

**PRARANCANGAN PABRIK FURFURIL ALKOHOL DARI FURFURAL
DAN HIDROGEN KAPASITAS 23.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Menara Distilasi (MD-301))**

(Skripsi)

Oleh:

Darni An Nisa

1915041019



**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 Menara Distilasi - 301 (MD-301)

Oleh

DARNI AN NISA

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 Distillation Column - 301 (MD-301)

By

DARNI AN NISA

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>	(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%

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 Menara Distilasi (MD-301))

Oleh

Darni An Nisa

1915041019

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 FURFURIL ALKOHOL DARI
FURFURAL DAN HIDROGEN DENGAN KAPASITAS 23.000
TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Menara Distilasi (MD-301))

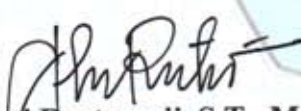
Nama Mahasiswa : **Darni An Nisa**

No. Pokok Mahasiswa : 1915041019

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik




Dr. Hery Rustamaji, S.T., M.Eng.
NIP. 198011212006041002


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.



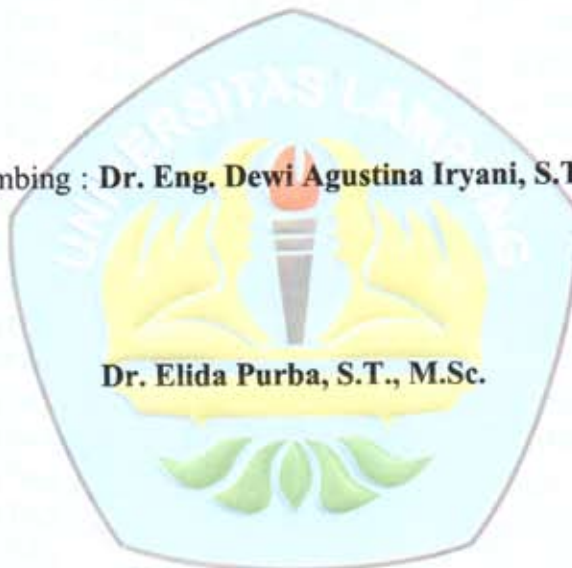
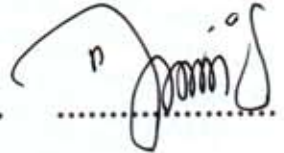
Sekretaris

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



Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T.



Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc.



Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



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

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 9 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



Darni An Nisa

NPM 1915041019

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tanjung Karang pada tanggal 06 Juni 2001 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, pasangan Bapak Yarman dan Ibu Darmawati.

Penulis telah menyelesaikan pendidikan sebelumnya di Sekolah Dasar Islam Terpadu (SDIT) El-Syarief tahun 2013, Madrasah Tsanawiyah Negeri (MTsN) 4 Tangerang pada tahun 2016, dan Madrasah Aliyah Negeri (MAN) 2 Tangerang 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 Tanjung Enim Lestari (PT TEL) *Pulp and Paper* dengan tugas khusus “Menghitung Efisiensi *Thermal Lime Kiln* pada *Lime Kiln Plant*” serta menjalankan penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Fraksi Massa dan Orientasi Serat pada Serat Pelepah Pisang dan Serat Daun Nanas sebagai Material *Toe Cap* Sepatu *Safety*” di Laboratorium Rekayasa Polimer, Serat, dan Resin, Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi antara lain sebagai Staff Departemen Media Informasi Himatemia FT Unila Periode 2020, Sekretaris Departemen Media Informasi Himatemia FT Unila Periode 2021, serta staff Bidang Publikasi dan Komunikasi BKKMTKI Daerah I Periode 2022.

MOTTO

“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah:5)

“Terlambat Bukan Berarti Gagal, Cepat Bukan Berarti Hebat. Terlambat bukan menjadi alasan untuk menyerah, setiap orang memiliki proses yang berbeda. *PERCAYA PROSES* itu yang paling penting. Karena Allah telah mempersiapkan Hal Baik di balik kata Proses yang kamu anggap Rumit.”

