

**PRA-RANCANGAN PABRIK ASAM LAKTAT DENGAN OPTIMASI
PROSES FERMENTASI MELALUI INTEGRASI ENZIM INVERTASE
KAPASITAS 6600 TON/TAHUN**



TUGAS AKHIR

**Dibuat Untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan Mata Kuliah Tugas Akhir dan
Seminar Tugas Akhir pada Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Kimia Industri,
Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro**

Disusun Oleh:

NEZA NUR RAHAYU

40040122650004

**PRODI STUDI TEKNOLOGI REKAYASA KIMIA INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2026



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI
TEKNOLOGI REKAYASA KIMIA INDUSTRI

Jalan Gubernur Mochtar
Kampus Universitas Diponegoro
Tembalang Semarang Kode Pos 50275
Telepon/Faksimile (024) 7471379
Laman: vokasi@fveundip.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN

**PRA-RANCANGAN PABRIK ASAM LAKTAT DENGAN OPTIMASI PROSES
FERMENTASI MELALUI INTEGRASI ENZIM INVERTASE KAPASITAS 6600
TON/TAHUN**

TUGAS AKHIR

**Dibuat untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan Mata Kuliah Tugas Akhir dan Seminar
Tugas Akhir pada Program Studi S.Tr. Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Sekolah
Vokasi,
Universitas Diponegoro**

Disusun Oleh :

NEZA NUR RAHAYU

NIM. 40040122650004

Disetujui dan Disahkan Sebagai Laporan Tugas Akhir

Semarang, 10 Agustus 2026

Dosen Pembimbing

Teguh Riyanto, S.T., M.T.

NIP. 199508242024061002



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI**

Jalan Gubernur Mochtar
Kampus Universitas Diponegoro
Tembalang Semarang Kode Pos 50275
Telepon/Faksimile (024) 7471379
Email: vokasi@live.undip.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

Judul : Pra-Rancangan Pabrik Asam Laktat Dengan Optimasi Proses
Fermentasi Melalui Integrasi Enzim Invertase Kapasitas 6600
Ton/Tahun

Identitas Penulis :

- Nama : Neza Nur Rahayu
- NIM : 40040122650004
- Fakultas/Jurusan : Sekolah Vokasi / S-Tr Teknologi Rekayasa Kimia Industri

Laporan Tugas Akhir ini telah disahkan dan disetujui pada:

Hari : Selasa
Tanggal : 22 September 2026

Semarang, 22 September 2026

Mengetahui,

Tim Penguji

Penguji I,

Penguji II,

Hermawan Dwi Ariyanto, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. H.7.199005152021021001

Dr. Heny Kusumayanti, S.T., M.T.
NIP. 197210291993122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Neza Nur rahayu
NIM : 400401226500004
Judul Tugas Akhir (Skripsi) : Pra-Rancangan Pabrik Asam Laktat Dengan Optimasi
Proses Fermentasi Melalui Integrasi Enzim Invertase
Kapasitas 6600 Ton/Tahun.
Fakultas/Jurusan : Sekolah Vokasi/S-Tr Teknologi Rekayasa Kimia
Industri

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil karya saya Neza Nur Rahayu dan partner saya atas nama Ratna Rizky Septiani didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Diponegoro sesuai aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Semarang, 10 Agustus 2026



Neza Nur Rahayu

NIM 400401226500004

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Pra-Rancangan Pabrik Asam Laktat dari Molase Kapasitas 6.600 Ton/Tahun" dengan baik. Penyusunan tugas akhir ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya bantuan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada Dr. Mohamad Endy Julianto, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
2. Kepada Teguh Riyanto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, penulis menghaturkan rasa terima kasih yang mendalam atas bimbingan, arahan, dan motivasi yang tiada henti diberikan sepanjang perjalanan penyusunan tugas akhir ini. Di setiap langkah yang terasa berat, arahan beliau selalu menjadi penuntun yang menguatkan penulis untuk terus melangkah hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Sebuah kehormatan besar bagi penulis dapat dibimbing oleh sosok dosen pembimbing yang begitu penulis hormati.
3. Kepada Anggun Puspitarini Siswanto, S.T., Ph.D., IPP., selaku Dosen Pembimbing Penelitian Terapan, penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus atas bimbingan, arahan, dan motivasi yang senantiasa diberikan selama penyusunan laporan penelitian terapan ini. Lebih dari sekadar bimbingan akademik, kehadiran Miss Anggun telah menjadi sumber semangat bagi penulis sepanjang masa perkuliahan hingga penelitian ini selesai. Kesabaran, perhatian, dan ilmu yang telah dibagikan akan selalu menjadi kenangan berharga yang penulis bawa hingga masa mendatang. Terima kasih, Miss Anggun.
4. Seluruh Dosen Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, yang senantiasa memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Kepada PLP Laboratorium Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro yang telah membantu penulis dalam perkuliahan.
6. Teruntuk perempuan hebat, anak pertama, cucu perempuan pertama di keluarga besar, yang selalu yakin bahwa tidak ada mimpi yang terlalu tinggi untuk diperjuangkan, yang memilih bangkit setiap kali merasa lelah yaitu diri penulis sendiri. Terima kasih karena tidak memilih menyerah meskipun banyak hal terasa begitu berat untuk dijalani. Terima kasih

