

**PRARANCANGAN PABRIK FURFURIL ALKOHOL DARI FURFURAL
DAN HIDROGEN KAPASITAS 23.000 TON/TAHUN
(Perancangan Reaktor - 201 (RE-201))**

(Skripsi)

Oleh:

**DWI TARISA MASTUR
(1915041011)**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK FURFURIL ALKOHOL DARI FURFURAL DAN HIDROGEN KAPASITAS 23.000 TON/TAHUN

Tugas Khusus Perancangan Reaktor - 201 (RE-201)

Oleh

DWI TARISA MASTUR

Furfuril alkohol dapat di produksi dengan beberapa proses yaitu proses Disproporsionasi aldehida dengan NaOH, dan Hidrogenasi Furfural. Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik berupa sistem pengolahan dan penyediaan air, system pengolahan limbah, sistem penyediaan *steam*, *cooling water*, sistem penyediaan udara tekan, dan sistem pembangkit tenaga listrik.

Pabrik direncanakan memproduksi furfuril alkohol sebanyak 23.000 ton/tahun, dengan waktu operasi 24 jam/hari, 330 hari/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah furfural sebanyak 2.292,4555 kg/jam dan hidrogen sebanyak 59,9826 kg/jam. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di daerah Cilegon, Banten. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 158 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 208.494.306.714
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 27.987.743.485
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 236.482.050.199
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 32,54%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 25,1%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 1,65 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 1,98 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 44%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 35,21%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 39,35%

Mempertimbangkan rangkuman di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik Furfuril Alkohol ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai prospek yang baik.

ABSTRACT

DESIGN OF FURFURYL ALCOHOL FROM FURFURAL AND HYDROGEN CAPACITY 23,000 TON/YEAR

Design of Reactor - 201 (RE-201)

By

DWI TARISA MASTUR

Furfuryl alcohol can be produced through several processes, including the disproportionation of aldehyde with NaOH and the hydrogenation of furfural. The factory's utilities include a water treatment and supply system, a wastewater treatment system, a steam supply system, cooling water, a compressed air supply system, and a power generation system.

The factory is planned to produce 23,000 tons of furfuryl alcohol per year, operating 24 hours a day, 330 days a year. The raw materials used are 2,292.4555 kg of furfural per hour and 59.9826 kg of hydrogen per hour. The factory is planned to be located in Cilegon, Banten. The factory will require 158 workers, operating as a Limited Liability Company (PT), led by a President Director assisted by a Production Director and a Finance Director, with a line and staff organizational structure.

From the economic analysis obtained:

<i>Fixed Capital Investment</i>	<i>(FCI)</i>	<i>= Rp 208.494.306.714</i>
<i>Working Capital Investment</i>	<i>(WCI)</i>	<i>= Rp 27.987.743.485</i>
<i>Total Capital Investment</i>	<i>(TCI)</i>	<i>= Rp 236.482.050.199</i>
<i>Break Even Point</i>	<i>(BEP)</i>	<i>= 32,54%</i>
<i>Shut Down Point</i>	<i>(SDP)</i>	<i>= 25,1%</i>
<i>Pay Out Time before taxes</i>	<i>(POT)_b</i>	<i>= 1,65 years</i>
<i>Pay Out Time after taxes</i>	<i>(POT)_a</i>	<i>= 1,98 years</i>
<i>Return on Investment before taxes</i>	<i>(ROI)_b</i>	<i>= 44%</i>
<i>Return on Investment after taxes</i>	<i>(ROI)_a</i>	<i>= 35,21%</i>
<i>Discounted cash flow</i>	<i>(DCF)</i>	<i>= 39,35%</i>

Considering the above summary, it is appropriate that the establishment of this furfuryl alcohol plant should be studied further, because it is a profitable factory and has good prospects.

PRARANCANGAN PABRIK FURFURIL ALKOHOL DARI FURFURAL DAN

HIDROGEN KAPASITAS 23.000 TON/TAHUN

(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201))

Oleh

Dwi Tarisa Mastur

1915041011

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknik Universitas Lampung



JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : PRARANCANGAN PABRIK *FURFURYL ALCOHOL* DARI
FURFURAL DAN HYDROGEN DENGAN KAPASITAS
23.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-101))

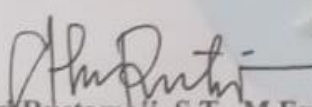
Nama Mahasiswa : Dwi Tarisa Mastur

No. Pokok Mahasiswa : 1915041011

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik




Dr. Heri Rustamaji, S.T., M.Eng
NIP. 198011212006041001


Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M.Eng
NIP. 197904192006042001

Ketua Jurusan Teknik Kimia


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

MENGESAHKAN

Tim Penguji

Ketua : Dr. Heri Rustamaji, S.T., M.Eng.,

.....
Heri Rustamaji

Sekretaris : Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M.Eng.,

.....
Sri Ismiyati

Penguji

Bukan Pembimbing : Taharuddin, S.T., M.Sc.,

.....
Taharuddin

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

.....
Lia Lismeri

Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



~~Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.~~
NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 8 Januari 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, 27 Januari 2026



Dwi Tarisa Mastur
NPM 1915041011

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sukaraja pada tanggal 18 November 200 sebagai anak kedua dari empat bersaudara, pasangan Bapak Oce Mastur dan Ibu Reasita.

Penulis telah menyelesaikan pendidikan sebelumnya di Sekolah Dasar Negeri (SDN) Sukaraja tahun 2013, Madrasah Tsanawiyah Negeri (MTsN) 2 Tanggamus tahun 2016, dan Sekolah Menengah Atas (SMAN) 1 Pringsewu pada tahun 2019.

Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Penulis melaksanakan kerja praktik di PT Semen Padang dengan tugas khusus “Evaluasi Kinerja Penggilingan *Tube Mill* Pada Unit *Cement Mill* Pabrik Indrarung V PT Semen Padang” serta menjalankan penelitian yang berjudul “Pembuatan Pupuk SRF MAP (*mono ammonium phosphate*) Menggunakan Matrik Bentonit Serta Uji Desorpsi Secara Statis di Air” di Laboratorium Rekayasa Komposit Keramik, Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi antara lain sebagai Staff Departemen Minat dan Bakat FT Unila Periode 2020 dan Wakil Ketua Himatemia FT Unila Periode 2021.

MOTTO

“Kun Fatakun.”

(Surat Yasi : 82)

“Life just once, be happy, be healthy, be wealthy.”

“”

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirahim

Puji syukur kepada Allah SWT atas kasih, rahmat, dan karunia yang telah dilimpahkan kepada penulis. Sholawat serta salam kita haturkan kepada nabi besar Muhammad SAW

Tidak ada lembar paling indah dalam laporan skripsi ini kecuali lembar persembahan.

Skripsi ini penulis persembahkan sebagai tanda bukti kepada orang tua tercinta, keluarga, dan sahabat yang selalu memberikan support untuk menyelesaikan skripsi ini

Ku persembahkan lembaran-lembaran sederhana ini, kepadamu:

Orangtuaku tercinta,

Terimakasih atas doa, kasih sayang, pengorbanan dan keikhlasannya.

Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa dibandingkan dengan pengorbanan dan kasih sayang selama ini

Terimakasih atas segalanya.

Kakak dan adikku tersayang,

Terimakasih atas doa dan dukungannya selama ini.

Sahabat-sahabatku,

Terimakasih atas dukungan, doa, keceriaannya dan ketulusannya selama ini.