(Edwar Satria)

“What ever you are, Be the good one!”

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 Yarman dan Ibu Darmawati 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. Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T. 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 Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc. 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 Mohamad Alghifari dan Adikku Muhammad Aji Imanni Sidiq 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. Dwi Tarisa Mastur sebagai partner tugas akhir atas bantuan, dukungan, dan kerjasamanya, dalam penyusunan tugas akhir.
11. Navira, Dhini, Yasmine, dan Ainy, atas segala doa, dukungan, menerima keluhan 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 Darni An Nisa yang sudah berjuang dan berusaha sekuat tenaga, dan menuntaskan tanggungjawabnya untuk menyelesaikan setiap apapun yang telah dimulai. Pelan bukan berarti gagal, *keep growing and reaching your dreams*.

Semoga Tugas akhir ini berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 27 Januari 2026
Penulis

Darni An Nisa

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

Di Indonesia, furfural alcohol menjadi salah satu komoditas kimia yang memegang peranan penting dalam berbagai sektor industri. Furfuril alkohol dengan rumus kimia $C_5H_6O_2$ digunakan secara luas pada bidang industri kimia sebagai bahan baku resin anti korosi, senyawa organik ini merupakan turunan furfural, memiliki sifat fisik yang tidak berwarna, dapat larut dalam air, alkohol, eter, aseton, etil asetat dan solven organik lainnya kecuali paraffin, mempunyai bau yang khas, dan mudah menguap. Di pasaran, furfuril alkohol biasa dijual dalam fasa cair dengan konsentrasi sebesar 95 - 98% (Ullman 7 edition).

Negara Indonesia saat ini masih mengimpor furfuril alkohol dari berbagai negara, diantaranya negara China, Korea, dan Thailand (BPS, 2023). Sejalan dengan pertumbuhan industry kimia yang massif, angka konsumsi furfuril alkohol diprediksi akan terus mengalami kenaikan setiap tahunnya. Oleh karena itu, pendirian pabrik ini sangat potensial didirikan di Indonesia mengingat ketiadaan produksi lokal hingga saat ini memaksa industri domestik untuk sepenuhnya bergantung pada pasokan luar negeri. Pendirian pabrik ini merupakan langkah strategis untuk mengurangi ketergantungan terhadap pasar global, sehingga dapat meningkatkan pendapatan negara dari sektor industri dan diharapkan dapat meningkatkan devisa negara.

Menurut Witono (2005), terdapat dua jalur reaksi untuk memproduksi furfuril alkohol dari furfural. Melalui mekanisme reduksi dengan bantuan NaOH yang dikenal sebagai reaksi Cannizaro, serta melalui proses reduksi dengan gas hidrogen. Kedua proses reaksi ini menghasilkan produk samping, reaksi furfural dengan NaOH menghasilkan furfuril alkohol dan produk samping berupa natrium furoat atau asam furoat, sedangkan pada proses hidrogenasi furfural menghasilkan produk samping berupa metil furan. Namun, pada proses reaksi reduksi furfural

dan NaOH menghasilkan *yield* yang jauh lebih kecil dari proses hidrogenasi furfural (Kirk & Othmer, 1998).

1.2 Kegunaan Produk

Furfuril alkohol merupakan senyawa organik yang banyak digunakan sebagai binder atau bahan perekat dalam industri pengecoran logam, industri serat sintesis, industri kayu, dan industri resin disebabkan oleh karakteristik viskositasnya yang rendah serta reaktifitasnya yang tinggi. Selain itu, furfuril alkohol juga dimanfaatkan sebagai bahan baku utama dalam berbagai produk turunan furfuril alkohol seperti tetrahidrofurfuril alkohol (Witono, 2005).

