penambahan Berbagai Jenis Gula Terhadap Sifat Sensori Dan Fisikokimia Roti Manis. *Pasundan Food Technology Journal (PFTJ)*, 8(3), pp.61-68.
- Risoyatiningsih, S. (2011). Hidrolisis pati ubi jalar kuning menjadi glukosa secara enzima. *Jurnal Teknik Kimia*, 5(2), 417–424.
- Santoso, Singgih. (2000). Buku Latihan SPSS Statistik Parametrik. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Sastroamidjojo, & Hardjono. (2005). *Kimia Organik Stereokimia, Karbohidrat, Lemak, dan Protein*. Gadjah Mada University Press.
- Schenck, F. W., & Hebeda, R. E. (1992). *Starch Hydrolysis Products: Worldwide Technology, Production, And Application*. VCH.
- Showa Denko K.K. (2014). *Process for the Production of a Biomass Hydrolysate*. International Publication No. WO 2014/087016 A1.
- Sukadarti, S. S., Kholisoh, S. D., Prasetyo, H., Santoso, W. P., & Mursini, T. (2010). Produksi gula reduksi dari sabut kelapa menggunakan jamur *Trichoderma reesei*. *Produksi Gula Reduksi dari Sabut Kelapa Menggunakan Jamur Trichoderma reesei*.
- Sun, Y., & Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource technology*, 83(1), 1-11.
- Tjokroadiekoesomo, P. S. (1993): *HFS dan Industri Ubi Kayu Lainnya*. PTa Gramedia. Jakarta
- Trisanti, A. (2010). Potensi Selulase Dalam Mendegradasi Lignoselulosa. *Berita Selulosa*, 45(2), 70–77.
- Vatavuk, W. M. (2002). Updating The CE Plant Cost Index. *Chemical Engineering*, 109(1), 62-70.

Wang, X., dkk. (2024). *System and Method for Co-Production of Premium-Grade Xylose and High-End Caramel Pigment Using Corncobs*. European Patent Application No. EP 4 424 847 A1.

Widiantara, T. (2018). Pengaruh Perbandingan Gula Merah Dengan Sukrosa Dan Perbandingan Tepung Jagung, Ubi Jalar Dengan Kacang Hijau Terhadap Karakteristik Jenang. *Pasundan Food Technology Journal*, 5(1), 1.

Woiciechowski, A L. Saul N. Ashok P and Carlos R S. (2002): Acid and Enzymatic Hydrolysis to Recover Reducing Sugars from Cassava Bagasse. an Economic Study. *Brazilian Archives of Biology and Technology Yaws*, 1990.

Wykoff, R. H. (1987). *Rotary Drum Filter*. U.S. Patent No. 4,702,845.

Yonandra, D.V. (2012). *Analisis Ekonomi Gula Kelapa di Desa Langkap Kecamatan Bumiayu Kabupaten Brebes*. (Skripsi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Purwokerto, 2012).

Yuniwati, M., Ismiyati, D., Kurniasih, R., Kimia, J. T., & Industri, F. T. (n.d.). *Dengan Katalisator Asam Chlorida*.