Para pengajar sebagai tanda hormatku,

Terimakasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini, baik berupa ilmu teknik kimia, maupun ilmu kehidupan yang tentunya sangat berguna dan bermanfaat.

Dan tak lupa kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta,

Semoga kelak berguna dikemudian hari.

SANWACANA

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga tugas akhir: “Prarancangan Pabrik Furfuril Alkohol dari Furfural dan Hidrogen Kapasitas 23.000 Ton/Tahun” dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat guna memperoleh derajat kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Semoga bermanfaat dan berguna untuk kita semua.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tuaku, Bapak Oce Mastur dan Ibu Reasita atas segala pengorbanan dan doa yang telah dipanjatkan, segala keringat yang bercucuran serta kasih sayang yang selalu dialirkan. Terimakasih telah menerima penulis sepenuhnya dengan segala kekurangannya serta memberikan kepercayaan penuh kepada anak tengahnya ini untuk menentukan jalannya. Semoga Allah senantiasa mencurahkan rahmat, ridha, dan keberkahan disetiap langkahnya.
2. Ibu Yuli Darni S.T., M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung, serta dosen pembimbing akademik yang telah memberikan ilmu, saran, dan masukan dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan kepada penulis dapat berguna dikemudian hari.
3. Bapak Dr. Heri Rustamaji, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing I tugas akhir yang telah memberikan pengarahan, kritik, saran, ilmu, pengarahan, bimbingan dan pengertian dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan kepada penulis dapat berguna dikemudian hari.
4. Ibu Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan pengarahan, kritik, saran, ilmu, pengarahan, bimbingan dan pengertian dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan kepada penulis dapat berguna dikemudian hari.
5. Bapak Taharudin, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji I yang telah memberikan pengarahan, kritik, saran, ilmu, pengarahan, bimbingan dan pengertian dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan kepada penulis dapat berguna dikemudian hari.

6. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.ST. selaku dosen penguji II yang telah memberikan pengarahan, kritik, saran, ilmu, pengarahan, bimbingan dan pengertian dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan kepada penulis dapat berguna dikemudian hari.
7. Seluruh dosen Teknik Kimia Universitas Lampung, laboran, dan para staff akademik, atas ilmu dan segala jasanya.
8. Kakakku Eka Putri Reanita Mastur dan Adikku Catur Adha Mastur yang selalu memberikan segala doa, dukungan, dan kasih sayang yang tak terhingga.
9. Seluruh keluargaku yang telah memberikan dukungan baik moral maupun materil, dan doa-doa nya.
10. Darni An Nisa sebagai partner tugas akhir atas bantuan, dukungan, dan kerjasamanya, dalam penyusunan tugas akhir.
11. Dhini, Ages, Mutia dan Adel, atas segala doa, dukungan, menerima keluh kesah penulis, dan selalu membersamai penulis. Semoga kita semua diberi kesempatan untuk terus bersama.
12. Teman-teman seperjuangan angkatan 2019 atas semua suka duka yang dilalui, terimakasih atas segala keceriaan dan ketulusan yang diberikan. Sukses untuk kita semua dan semoga kita dapat dipertemukan kembali dengan keadaan yang lebih baik.
13. Kakak-kakak dan adik-adik tingkat di Jurusan Teknik Kimia, yang banyak memberikan warna-warni selama dikampus
14. Terakhir, kepada diri saya sendiri Dwi Tarisa Mastur yang sudah berjuang dan berusaha sekuat tenaga, dan menuntaskan tanggungjawabnya untuk menyelesaikan setiap apapun yang telah dimulai. Perjalanan masih panjang, hadapi lika liku kehidupan dengan penuh rasa bersyukur dan tanggung jawab..

Semoga Tugas akhir ini berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 27 Januari 2026
Penulis

Dwi Tarisa Mastur

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Kegunaan Produk	2
1.3 Ketersediaan Bahan Baku.....	2
1.4 Analisis Pasar	3
1.5 Lokasi Pabrik.....	6
BAB II	9
2.1 Macam-macam Proses.....	9
2.2 Tinjauan Ekonomi	10
2.3. Tinjauan Termodinamika	13
2.4 Pemilihan Proses	17
2.5 Uraian Proses.....	17
BAB III.....	20
3.1 Bahan Baku	20
3.2 Produk	21
BAB IV	22
4.1 Neraca Massa	22
4.2 Neraca Energi	24
BAB V.....	27
5.1 Peralatan Proses.....	27
5.2 Peralatan Utilitas	36
BAB VI	63
6.1 Unit Pendukung Proses	63
6.2 Unit Penyediaan <i>Steam</i>	76
6.3 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik.....	76
6.4 Sistem Penyediaan Bahan Bakar	77
6.5 Unit Penyediaan Udara Tekan.....	77

6.6 Pengolahan Limbah	77
BAB VII	85
7.1 Lokasi Pabrik.....	85
7.2 Tata Letak Pabrik	87
7.3 Estimasi Area Pabrik	90
BAB VIII.....	93
8.1. <i>Project Master Schedule</i>	93
8.2. Bentuk Perusahaan	95
8.3. Struktur Organisasi Perusahaan.....	98
8.4. Tugas dan Wewenang	101
8.5. Status Karyawan dan Sistem Penggajian	108
8.6. Manajemen Produksi	120
BAB IX	124
9.1. Investasi.....	124
9.2. Evaluasi Ekonomi.....	128
9.3. Angsuran Pinjaman	130
9.4. Discounted Cash Flow (DCF)	130
BAB X.....	132
10.1. Simpulan.....	132
10.2. Saran	132
DAFTAR PUSTAKA.....	133
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	
LAMPIRAN E	
LAMPIRAN F	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Ketersediaan Bahan Baku Furfuril Alkohol	3
Tabel 1.2 Data Impor Furfuril Alkohol di Indonesia.....	4
Tabel 1.3 Daftar Perusahaan Penghasil Furfuril Alkohol di Dunia.....	5
Tabel 1.4 Harga Bahan Baku dan Produk.....	6
Tabel 2.1 Daftar Berat Molekul dan Harga Bahan	10
Tabel 2.2 Nilai ΔH° dan ΔG° Bahan Baku dan Produk	14
Tabel 2.3 Perbandingan Proses Pembentukan Furfuril Alkohol.....	17
Tabel 4.1. Neraca Massa Vaporizer (VP – 101)	22
Tabel 4.2. Neraca Massa Reaktor (RE – 201)	23
Tabel 4.3. Neraca Massa Condensor (CD – 301)	23
Tabel 4.4. Neraca Massa Flash Drum (FD – 301)	24
Tabel 4.5. Neraca Massa Menara Distilasi (MD – 301)	24
Tabel 4.6. Neraca Energi Vaporizer (VP – 101).....	24
Tabel 4.7. Neraca Energi Heater (HE – 101).....	25
Tabel 4.7. Neraca Energi Reaktor (RE – 201)	25
Tabel 4.8. Neraca Energi Partial Condensor (PC – 301)	26
Tabel 4.7. Neraca Energi Menara Distilasi (MD – 301).....	26
Tabel 5.1 Spesifikasi Tangki $C_5H_4O_2$ (ST-101)	27
Tabel 5.2. Spesifikasi Tangki $C_5H_6O_2$ (ST-301)	28
Tabel 5.3. Spesifikasi Vaporizer (VP-101).....	28
Tabel 5.4. Spesifikasi Reaktor (RE-201)	29
Tabel 5.5. Spesifikasi Partial Condensor (PC-301)	30
Tabel 5.6. Spesifikasi Flash Drum (FD-301).....	30
Tabel 5.7. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-301).....	31
Tabel 5.8. Spesifikasi Condensor (CD-301)	31
Tabel 5.9. Spesifikasi Reboiler (RB-301).....	32
Tabel 5.10. Spesifikasi Cooler (CO-301)	33
Tabel 5.11. Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-101)	33
Tabel 5.12. Spesifikasi Pompa Proses (PP-101).....	34
Tabel 5.13. Spesifikasi Pompa Proses (PP-301).....	35