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Pabrik furfuril alkohol menggunakan bahan baku utama berupa furfural ($C_5H_4O_2$) dan hidrogen (H_2). Kapasitas pabrik yang dirancang adalah sebesar 23.000 ton/tahun, maka dapat diketahui banyaknya furfural dan hidrogen sebagai bahan pokok yang dibutuhkan adalah sebesar:

- $C_5H_4O_2$ yang dibutuhkan per tahun
 - = Massa molekul $\times$ 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
 - = Massa molekul $\times$ 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 Pembuatan 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)

Dari tabel 1.1 dapat disimpulkan bahwa bahan baku produksi pembuatan furfuril alkohol dapat dipenuhi dari dalam negeri dengan kapasitas yang dapat memenuhi kebutuhan bahan baku yang dibutuhkan untuk mendirikan pabrik, sehingga keberlangsungan bahan baku tersebut dapat terpenuhi.

1.4 Analisis Pasar

Analisa pasar dilakukan sebagai upaya untuk memetakan potensi penyerapan pasar serta mengukur sejauh mana tingkat permintaan terhadap produk yang dipasarkan. Adapun analisa pasar furfuril alkohol berdasarkan data impor produk tersebut.

1.4.1 Kebutuhan Produk di Indonesia

Kebutuhan akan produksi ini dapat diidentifikasi melalui tinjauan terhadap volume impor furfuril alkohol di Indonesia. Berdasarkan angka statistik yang tersedia, kebutuhan furfuril alkohol di Indonesia mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan belum terdapatnya pabrik yang memproduksi furfuril alkohol di

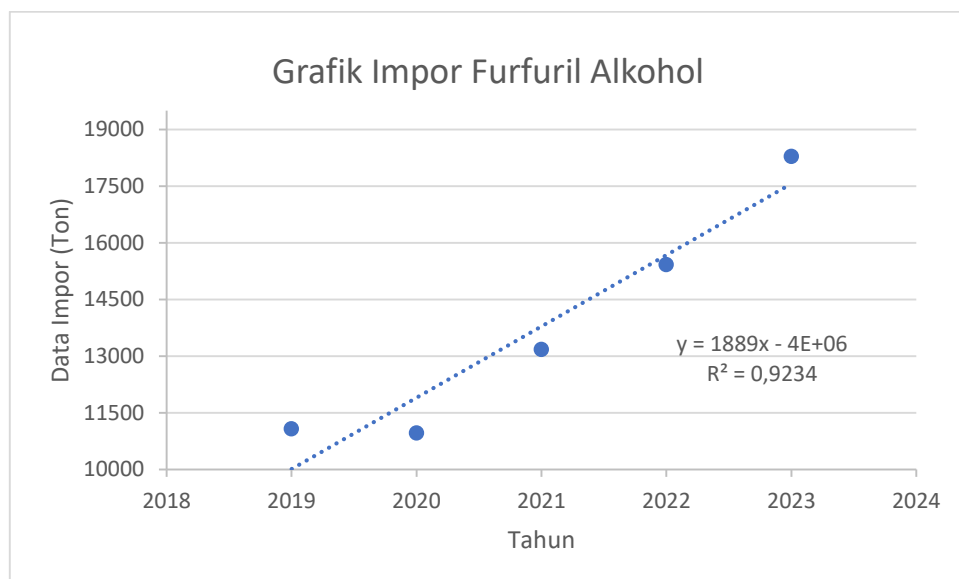
Indonesia. Data impor furfuril alkohol di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.2 berikut.

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 Tabel 1.2. dapat disimpulkan bahwa Indonesia membutuhkan furfuril alkohol dalam jumlah yang cukup banyak. Dari data di atas, maka dapat dibuat grafik *regresi linier* yang menyatakan hubungan antara jumlah impor dengan tahun furfuril alkohol di Indonesia pada tahun 2019 – 2023.



Grafik 1.1. Data Impor Furfuril Alkohol di Indonesia

Berdasarkan grafik diatas, didapatkan persamaan garis lurus:

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

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

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

Apabila diproyeksikan pada tahun 2030 diperkirakan kebutuhan furfuril alkohol di Indonesia sekitar 30.788 ton/tahun.