karena tetap bertahan di tengah lelah, tangis, kecewa, dan berbagai keadaan yang tidak mudah. Perjalanan ini bukan perjalanan yang sederhana; ada banyak hal yang harus dikorbankan, banyak air mata yang jatuh diam-diam, serta banyak tenaga dan waktu yang dikeluarkan demi bisa terus melanjutkan pendidikan hingga menyelesaikan tugas akhir ini. Terima kasih karena sudah mampu melewati hari-hari yang sulit, tetap berdiri meskipun berkali-kali merasa runtuh, dan tetap percaya bahwa semua perjuangan ini akan menemukan akhirnya. Karya sederhana ini menjadi bukti bahwa penulis berhasil sampai di titik yang dahulu hanya bisa diraih lewat doa dan harapan. *Here's to the next chapter, Neza.*

7. Teruntuk adikku, Aulia Puspitaariyanti, terima kasih telah menjadi salah satu alasan terbesar bagi kakak untuk terus berjuang menjadi pribadi yang lebih baik. Kehadiranmu selalu mengingatkan kakak bahwa setiap langkah dan pencapaian hari ini bukan hanya untuk diri sendiri, tetapi juga agar bisa menjadi teladan yang baik untukmu. Terima kasih karena selalu menjadi pendengar yang baik setiap kali kakak bercerita, karena telah ikut berjuang bersama sepanjang perjalanan kuliah ini, dan karena selalu menjadi tempat ternyaman bagi kakak untuk pulang. Terima kasih atas kehadiran dan dukungan yang kamu berikan selama proses penulisan tugas akhir ini, serta atas canda, tawa, dan tangis yang telah kita lalui bersama. Semoga kamu selalu bahagia, ya.
8. Teruntuk kedua orang tuaku, Bapak dan Mama, yang selalu memberikan doa, dukungan, kasih sayang, dan semangat kepada kakak dalam penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih, Mama, telah membersamai kakak sejauh ini dan telah berjuang tanpa lelah selama ini. Terima kasih atas kasih sayang penuh yang selalu Mama berikan. Terima kasih juga, Bapak, telah membersamai kakak sepanjang perjalanan perkuliahan ini. Terima kasih atas segala doa yang tak pernah putus dipanjatkan, sehingga kakak senantiasa memiliki semangat dalam menyusun tugas akhir ini. Kakak memohon doa dan restu agar perjalanan ini, mulai dari penyelesaian tugas akhir hingga langkah-langkah selanjutnya, dapat berjalan dengan lancar.
9. Teruntuk rekan perkuliahan penulis, "Begitu Rich" , Amelia Syahrani dan Arinka Anadia terima kasih telah menjadi bagian tak terpisahkan dari perjalanan hidup penulis selama ini. Dari malam-malam panjang mengerjakan laporan praktikum di joglo kantin, hingga menjalani KKN dan magang di tempat yang sama, kita selalu menemukan cara untuk terus bersama, saling menopang di setiap fase yang tidak selalu mudah. Terima kasih kepada Amelia, atas waktu dan bantuan yang selalu diberikan tanpa ragu, serta atas setiap momen berharga yang tercipta di antara kesibukan dan tekanan tugas akhir. Terima kasih kepada

Arinka, atas kehadiran yang tak pernah absen dan kesediaan untuk terus kebersamai penulis hingga detik ini. Kini, di penghujung perjalanan perkuliahan, dukungan kalian dalam penyusunan tugas akhir ini menjadi pengingat bahwa persahabatan "Begitu Rich" bukan sekadar nama, melainkan bukti nyata kebersamaan yang telah teruji waktu. Semoga kita senantiasa diberikan kelancaran, kebahagiaan, dan kesuksesan, baik di dunia maupun di akhirat.

10. Kepada rekan tugas akhir penulis, Ratna Rizky Septiani, terima kasih telah menjadi partner yang solid selama proses penyusunan Pra-Rancangan Pabrik ini berjuang bersama menghadapi setiap kesulitan, saling melengkapi dalam bekerja sama, dan terus memberikan dukungan hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Kerja sama dan kekompakan kita menjadi salah satu bagian paling berharga dari perjalanan ini.
11. Rekan-rekan seperjuangan di Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kimia Industri Universitas Diponegoro, yang selalu memberi semangat dan kebersamaan.
12. Teruntuk teman-teman yang tidak dapat disebutkan seluruhnya, atas doa dan perhatiannya. Semoga laporan ini dapat membantu dan bermanfaat bagi pembaca serta dapat berkontribusi dalam dunia Kimia.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknologi rekayasa kimia industri.