Tabel 5.14. Spesifikasi Pompa Proses (PP-302).....	35
Tabel 5.15. Spesifikasi Pompa Proses (PP-303).....	36
Tabel 5.16. Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-401).....	36
Tabel 5.17. Spesifikasi Tangki Alum (ST-401).....	37
Tabel 5.18. Spesifikasi Tangki Kaporit (ST-402).....	37
Tabel 5.19. Spesifikasi Tangki Soda Kaustik (ST-403)	38
Tabel 5.20. Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CL-401).....	39
Tabel 5.21. Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-401)	39
Tabel 5.22. Spesifikasi Tangki Air Filter (ST-404).....	40
Tabel 5.23. Spesifikasi <i>Hot Basin</i> (HB-401)	40
Tabel 5.24. Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (ST-405).....	41
Tabel 5.25. Spesifikasi Tangki Dispersan (ST-406).....	41
Tabel 5.26. Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST-407).....	42
Tabel 5.27. Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-401).....	43
Tabel 5.28. Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB-401).....	43
Tabel 5.29. Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-401)	44
Tabel 5.30. Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-401).....	44
Tabel 5.31. Spesifikasi <i>Demin Water Tank</i> (ST-408).....	45
Tabel 5.32. Spesifikasi <i>Deaerator</i> (DA-401)	46
Tabel 5.33. Spesifikasi Tangki Hidrazin (ST-409).....	46
Tabel 5.34. Spesifikasi <i>Boiler</i> (B-401)	47
Tabel 5.35. Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-410).....	48
Tabel 5.36. Spesifikasi <i>Blower Steam</i> (BS-401).....	48
Tabel 5.37. Spesifikasi Generator Listrik (GS-401).....	48
Tabel 5.38. Spesifikasi <i>Air Compressor</i> (AC-401)	49
Tabel 5.39. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-401).....	49
Tabel 5.40. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-402).....	50
Tabel 5.41. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-403).....	50
Tabel 5.42. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-404).....	51
Tabel 5.43. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-405).....	51
Tabel 5.44. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-406).....	52
Tabel 5.45. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-407).....	52

Tabel 5.46. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-408).....	53
Tabel 5.47. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-409).....	54
Tabel 5.48. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-410).....	54
Tabel 5.49. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-411).....	55
Tabel 5.50. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-412).....	55
Tabel 5.51. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-413).....	56
Tabel 5.52. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-414).....	56
Tabel 5.53. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-415).....	57
Tabel 5.54. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-416).....	57
Tabel 5.55. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-417).....	58
Tabel 5.56. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-418).....	58
Tabel 5.57. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-419).....	59
Tabel 5.58. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-420).....	59
Tabel 5.59. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Na ₂ CO ₃ (ST-501).....	60
Tabel 5.60. Spesifikasi Bak Penampung (BU-501).....	60
Tabel 5.61. Spesifikasi Bak Pengendapan Awal (BU-502).....	61
Tabel 5.62. Spesifikasi Bak Netralisasi (BN-501).....	61
Tabel 5.64. Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-501).....	62
Tabel 5.65. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-501).....	62
Tabel 6.1. Kebutuhan Air Pendingin	65
Tabel 6.2. Kebutuhan Air Umpan Boiler.....	68
Tabel 6.3. Kebutuhan Air Pabrik	70
Tabel 6.4. Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian.....	83
Tabel 6.5. Pengendalian Variabel Utama Proses	84
Tabel 7.1. Perincian luas area Pabrik Furfuryl Alkohol	90
Tabel 8. 1 <i>Project Master Schedule of Furfuryl Alcohol Plant</i>	95
Tabel 8. 2 Jadwal Kerja Masing-Masing Regu.....	111
Tabel 8. 3 Perincian Tingkat Pendidikan.....	112
Tabel 8. 4 . Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses	114
Tabel 8. 5 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Utilitas.....	114
Tabel 8. 6 Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan	115
Tabel 9.1. Fixed capital investment	125

Tabel 9.2. <i>Manufacturing cost</i>	126
Tabel 9.3. <i>General Expenses</i>	127
Tabel 9.4. Hasil Uji Kelayakan Ekonomi	131

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Data Impor Furfuril Alkohol di Indonesia.....	4
Gambar 6.1. <i>Cooling Tower</i>	67
Gambar 6.2. Diagram <i>Cooling Water System</i>	68
Gambar 6.3. <i>Daerator</i>	70
Gambar 7.1. Area Pabrik di Cilegon – Banten	91
Gambar 7.2. Tata Letak Pabrik dan Fasilitas Pendukung	92
Gambar 7.3. Tata Letak Peralatan Proses	93
Gambar 8. 1 Struktur Organisasi Perusahaan	100
Gambar. 9.1. Grafik Analisis Ekonomi.....	130
Gambar 9.2 Kurva <i>Cumulative Cash Flow</i> metode DCF	131

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai salah satu negara berkembang, Indonesia saat ini sedang melakukan upaya untuk meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan di segala sektor, termasuk pada sektor perindustrian. Industri kimia merupakan salah satu industri yang memiliki dampak besar di Indonesia dikarenakan mempunyai peran penting dalam mendukung industri-industri lainnya. Namun, kebutuhan beberapa bahan baku dan bahan penunjang untuk industri di Indonesia masih banyak didatangkan dari luar negeri (impor). Salah satu bahan penunjang pada beberapa industri yang banyak di impor adalah furfuril alkohol.

Furfuril alkohol adalah turunan dari furfural, yang juga merupakan senyawa alkohol primer heterosiklik dengan rumus empiris $C_5H_6O_2$. Furfuril alkohol (2-furanmetanol) merupakan senyawa organik yang tidak berwarna, mudah menguap, mempunyai bau yang khas, dapat larut dengan air, alkohol, eter, aseton, etil asetat dan solven organik lainnya kecuali parafin. Furfuril alkohol berasal dari gugus furan ditambah dengan gugus hidroksimetil. Furfuril alkohol dapat dibuat dengan proses reduksi furfural baik itu dengan NaOH (reaksi Cannizaro) ataupun dengan hidrogen (Witono, 2005).

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik pada tahun 2023, Indonesia banyak mengimpor furfuril alkohol dari China, Korea, dan Thailand. Oleh karena itu, pendirian pabrik ini sangat potensial didirikan di Indonesia mengingat hingga saat ini furfuril alkohol belum diproduksi di dalam negeri yang mengakibatkan seluruh kebutuhan bagi industri lokal yang menggunakan bahan ini masih mengandalkan pasokan impor. Pendirian pabrik ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan

impor, sehingga dapat meningkatkan pendapatan negara dari sektor industri dan diharapkan dapat meningkatkan devisa negara.

1.2 Kegunaan Produk

Fungsi furfuril alkohol adalah sebagai berikut:

1. Sebagai zat perekat (*binder*) yang baik dalam industri pengecoran logam, industri tekstil dan industri perekat karena mempunyai viskositas rendah dan reaktifitas yang tinggi.
2. Sebagai pelarut dalam resin fenolik dan pelarut dalam pewarna dan perekat.
3. Sebagai pelarut aktif pada serat sintetis.
4. Sebagai bahan baku pembuatan turunan furfuril alkohol seperti tetrahidrofurfuril alkohol.
5. Sebagai bahan penguat daya tahan dan kekerasan kayu (Witono, 2005).