1.4.2 Kapasitas Produksi

Besaran kapasitas produksi pabrik furfuril alkohol ini ditetapkan dengan mempertimbangkan total pada kebutuhan produk di dalam negeri pada tahun 2030 dan kapasitas pabrik furfuril alkohol yang telah beroperasi di sejumlah negara, di antaranya adalah China dan Thailand. Permintaan furfuril alkohol di Indonesia secara dominan berasal dari industri pengecoran logam juga industri perekat. Beberapa pabrik yang memproduksi furfuril alkohol di berbagai negara, antara lain:

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 furfural 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 mengatur batasan penguasaan pasar oleh pelaku usaha sebesar 75% pangsa pasar pada komoditas atau layanan tertentu. Dengan hal tersebut, kapasitas produksi akan diambil 75% dari proyeksi kebutuhan pada tahun 2030 yaitu sebesar 23.000 ton/tahun.

1.5 Lokasi Pabrik

Keberhasilan pembangunan pabrik sangat ditentukan oleh pemilihan lokasi guna meminimalkan biaya produksi dan jalur distribusi. Lokasi yang ideal harus menjamin rendahnya biaya transportasi serta efisien upah tenaga kerja demi keberlangsungan industri yang menguntungkan. Terdapat beberapa faktor utama yang mendasari pemilihan lokasi pabrik, yaitu:

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 furfural 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, air dibutuhkan dalam jumlah yang cukup besar. Air tersebut digunakan sebagai air proses, air pendingin, serta air untuk kebutuhan sehari-hari yang diperuntukan untuk karyawan dan

masyarakat sekitar pabrik. Air yang digunakan merupakan air yang berasal dari DAS Cidanau yang berada di kawasan Cilegon – Banten.

6. Kondisi alam dan kebijakan pemerintah

Dalam membangun pabrik diperlukan kondisi alam yang aman. Struktur tanah yang stabil membuat daerah tersebut minim bencana alam sehingga pabrik bisa berdiri. Selain itu, aspek legalitas dan dukungan dari pemerintah daerah merupakan faktor krusial dalam menentukan lokasi industri. Oleh karena itu, diperlukan koordinasi intensif guna memastikan pendirian pabrik dilakukan di wilayah yang memiliki kebijakan yang mendukung keberlangsungan pembangunan.

Atas dasar pertimbangan tersebut, lokasi pendirian pabrik furfuril alkohol adalah di Cilegon – Banten, yang memiliki banyak pertimbangan dan potensi untuk didirikannya pabrik. Berdirinya pabrik furfuril alkohol di Banten ini diharapkan dapat mengakomodasi permintaan di Indonesia, sehingga memberikan dukungan bagi efisiensi operasional sektor industri yang memanfaatkan furfuril alkohol sebagai bahan baku.

BAB II

DESKRIPSI PROSES

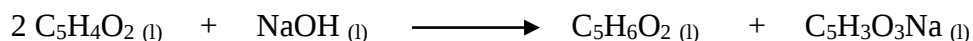
2.1 Macam-macam Proses

Dalam perancangan pabrik furfural alkohol, terdapat dua metode utama yang dapat digunakan untuk mentransformasi bahan baku menjadi produk akhir. Kedua jalur sintesis tersebut adalah reaksi Cannizzaro dan reaksi hidrogenasi. Penjelasan mengenai masing-masing proses tersebut adalah sebagai berikut.

1. Reaksi Cannizzaro (Disproporsionasi aldehida dengan NaOH)

Dalam reaksi ini pembuatan furfural alkohol dilakukan dengan cara, 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 terjadi pada temperatur 70°C, tekanan 10 atm, dan dalam fasa cair, dengan *yields* yang diperoleh maksimal sebesar 70%, konversi reaksi sebesar 80%, serta menghasilkan produk samping yang sulit untuk dimurnikan berupa asam furat. (Ullmann's, 2005).