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam produksi pembuatan furfuril alkohol berupa furfural ($C_5H_4O_2$) dan hidrogen (H_2). Jika kapasitas pabrik adalah 23.000 ton per tahun, maka banyaknya bahan baku yang dibutuhkan:

- $C_5H_4O_2$ yang dibutuhkan per tahun

$$= \text{Massa molekul} \times \text{Mol } C_5H_4O_2$$

$$= 96 \text{ kg/kmol} \times 30,2477 \text{ kmol/jam}$$

$$= 2.903,7770 \text{ kg/jam}$$

$$= 25.437,0865 \text{ ton/tahun}$$
- H_2 yang dibutuhkan per tahun

$$= \text{Massa molekul} \times \text{Mol } H_2$$

$$= 2 \text{ kg/kmol} \times 99,2124 \text{ kmol/jam}$$

$$= 198,4248 \text{ kg/jam}$$

$$= 1.738,2012 \text{ ton/tahun}$$

Ketersediaan bahan baku pembuatan furfuril alkohol disajikan pada Tabel 1.1

Tabel 1.1 Ketersediaan Bahan Baku Furfuril Alkohol

Bahan Baku	Produsen	Kapasitas (ton/tahun)	Sumber
Furfural	PT Sree Internasional, Indonesia	56.000	Chemtradeasia.co.id (akses Februari 2025)
	Agroquimica Rafard SA, Brazil	80.000	alibaba.com (akses Februari 2025)
Hidrogen	PT Samator, Indonesia	96.000	samatorgas.com (akses Februari 2025)
	PT Air Liquide, Indonesia	40.000	airliquide.com (akses Februari 2025)

Kedua bahan baku tersebut dapat dipenuhi dari dalam negeri dengan kapasitas yang dapat memenuhi kebutuhan bahan baku yang dibutuhkan untuk mendirikan pabrik furfuril alkohol dengan kapasitas produksi 23.000 ton/tahun sehingga keberlangsungan bahan baku tersebut dapat terpenuhi.

1.4 Analisis Pasar

Analisa pasar merupakan langkah untuk mengetahui seberapa besar minat pasar terhadap suatu produk. Adapun analisa pasar furfuril alkohol berdasarkan data impor produk tersebut.

1.4.1 Kebutuhan Produk di Indonesia

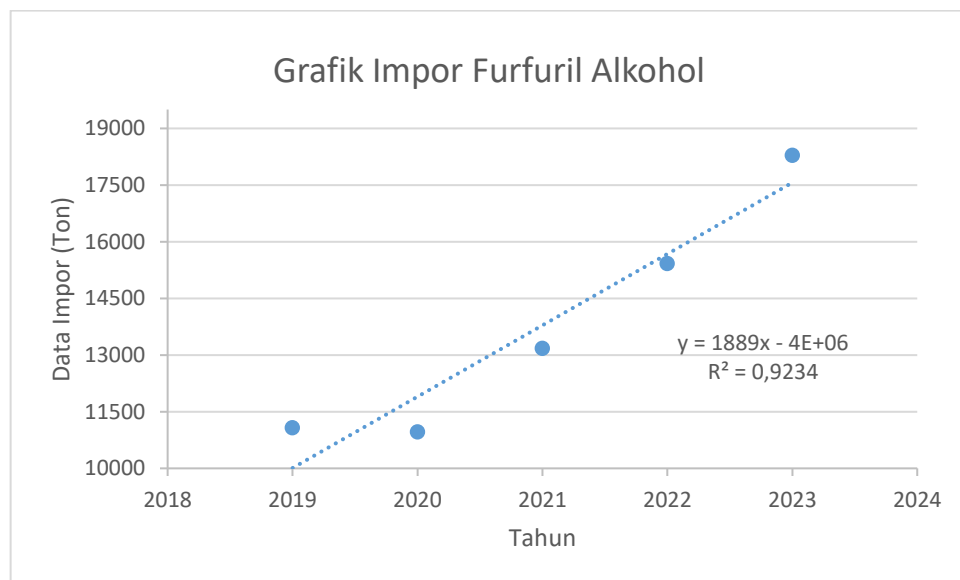
Untuk melihat kebutuhan produk di Indonesia, dapat dilihat dari data impor furfuril alkohol di Indonesia. Berdasarkan data statistik, kebutuhan furfuril alkohol di Indonesia mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan belum terdapatnya pabrik yang memproduksi furfuril alkohol di Indonesia. Data impor furfuril alkohol di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.2 berikut.

Tabel 1.2 Data Impor Furfuril Alkohol di Indonesia

Tahun	Data Import (Ton/tahun)
2019	11074
2020	10967
2021	13178
2022	15425
2023	18290

(Sumber: BPS, 2024)

Berdasarkan data pada Tabel 1.2 maka dapat dibuat *regresi linier* yang menyatakan hubungan antara tahun dengan jumlah impor furfuril alkohol di Indonesia pada tahun 2019 – 2023.

**Gambar 1.1** Grafik Data Impor Furfuril Alkohol di Indonesia

Berdasarkan grafik diatas, didapatkan persamaan garis lurus:

$$y = 1889(x) - 3803882$$

$$y = 1889(2030) - 3803882$$

$$y = 30.788 \text{ ton}$$

Dari persamaan tersebut, maka dapat diketahui kebutuhan impor furfuril alkohol di Indonesia pada tahun 2030 adalah 30.788 ton/tahun.

1.4.2 Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas pabrik butil akrilat didasarkan pada kebutuhan produk di dalam negeri pada tahun 2030 dan kapasitas pabrik furfuril alkohol yang telah berdiri di berbagai negara seperti, China, dan Thailand. Konsumen utama furfuril alkohol didalam negeri selama ini adalah industri tekstil, industri cat dan tinta, industri pengecoran logam juga industri perekat. Berikut beberapa pabrik furfuril alkohol yang ada di dunia:

Tabel 1.3 Daftar Perusahaan Penghasil Furfuril Alkohol di Dunia

Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
Hongye Chemical Co., Ltd	China	80.000
Transfurans chemical	Belgium	40.000
Hebei Furan International Co., Ltd	China	20.000
Indorama Chemical Co., Ltd.	Thailand	17.945
Henan Harvest International Co., Ltd.	China	15.000

(Sumber: www.icis.com, 2025)

Dari hasil perhitungan didapatkan kebutuhan furfuril alkohol di dalam negeri pada tahun 2030 adalah 30.788 ton/tahun, serta melihat dari kapasitas pabrik yang sudah berdiri di luar negeri dapat dilihat pada Tabel 1.3. Pabrik furfuril alkohol direncanakan akan didirikan pada tahun 2030 bertujuan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, sehingga dapat menekan jumlah impor. Akan tetapi, berdasarkan UU

No. 5 Tahun 1999 Pasal 25 tentang larangan praktik monopoli dan persaingan usaha tidak sehat menyatakan bahwa pelaku usaha hanya diperbolehkan menguasai 75% pangsa pasar satu jenis barang atau jasa tertentu. Maka dari itu, kapasitas produksi akan diambil 75% dari proyeksi kebutuhan pada tahun 2030 yaitu sebesar 23.000 ton/tahun.

1.4.3 Harga Bahan Baku dan Produk

Harga bahan baku dan produk pada pabrik furfuril alkohol adalah seperti berikut:

Tabel 1.4 Harga Bahan Baku dan Produk

Bahan Baku dan Produk	Harga (\$/ton)
$C_5H_4O_2$	1.500
H_2	2.200
$C_5H_6O_2$	3.000

Sumber: Alibaba

1.5 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan salah satu faktor terpenting dari keberhasilan membangun suatu pabrik. Penentuan lokasi pabrik yang tepat akan menghasilkan biaya produksi dan distribusi yang minimal sehingga pabrik tersebut dapat berjalan efisien, ekonomis dan juga menguntungkan.

Pada penentuan lokasi pabrik harus diusahakan agar biaya transportasi serta upah pekerja memiliki nilai sekecil mungkin. Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan lokasi pendirian pabrik antara lain:

1. Penyediaan bahan baku

Salah satu hal yang harus dipertimbangkan dalam penempatan lokasi pabrik yaitu letak sumber bahan baku yang tujuannya untuk memudahkan mendapatkan bahan baku menuju lokasi pabrik dan memperkecil biaya peralatan transportasi. Bahan baku pabrik furfuril alkohol ini adalah furfural dan

hidrogen. Furfural diperoleh dari PT Sree International Indonesia merupakan supplier furfural terbesar dengan kapasitas 56.000 ton/tahun, berlokasi di Jakarta. Bahan baku hidrogen dapat diperoleh dari PT. Air Liquide Indonesia dan PT. Samator. PT. Air Liquide Indonesia yang memproduksi gas hidrogen berlokasi di Cilegon, Banten, sedangkan PT. Samator yang memproduksi gas hidrogen berlokasi di Gresik, Jawa Timur. Oleh karena itu, untuk penyediaan bahan baku hidrogen dipilih dari PT. Air Liquide Indonesia yang berlokasi di Cilegon, dengan alasan lebih dekat dengan bahan baku furfural dan transportasi lainnya (dialirkan secara *piping*). Sehingga dapat disimpulkan dalam faktor penyediaan bahan baku, lokasi pabrik dapat didirikan di Cilegon, Banten karena daerah tersebut dekat dengan bahan baku.

2. Pemasaran

Untuk memudahkan pemasaran produk, lokasi pabrik harus dekat dengan daerah pemasaran atau dekat dengan konsumen. Lokasi pabrik yang dekat pelabuhan tentunya mempermudah proses distribusi produk dalam skala besar, menengah maupun kecil. Pemilihan lokasi ini juga didasarkan pada konsumen furfuril alkohol yang sebagian besar pabriknya berada di daerah Jawa, Sumatera, dan Kalimantan.

3. Sarana transportasi

Pemilihan lokasi diharuskan sedekat mungkin letaknya dengan ke areal areal industri yang tidak jauh dari pelabuhan sehingga akan mempermudah dalam penanganan memasok bahan baku serta mempermudah dalam jangkauan pemasaran produk. Daerah Cilegon memiliki jalur transportasi yang menghubungkan kota-kota besar disekitarnya, baik jalur laut seperti pelabuhan atau darat seperti jalan tol.

4. Penyediaan tenaga kerja

Penyediaan tenaga kerja yang berkualitas (terampil dan terdidik) untuk pengoperasian alat-alat industri harus dipertimbangkan. Untuk tenaga kerja yang berkualitas dipenuhi dari alumni perguruan tinggi seluruh Indonesia dan luar negeri bila diperlukan, sedangkan yang kurang terdidik dapat dipenuhi dari

penduduk daerah sekitar serta transmigran sehingga dapat mengurangi pengangguran.

5. Penyediaan utilitas

Dalam menjalankan suatu proses dalam pabrik, dibutuhkan air yang jumlahnya cukup besar. Air tersebut digunakan untuk air pendingin, air proses serta untuk kebutuhan sehari-hari bagi karyawan dan masyarakat sekitar pabrik. Kawasan Cilegon – Banten mempunyai sumber air yang dapat digunakan untuk keperluan air pabrik, yaitu DAS Cidanau.

6. Kebijakan pemerintah dan kondisi alam

Dalam membangun pabrik diperlukan koordinasi dan persetujuan pembangunan dari pemerintah maka dari itu diperlukan lokasi dengan pemerintahan yang mendukung jalannya pembangunan pabrik. Kondisi alam juga menjadi faktor penting dalam mempertimbangkan lokasi pabrik. Struktur tanah yang stabil membuat daerah tersebut minim bencana alam sehingga pabrik bisa didirikan.

Berdasarkan faktor - faktor diatas, lokasi pendirian pabrik furfuril alkohol adalah di Cilegon – Banten, yang memiliki banyak pertimbangan dan potensi untuk didirikannya pabrik. Diharapkan dengan berdirinya pabrik furfuril alkohol di Banten mampu memenuhi kebutuhan di Indonesia, sehingga dapat membantu industri-industri yang menggunakan furfuril alkohol sebagai bahan baku.

BAB II

DESKRIPSI PROSES

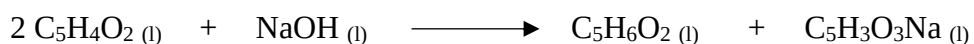
2.1 Macam-macam Proses

Pada pabrik kimia terdapat berbagai jenis proses untuk mengubah bahan baku yang diinginkan. Untuk menentukan pemilihan proses dapat dilihat dari keuntungan yang bisa didapatkan dari segi ekonomi maupun teknik. Ada dua macam reaksi untuk membentuk furfuril alkohol, yaitu reaksi cannizaro dan reaksi hidrogenasi. Berikut masing-masing uraian proses.

1. Reaksi Cannizaro (Disproporsionasi aldehida dengan NaOH)

Reaksi cannizaro merupakan reaksi kimia yang melibatkan disproporsionasi aldehida yang di oksidasi-reduksi menggunakan basa menjadi alkohol dan garam. Dalam hal pembuatan furfuril alkohol, furfural ($C_5H_4O_2$) di reduksi menggunakan natrium hidroksida (NaOH) menghasilkan furfural alkohol ($C_5H_6O_2$) dan asam furat ($C_5H_3O_3Na$).

Berikut reaksinya:



Proses ini berlangsung pada fasa cair dengan temperatur 70°C dan tekanan 10 atm, dengan *yields* maksimal 70%, konversi sebesar 80%, dan menghasilkan produk samping berupa asam furat yang sulit untuk dimurnikan. (Ullmann's, 2005).

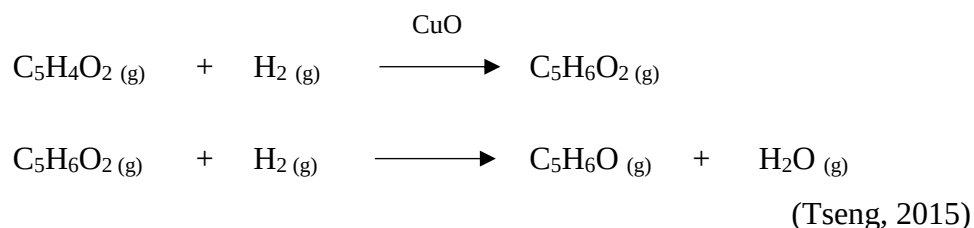
2. Reaksi Hidrogenasi

Reaksi hidrogenasi merupakan reaksi reduksi furfural menggunakan hydrogen (hidrogenasi), reaksi ini dilakukan pada fasa uap, dimana furfural cair

(*feedstock*) diuapkan terlebih dahulu sebelum masuk reaktor kemudian direaksikan dengan gas hidrogen menggunakan. (Ullman 7 edition).