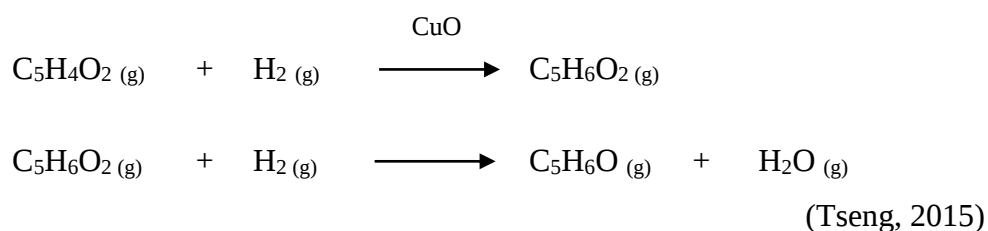
2. Reaksi Hidrogenasi

Mekanisme hidrogenasi melibatkan transformasi furfural melalui jalur reduksi dengan 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 oksida*. Furfural dialirkan ke dalam reaktor jenis fixed bed multitube yang berisi katalis padat

dalam bentuk pelet di dalam pipa-pipanya. Sebagai tahap awal sebelum memasuki reaktor, furfural diubah fasanya terlebih dahulu dari cair menjadi uap di *vaporizer* dan bersamaan dengan itu gas hidrogen *fresh feed* dan *recycle* 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

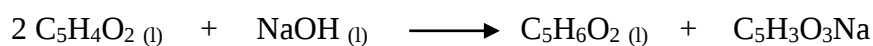
➤ Diketahui :

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

- Konversi = 80%

- Basis = 1 jam

Reaksi:



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

- $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 = 7.186,8480 \text{ kg} \times \$1,5/\text{kg}$
 $= \$10.780,272/\text{kg}$
- $\text{NaOH} = 2.994,5200 \times \$1,5/\text{kg}$
 $= \$4.611,5608/\text{kg}$
- Total $= \$15.391,8328$

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

2. Reaksi Hidrogenasi

➤ Diketahui:

- Kapasitas produk = 23.000 Ton/Tahun
= 2.904,0404 kg/jam
- Konversi = 98%
- Basis = 1 jam

Reaksi:

	$\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2$	+	H_2	$\longrightarrow$	$\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2$	
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 kmol
- $\text{H}_2 = 3,28 \times 30,2477 \text{ kmol}$
= 99,2124 kmol
- Massa $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 = 30,2477 \text{ kmol} \times 96 \text{ kg/kmol}$
= 2.903,7770 kg
- Massa $\text{H}_2 = 99,2124 \text{ kmol} \times 2 \text{ kg/kmol}$
= 198,4248 kg

➤ Harga Penjualan Produk

$$\begin{aligned} \bullet \text{ C}_5\text{H}_6\text{O}_2 &= 2.934,6296 \text{ kg} \times \$3/\text{kg} \\ &= \$8.803,8888/\text{kg} \end{aligned}$$

➤ Harga Bahan Baku

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

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

2.3. Tinjauan Termodinamika

Analisis termodinamika dilakukan untuk menentukan arah serta karakteristik suatu reaksi kimia. Parameter utama yang ditinjau adalah entalpi pembentukan standar (ΔH°) yang merepresentasikan jumlah energi panas yang diserap atau dilepaskan selama proses berlangsung. Reaksi dikategorikan sebagai endoter apabila bernilai positif (+), menandakan sistem memerlukan asupan panas. Sebaliknya, jika ΔH° bernilai negatif (-) mengindikasikan eksoterm, di mana sistem melepaskan energi panas ke lingkungan. (*Chapter 4, Smith ed 8th*).