Reaksi berlangsung pada tekanan 2 atm dan temperatur 170°C dengan konversi sebesar 99%. Proses ini biasanya menggunakan katalis *Copper chromite*. Furfural diumpankan ke dalam reaktor *tubular fixed bed reactor* yang didalamnya terdapat katalis berbentuk pellet di dalam pipa-pipa tubular reaktor. Sebelum masuk reaktor furfural diuapkan oleh *vaporizer* dan bersamaan dengan gas hidrogen diumpankan ke dalam reaktor.

Berikut reaksi yang terjadi:



2.2 Tinjauan Ekonomi

Tabel 2.1 Daftar Berat Molekul dan Harga Bahan

Bahan	BM (Kg/Kmol)	Harga (\$/kg)
C ₅ H ₄ O ₂	96	1,5
H ₂	2	2,2
NaOH	40	1,5
C ₅ H ₆ O ₂	98	3
C ₅ H ₃ O ₃ Na	134	2,3

(Sumber: ICIS.com)

1. Reaksi Cannizaro

➤ Diketahui :

- Kapasitas produk = 23.000 Ton/Tahun
= 2.904,0404 kg/jam
- Konversi = 80%

- Basis = 1 jam

Reaksi:

	$2 \text{ C}_5\text{H}_4\text{O}_2 \text{ (l)}$	+	NaOH (l)	$\longrightarrow$	$\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2 \text{ (l)}$	+	$\text{C}_5\text{H}_3\text{O}_3\text{Na}$
m	74,8630		59,8904				
b	59,8904		29,9452		29,9452		29,9452
s	14,9726		29,9452		29,9452		29,9452

- Produk yang terbentuk:

$$\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2 = 29,9452 \text{ kmol/jam} \times 98 \text{ kg/kmol} = 2.944,630 \text{ kg/jam}$$

$$\text{C}_5\text{H}_3\text{O}_3\text{Na} = 29,9452 \text{ kmol/jam} \times 134 \text{ kg/kmol} = 4.012,657 \text{ kg/jam}$$

➤ Mencari jumlah massa reaktan umpan adalah sebagai berikut:

- $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 = \frac{29,9452 \text{ kmol}}{0,80}$
 $= 74,8630 \text{ kmol}$
- $\text{NaOH} = 1 \times 29,9452 \text{ kmol}$
 $= 74,8630 \text{ kmol}$
- Massa $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 = 74,8630 \text{ kmol} \times 96 \text{ kg/kmol}$
 $= 7.186,8480 \text{ kg}$
- Massa $\text{NaOH} = 74,8630 \text{ kmol} \times 40 \text{ kg/kmol}$
 $= 2.994,5200 \text{ kg}$

➤ Harga Penjualan Produk

- $\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2 = 2.944,630 \text{ kg} \times \$3/\text{kg}$
 $= \$8.833,890/\text{kg}$
- $\text{C}_5\text{H}_3\text{O}_3\text{Na} = 4.012,657 \times \$2,3/\text{kg}$
 $= \$9.229,1111/\text{kg}$

➤ Harga Bahan Baku

- $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 = 7.186,8480 \text{ kg} \times \$1,5/\text{kg}$
 $= \$10.780,272/\text{kg}$

- NaOH = $2.994,5200 \times \$1,5/\text{kg}$
= $\$4.611,5608/\text{kg}$
- Total = $\$15.391,8328$

➤ Keuntungan = Harga Produk – Harga Bahan Baku
= $\$18.063,0011 - \$15.391,8328$
= $\$2.671,1683/\text{kg}$

2. Reaksi Hidrogenasi

➤ Diketahui:

- Kapasitas produk = 23.000 Ton/Tahun
= $2.904,0404 \text{ kg/jam}$
- Konversi = 98%
- Basis = 1 jam

Reaksi:

	$\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2$	+	H_2	————→	$\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2$	
m	30,2477		99,2124		-	
b	29,9452		29,9452		29,9452	-
s	0,3025		69,2672		29,9452	

- Produk yang terbentuk :

$$\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2 = 29,9452 \text{ kmol} \times 98 \text{ kg/kmol} = 2.934,6296 \text{ kg}$$

➤ Mencari jumlah massa reaktan umpan adalah sebagai berikut:

- $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 = \frac{29,9452 \text{ kmol}}{0,99}$
= $30,2477 \text{ kmol}$
- $\text{H}_2 = 3,28 \times 30,2477 \text{ kmol}$
= $99,2124 \text{ kmol}$
- Massa $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 = 30,2477 \text{ kmol} \times 96 \text{ kg/kmol}$

$$= 2.903,7770 \text{ kg}$$

- Massa H_2 $= 99,2124 \text{ kmol} \times 2 \text{ kg/kmol}$
 $= 198,4248 \text{ kg}$

➤ Harga Penjualan Produk

- $\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2$ $= 2.934,6296 \text{ kg} \times \$3/\text{kg}$
 $= \$8.803,8888/\text{kg}$

➤ Harga Bahan Baku

- $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2$ $= 2.903,7770 \text{ kg} \times \$1,5/\text{kg}$
 $= \$4.355,6655/\text{kg}$
- H_2 $= 198,4248 \text{ kg} \times \$2,2/\text{kg}$
 $= \$436,5346/\text{kg}$
- Total $= \$4.792,2001$

➤ Keuntungan $= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku}$
 $= \$8.803,8888 - \$4.792,2001$
 $= \$4.011,6887/\text{kg}$

2.3. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika bertujuan untuk menentukan sifat reaksi dan arah reaksi. Panas pembentukan (kondisi reaksi) (ΔH°) merupakan besarnya panas reaksi yang mampu dihasilkan atau dibutuhkan untuk berlangsungnya suatu reaksi kimia. Jika ΔH° bernilai positif (+), menunjukkan bahwa sistem membutuhkan panas untuk melangsungkan suatu reaksi kimia (*endoterm*). Sedangkan jika ΔH° bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa sistem melepas atau menghasilkan panas pada saat berlangsungnya reaksi (*eksoterm*) (*Chapter 4, Smith ed 8th*).

Sedangkan energi bebas gibbs (ΔG°) menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia. ΔG° bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga dibutuhkan energi tambahan dari

luar. Sedangkan ΔG° bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan dan hanya sedikit membutuhkan energi. Oleh karena itu, semakin kecil atau negatif ΔG° maka reaksi tersebut akan semakin baik karena reaksi berlangsung spontan dan energi yang dibutuhkan semakin kecil, begitupun sebaliknya (*Chapter 14, Smith ed 8th*).

Hal ini dilakukan berdasarkan pada perhitungan nilai ΔG° dan ΔH° . Perhitungan ΔG° reaksi dilakukan dengan menggunakan data pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Nilai ΔH° dan ΔG° Bahan Baku dan Produk

Komponen	ΔH° (kJ/mol)	ΔG° (kJ/mol)
$C_5H_4O_2$ (l)	-201,6	-102,87
NaOH (l)	-425,8	-419,2
$C_5H_6O_2$ (l)	-276,2	-154
$C_5H_3O_3Na$ (l)	-365,8	-275,8
H_2 (g)	0	0
$C_5H_6O_2$ (g)	-211,8	-154
$C_5H_4O_2$ (g)	-151	-102,87

(Sumber: *Chemical Properties Handbook*, Yaws)

1. Reaksi Cannizaro



Menghitung nilai ΔH° dan ΔG° masing-masing komponen pada suhu 298 K dengan menggunakan data pada Tabel 2.2.

Menghitung nilai ΔH :

$$\begin{aligned}
 \Delta H^\circ_{f298K} &= \Delta H^\circ_{f \text{ produk}} - \Delta H^\circ_{f \text{ reaktan}} && (\text{Chapter 4, Smith ed 8}^{th}) \\
 \Delta H^\circ_{f \text{ produk}} &= \Delta H^\circ_{f C_5H_6O_2} + \Delta H^\circ_{f C_5H_3O_3Na} \\
 &= [(-276,2 \text{ kJ/mol}) + (-365,8 \text{ kJ/mol})] \\
 &= -642 \text{ kJ/kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} &= [(2 \times \Delta H^\circ_f \text{ C}_5\text{H}_4\text{O}_2) + (\Delta H^\circ_f \text{ NaOH})] \\
 &= [(-403,2 \text{ kJ/mol}) + (-425,8 \text{ kJ/mol})] \\
 &= -829 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H^\circ_{f298 \text{ K}} &= \Delta H^\circ_{f\text{produk}} - \Delta H^\circ_{f\text{reaktan}} \\
 &= [(-642 \text{ kJ/mol}) - (-829 \text{ kJ/mol})] \\
 &= +187 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Menghitung nilai ΔG :

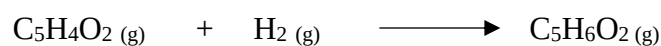
$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ_{f298\text{K}} &= \Delta G^\circ_{f\text{produk}} - \Delta G^\circ_{f\text{reaktan}} \quad (\text{Chapter 14, Smith ed } 8^{\text{th}}) \\
 \Delta G^\circ_{f\text{produk}} &= \Delta G^\circ_f \text{ C}_5\text{H}_6\text{O}_2 + \Delta G^\circ_f \text{ C}_5\text{H}_3\text{O}_3\text{Na} \\
 &= [(-206,5 \text{ kJ/mol}) + (-275,8 \text{ kJ/mol})] \\
 &= -482,3 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ_f \text{ reaktan} &= [(2 \times \Delta G^\circ_f \text{ C}_5\text{H}_4\text{O}_2) + (\Delta G^\circ_f \text{ NaOH})] \\
 &= [(2 \times (-134,14 \text{ kJ/mol})) + (-419,2 \text{ kJ/mol})] \\
 &= -551,34 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ_{f298 \text{ K}} &= \Delta G^\circ_{f\text{produk}} - \Delta G^\circ_{f\text{reaktan}} \\
 &= [(-482,3 \text{ kJ/mol}) - (-551,34 \text{ kJ/mol})] \\
 &= +195,14 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, diperoleh nilai ΔH dan ΔG positif (+). $\Delta H^\circ_{f298\text{K}}$ bernilai positif menandakan bahwa reaksi bersifat endotermis. Dan $\Delta G^\circ_{f298\text{K}}$ bernilai positif (>0) menandakan bahwa reaksi tidak dapat berlangsung secara spontan dan membutuhkan energi yang terlalu besar (*Chapter 4, Smith ed 8th*).

2. Reaksi Hidrogenasi



Menghitung nilai ΔH° dan ΔG° masing-masing komponen pada suhu 298 K dengan menggunakan data pada Tabel 2.2.

Menghitung nilai ΔH :

$$\Delta H^\circ_{f,298K} = \Delta H^\circ_{f, \text{produk}} - \Delta H^\circ_{f, \text{reaktan}} \quad (\text{Chapter 4, Smith ed } 8^{\text{th}})$$

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{f, \text{produk}} &= \Delta H^\circ_{f, \text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2} \\ &= -211,8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{f, \text{reaktan}} &= [(\Delta H^\circ_{f, \text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2) + (\Delta H^\circ_{f, \text{H}_2})] \\ &= [(-151 \text{ kJ/mol}) + (0 \text{ kJ/mol})] \\ &= -151 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{f,298K} &= \Delta H^\circ_{f, \text{produk}} - \Delta H^\circ_{f, \text{reaktan}} \\ &= [(-211,8 \text{ kJ/mol}) - (-151 \text{ kJ/mol})] \\ &= -60,8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Menghitung nilai ΔG :

$$\Delta G^\circ_{f,298K} = \Delta G^\circ_{f, \text{produk}} - \Delta G^\circ_{f, \text{reaktan}} \quad (\text{Chapter 14, Smith ed } 8^{\text{th}})$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{f, \text{produk}} &= \Delta G^\circ_{f, \text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2} \\ &= -154 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{f, \text{reaktan}} &= [(\Delta G^\circ_{f, \text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2) + (\Delta G^\circ_{f, \text{H}_2})] \\ &= [(-102,87 \text{ kJ/mol}) + (0 \text{ kJ/mol})] \\ &= -102,87 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{f,298K} &= \Delta G^\circ_{f, \text{produk}} - \Delta G^\circ_{f, \text{reaktan}} \\ &= [(-154 \text{ kJ/mol}) - (-102,87 \text{ kJ/mol})] \\ &= -51,13 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, diperoleh nilai ΔH dan ΔG negatif (-). $\Delta H^\circ_{f,298K}$ bernilai negatif menandakan bahwa reaksi bersifat eksotermis. Dan

ΔG°_{f298K} bernilai negatif (<0) menandakan bahwa reaksi dapat berlangsung secara spontan dan tidak membutuhkan energi yang terlalu besar (*Chapter 4, Smith ed 8th*).

2.4 Pemilihan Proses

Tabel 2.3 Perbandingan Proses Pembentukan Furfuril Alkohol

Parameter	Cannizaro	Hidrogenasi
Fase	Cair – Cair	Gas – Gas
Suhu operasi (°C)	70°C	170°C
Tekanan (atm)	10	1
Konversi (%)	80	98
Reaktor	CSTR	Fixed bed multitube
Katalis	-	<i>Copper</i>
Panas Reaksi (ΔH)	+187	-60,8
Energi Gibbs (ΔG)	+54	-51,13
Produk Samping	Asam Furat	Methyl Furan
Keuntungan (Rp/ton produk)	\$2.671,1683/kg	\$4.011,6887/kg

Dengan membandingkan proses-proses yang telah diuraikan di atas, maka proses yang dipilih untuk produksi furfuril alkohol adalah proses hidrogenasi pada fasa uap. Proses ini dipilih karena pertimbangan memberikan kondisi operasi yang relatif aman dan kemurnian yang dihasilkan lebih baik dari metode yang lain.

2.5 Uraian Proses

Proses pembuatan furfuril alkohol melalui beberapa tahap sebagai berikut:

1. Tahap penyiapan bahan baku

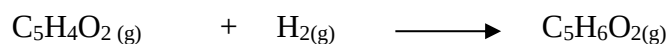
Bahan baku furfural cair diperoleh dari PT Sree International Indonesia dan langsung diangkut menuju pabrik menggunakan transportasi darat. Furfural yang di beli terdiri dari 95% furfural dan 5% air (persen massa) disimpan dalam

tangki penyimpanan bahan baku (ST-101) pada temperatur ruangan 30°C dan tekanan 1 atm. Dari tangki penyimpanan, furfural dialirkan oleh pompa (PP-101) menuju *vaporizer* (VP-101) dimana furfural cair akan diubah fasanya menjadi uap dengan temperatur 170°C dan tekanan atmosferik. Fasa uap langsung diumpankan ke dalam reaktor dan fasa cair (kondensat) diumpankan kembali ke *vaporizer* setelah dicampur dengan *fresh feed* untuk diuapkan kembali.