Sedangkan energi bebas Gibbs (ΔG°) bertujuan untuk mengetahui reaksi kimia yang terjadi dapat terjadi secara spontan atau tidak spontan. ΔG° bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga membutuhkan energi dari luar. Sedangkan ΔG° bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan dan hanya membutuhkan asupan energi yang rendah. Maka dari itu, penurunan nilai ΔG° ke

arah negatif menjadi indikator keberhasilan reaksi, mengingat spontanitas reaksi akan meningkat seiring dengan berkurangnya kebutuhan energy operasi. (*Chapter 14, Smith ed 8th*).

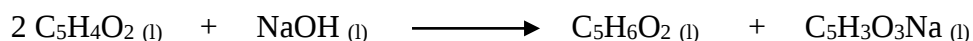
Penentuan tersebut mengacu pada perhitungan ΔG° dan ΔH° . Data yang digunakan untuk menghitung nilai ΔG° tersebut diperoleh dari tabel 2.2 berikut.

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



Data dari Tabel 2.2 digunakan untuk mengestimasi besaran nilai ΔH° dan ΔG° masing-masing senyawa pada kondisi temperatur 298 K.

Menghitung nilai ΔH :

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

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{produk}}^{\circ} &= \Delta H^{\circ}f C_5H_6O_2 + \Delta H^{\circ}f C_5H_3O_3Na \\ &= [(-276,2 \text{ kJ/mol}) + (-365,8 \text{ kJ/mol})] \\ &= -642 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{reaktan}}^{\circ} = [(2 \times \Delta H^{\circ}f C_5H_4O_2) + (\Delta H^{\circ}f NaOH)]$$

$$\begin{aligned}
 &= [(-403,2 \text{ kJ/mol}) + (-425,8 \text{ kJ/mol})] \\
 &= -829 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H^\circ_{f_{298 \text{ K}}} &= \Delta H^\circ_{f_{\text{produk}}} - \Delta H^\circ_{f_{\text{reaktan}}} \\
 &= [(-642 \text{ kJ/mol}) - (-829 \text{ kJ/mol})] \\
 &= +187 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Menghitung nilai ΔG :

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

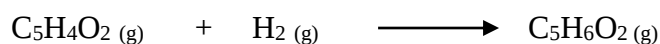
$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ_{f_{\text{produk}}} &= \Delta G^\circ_{f_{\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2}} + \Delta G^\circ_{f_{\text{C}_5\text{H}_3\text{O}_3\text{Na}}} \\
 &= [(-206,5 \text{ kJ/mol}) + (-275,8 \text{ kJ/mol})] \\
 &= -482,3 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ_{f_{298 \text{ K}}} &= \Delta G^\circ_{f_{\text{produk}}} - \Delta G^\circ_{f_{\text{reaktan}}} \\
 &= [(-482,3 \text{ kJ/mol}) - (-551,34 \text{ kJ/mol})] \\
 &= +195,14 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, diperoleh nilai ΔH dan ΔG positif (+). $\Delta H^\circ_{f_{298 \text{ K}}}$ bernilai positif menandakan bahwa reaksi bersifat endotermis. Dan $\Delta G^\circ_{f_{298 \text{ K}}}$ 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



Data dari Tabel 2.2 digunakan untuk mengestimasi besaran nilai ΔH° dan ΔG° masing-masing senyawa pada kondisi temperatur 298 K.

Menghitung nilai ΔH :

$$\Delta H^\circ_{f298K} = \Delta H^\circ_{f \text{ produk}} - \Delta H^\circ_{f \text{ reaktan}} \quad (\text{Chapter 4, Smith ed } 8^{th})$$

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

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

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{f298 K} &= \Delta H^\circ_{f \text{ produk}} - \Delta H^\circ_{f \text{ reaktan}} \\ &= [(-211,8 \text{ kJ/mol}) - (-151 \text{ kJ/mol})] \\ &= -60,8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Menghitung nilai ΔG :

$$\Delta G^\circ_{f298K} = \Delta G^\circ_{f \text{ produk}} - \Delta G^\circ_{f \text{ reaktan}} \quad (\text{Chapter 14, Smith ed } 8^{th})$$

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

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

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{f298 K} &= \Delta G^\circ_{f \text{ produk}} - \Delta G^\circ_{f \text{ reaktan}} \\ &= [(-154 \text{ kJ/mol}) - (-102,87 \text{ kJ/mol})] \\ &= -51,13 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, diperoleh nilai ΔH dan ΔG negatif (-). ΔH°_{f298K} bernilai negatif menandakan bahwa reaksi bersifat eksotermis. Dan ΔG°_{f298K} bernilai negatif (<0) mengindikasikan bahwa reaksi bersifat spontan dan tidak memerlukan input energi yang besar untuk berlangsung. (*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

Berdasarkan hasil perbandingan dari berbagai proses di atas,

Dengan membandingkan proses-proses yang telah diuraikan di atas, maka pemilihan yang tepat terkait proses produksi furfuril alkohol adalah proses hidrogenasi pada fasa uap. Metode ini dipilih dengan pertimbangan kondisi operasional yang jauh lebih aman serta kemampuan menghasilkan produk dengan tingkat kemurnian yang lebih unggul dibandingkan proses metode lainnya.

2.5 Uraian Proses

Tahapan produksi furfuril alkohol terbagi ke dalam beberapa urutan proses sebagai berikut:

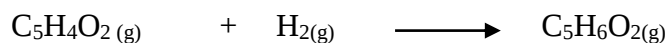
1. Tahap preparasi bahan baku

Furfural cair yang digunakan sebagai bahan baku utama diperoleh dari PT Sree International Indonesia dan langsung diangkut menuju pabrik menggunakan transportasi darat. Furfural yang di beli memiliki komposisi sebesar 95% furfural dan 5% air (persen massa) disimpan dalam tangki penyimpanan (ST-101) dengan temperatur 30°C dan tekanan 1 atm. Dari tangki penyimpanan, furfural dialirkan menggunakan pompa (PP-101) menuju *vaporizer* (VP-101) dimana furfural berwujud cair akan diubah fasanya menjadi uap dengan temperatur 170°C dan tekanan 1 atm. Furfural dalam fase uap akan dialirkan menuju reaktor, sementara fraksi yang masih berwujud cair (kondensat) dikembalikan ke unit vaporizer. Kondensat tersebut akan dicampur terlebih dahulu dengan umpan segar (fresh feed) untuk diuapkan kembali secara total.

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 gas hidrogeb dialirkan ke dalam reaktor fixed bed multitube (RE-201) melalui saluran atas katalis tembaga oksida (copper oxide) yang telah tersedia di dalam reaktor.

2. Tahap pembentukan produk

Proses higrogenasi furfural berlangsung saat umpan mengalir melalui tumpukan katalis copper oxide di dalam reaktor. Mekanisme reaksi yang terjadi diuraikan sebagai berikut:



Reaksi ini terjadi pada temperatur 170°C dan tekanan 2 atm, fasa reaksi merupakan fasa gas dengan katalis *copper oksida*. Mengingat sifat reaksi yang eksotermis, reaktor dilengkapi dengan jaket pendingin guna menjaga stabilitas termperatur operasional. Aliran keluar dari reaktor terdiri dari campuran fase

uap yang meliputi furfural, gas hidrogen, uap furfuril alkohol, uap metil furan, dan uap air.

Produk yang keluar dari reaktor ini selanjutnya 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

Kemurnian furfuril alkohol yang diinginkan sebesar 99,8%, maka dari itu untuk memperoleh tingkat kemurnian sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan furfuril alkohol dimurnikan dengan menggunakan menara distilasi. Aliran bawah menara distilasi banyak mengandung furfuril alkohol yang kemudian akan diarahkan ke tangki penampungan (ST-301) dalam wujud cair. Kondisi fase ini dicapai melalui proses pendinginan menggunakan unit cooler (CO-301) sebelum produk memasuki tangki. Sedangkan bagian atas menara distilasi sebagian akan dikondensasikan di *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)

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.