Gas hidrogen 99,9% dan 0,01% air di beli dari PT Air Liquide Indonesia melalui sistem *piping*, kemudian bercampur dengan hidrogen *recycle* dari *flash drum* (FD-301), tekanannya dinaikkan menjadi 2 atm menggunakan *compressor* (CP-101) dan dipanaskan menggunakan heater (HE-101) sampai temperature 170°C. Dari HE-101 bahan diumpankan ke dalam reaktor *fixed bed multitube* (RE-201) melalui bagian atas reaktor yang didalamnya telah terdapat katalis-katalis.

2. Tahap pembentukan produk

Di dalam reaktor terdapat *tube-tube* yang berisi tumpukan katalis *copper chromite*, kemudian umpan akan melewati katalis dan terjadi reaksi hidrogenasi furfural sebagai berikut:



Reaksi terjadi pada fase gas-gas dengan katalis *copper chromite* pada kisaran temperatur 170°C dan tekanan 2 atm. Karena reaksi bersifat eksotermis, untuk mempertahankan temperatur dalam reaktor maka diberi pendingin. Hasil keluaran reaktor berupa uap furfuril alkohol, uap furfural, gas hidrogen, uap metil furan, dan uap air.

Bahan yang keluar dari reaktor ini dialirkan menuju *partial condensor* (PC-301) untuk mengkondensasikan sebagian keluaran reaktor. Kemudian keluaran PC-301 ini akan dialirkan menuju *flash drum* untuk dipisahkan antara gas dan cairannya. Hasil keluaran atas *flash drum* berupa gas hidrogen akan di *recycle* ke reaktor, sedangkan hasil bawah berupa cairan akan dialirkan diumpankan ke dalam menara distilasi untuk dimurnikan.

3. Tahap pemurnian produk

Untuk mendapatkan kemurnian sesuai dengan yang diharapkan cairan dimurnikan dengan menggunakan distilasi. Aliran *bottom product* kaya akan furfuril alkohol dialirkan menuju tangki penampungan produk (ST-301) dalam wujud cair setelah didinginkan oleh *Cooler* (CO-301). Sedangkan *top product* sebagian diembunkan oleh *Condensor* (CD-301).

BAB III

SPEKIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

3.1 Bahan Baku

1.) Furfural

Rumus molekul	: $C_5H_4O_2$
Bentuk	: Cair
Berat molekul	: 96,08 gr/mol
Densitas (25 °C)	: 1.1598 gr/ml
Titik didih (1 atm)	: 161,7 °C
Titik beku	: - 36,5 °C
Kemurnian	: 95%

(Encyclopedia Of Industrial Chemistry, Ullmann's)

2.) Hidrogen

Rumus molekul	: H_2
Bentuk	: Gas
Berat molekul	: 2,01 gr/mol
Densitas	: 89,91 gr/ml
Titik didih	: - 252,87 °C
Kemurnian	: 99,9 % (0,01% air)

3.) Katalis Copper Oksida

Rumus molekul	: CuO
Bentuk	: Pellet
Berat molekul	: 311,08 g/mol
Densitas	: 1100 kg/m ³
Diameter	: 4 mm (0,004 m)
Specific surface	: 100 m ² /g

3.2 Produk

1.) Furfuril alkohol

Rumus molekul	: C ₅ H ₆ O ₂
Bentuk	: Cair
Berat molekul	: 98,1 gr/gmol
Densitas	: 1,1285 gr/ml
Titik Didih	: 170 °C
Viskositas	: 4,62 cP
Kemurnian	: 99,8 %

(Ullmann's, seven edition)

BAB X

SIMPULAN DAN SARAN

10.1. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Furfuril Alkohol dari Furfural dan Hidrogen kapasitas 23.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak adalah 35,21%.
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak adalah 1,98 tahun.
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 32,54% dimana syarat umum pabrik di Indonesia adalah 30 – 60% kapasitas produksi. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 25,1%, yakni batasan kapasitas produksi 20 – 30% sehingga pabrik masih dapat berproduksi karena mendapat keuntungan.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 39,35%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini dari pada ke bank.

10.2. Saran

Prarancangan Pabrik Furfuril Alkohol dari Furfural dan Hidrogen Kapasitas 23.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut lagi baik dari segi proses maupun ekonominya sebelum pabrik didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba. (2025). *Harga Bahan Baku dan Produk dari Furfuril Alkohol*.
www.alibaba.com
- Aries, R. S., & Newton, R. D. (1955). *Chemical Engineering Cost Estimation*.
McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Data Ekspor Impor Nasional*.
<https://www.bps.go.id/exim>
- Barnes, T. M. (2021). Vehicles for drug delivery and cosmetic moisturizers: review and comparison. *Pharmaceutics*.
- Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design: Vessel Design*.
John Wiley & Sons.
- Cheremisinoff, N. P. (2002). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*. Butterworth-Heinemann.
- Coulson, J. M., Richardson, J. F., & Sinnott, R. (2005). *Chemical Engineering: An Introduction to Chemical Engineering Design* (Vol. 6). Elsevier..
- Fogler, H. S. (2020). *Elements of Chemical Reaction Engineering* (6th ed.).
Pearson. <https://books.google.co.id/books?id=tdPjvQEACAAJ>
- Frayne, C. (1999). *Cooling Water Treatment: Principles and Practice*. Chemical
Publishing Company.
- Joshi, M. V. (1976). *Process Equipment Design*. Macmillan.
<https://books.google.co.id/books?id=vSUvtwAACAAJ>
- Kern, D. Q. (1983). *Process Heat Transfer*. In *Book Company, New York*. McGraw-Hill International Book Company.
- Kirk, R. E., Othmer, D. F., & Kroschwitz, J. I. (2004). *Encyclopedia of Chemical Technology* (Issue v. 1-26). J. Wiley.
<https://books.google.co.id/books?id=PxpowAEACAAJ>
- Ludwig, E. E. (1997). *Design for Chemical and Petrochemical Plant*. In *Applied Process Design for Chemical & Petrochemical Plants* (3rd ed., Vol. 3).
Houston Gulf Publishi.

- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1993). *Unit operations of chemical engineering* (Vol. 5). McGraw-hill New York.
- Padmawar, A. &. (2018). Glycol and glycerin: Pivotal role in herbal industry as solvent/co-solvent. *World J Pharm Med.*, 153-155.
- Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. McGraw-Hill.
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineering* (4th ed.). Mc. Graw-Hill Book Company.
- Powell, S. T. (1954). *Water Conditioning for Industry* (1st ed.). McGraw-Hill Book Company.
- Qasim, S. R. (1985). *Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation* (2nd ed.). CRC Press LCC.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbott, M. M., & Swihart, M. T. (1949). *Introduction to chemical engineering thermodynamics*. McGraw-Hill Singapore.
- Towler, G., & Sinnott, R. (2013). *Chemical Engineering Design Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design* (2nd ed.). Elsevier.
- Treybal, R. E. (1981). *Mass-Transfer Operations* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Tseng, Yu-Ti, dkk. (2015). *Design and Control of a Process to Produce Furfuryl Alcohol*. Elsevier.
- Ullmann, F., Elvers, B., Gerhartz, W., & Rounsaville, J. F. (1989). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. VCH.
<https://books.google.co.id/books?id=BcJTAAAAMAAJ>
- Ulrich, G. D. (1984). *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. Wiley New York.
- Vilbrandt, F. C., & Dryden, C. E. (1959). *Chemical Engineering Plant Design*. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.
- Walas, S. M. (1988). *Chemical process equipment: selection and design*. (No Title).
- Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. McGraw-Hill Education.