Semarang, 10 Agustus 2026

Neza Nur Rahayu

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
RINGKASAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Kapasitas Rancangan.....	2
1.2.1. Perkiraan Kebutuhan Asam Laktat di Indonesia.....	2
1.2.2. Ketersediaan Bahan Baku	7
1.2.3. Kapasitas Pabrik Asam Laktat yang Beroperasi	8
1.3. Penentuan Lokasi Pabrik.....	9
1.3.1. Pemilihan Lokasi Pabrik	9
1.3.2. Perbandingan Pemilihan Lokasi.....	11
1.3.3. Faktor Primer.....	18
1.3.4. Faktor Sekunder	21
1.4. Tinjauan Proses	23
1.4.1. Macam-macam Proses Pembuatan Asam Laktat	23
1.4.2. Pemilihan Proses	24
BAB II DESKRIPSI PROSES	26
2.1. Spesifikasi Bahan Baku dan Produk	26
2.1.1. Spesifikasi Bahan Baku.....	26
2.1.2. Spesifikasi Produk.....	30
2.2. Konsep Proses	32
2.2.1. Dasar Reaksi.....	32
2.2.2. Mekanisme Reaksi	33
2.2.3. Kondisi Operasi.....	34
2.2.4. Tinjauan Termodinamika	34
2.2.5. Tinjauan Kinetika.....	37
2.3. Langkah Proses	41
2.3.1. Tahap Persiapan Bahan Baku.....	41
2.3.2. Tahap Hidrolisis	41
2.3.3. Tahap Fermentasi	41

2.3.4. Tahap Pemurnian.....	42
2.4. Diagram Alir Proses	44
2.5. Neraca Massa.....	46
2.5.1. Neraca Massa Tangki Penyimpanan Molase (T-101)	46
2.5.2. Neraca Massa Tangki Pengenceran I (T-102).....	46
2.5.3. Neraca Massa Reaktor Hidrolisis (R-101)	46
2.5.4. Neraca Massa Tangki Pengenceran II (T-103)	47
2.5.5. Neraca Massa Reaktor Fermentasi (R-102)	47
2.5.6. Neraca Massa Mikrofiltrasi (MF-101)	48
2.5.7. Neraca Massa Asidifikasi (T-105)	48
2.5.8. Neraca Massa Filtrasi <i>Gypsum</i> (F-101).....	49
2.5.9. Neraca Massa Unit Pemurnian (REF-101).....	49
2.5.10. Neraca Massa Evaporasi Vakum (EV-101 & EV-102)	49
2.6. Neraca Panas	50
2.6.1. Neraca Panas Tangki Penyimpanan Molase (T-101).....	50
2.6.2. Neraca Panas Tangki Pengenceran I (T-102).....	50
2.6.3. Neraca Panas Reaktor Hidrolisis (R-101)	51
2.6.4. Neraca Panas Tangki Pengenceran II (T-103)	52
2.6.5. Neraca Panas Reaktor Fermentasi (R-102)	52
2.6.6. Neraca Panas Mikrofiltrasi (MF-101)	53
2.6.7. Neraca Panas Asidifikasi (T-105)	54
2.6.8. Neraca Panas Filtrasi <i>Gypsum</i> (F-101)	55
2.6.9. Neraca Panas Unit Pemurnian (REF-101)	55
2.6.10. Neraca Panas Evaporator Vakum (EV-101 & EV-102).....	56
2.7. Tata Letak Pabrik dan Pemetaan.....	58
2.7.1. Lay Out Pabrik	58
2.7.2. Lay Out Peralatan Proses	61
BAB III SPESIFIKASI PERALATAN.....	65
3.1. Unit Penyimpanan	65
3.1.1. Tangki Penyimpanan Molase (T-101).....	65
3.2. Unit Pemindah.....	66
3.2.1. Pompa Transfer Umpan (P-102)	66
3.3. Unit Penukar Panas	67
3.3.1. Heat Exchanger (HE-101).....	67
3.4. Unit Reaksi.....	69
3.4.1. Reaktor Hidrolisis (R-101).....	69
3.4.2. Reaktor Fermentasi	70

3.5. Unit Pemisahan	73
3.5.1. Evaporator Double Effect.....	73
BAB IV UNIT PENDUKUNG PROSES	74
4.1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air.....	74
4.1.1. Sistem Pengolahan Air Baku (<i>Water Treatment Plant</i>).....	74
4.1.2. Kebutuhan Air	77
4.2. Unit Penyediaan Steam	84
4.2.1. Air Umpan Boiler dan Kapasitas Boiler	85
4.2.2. Spesifikasi Boiler	86
4.3. Unit Penyediaan Bahan Bakar.....	86
4.4. Unit Penyediaan Tenaga Listrik.....	88
4.4.1. Daya Pompa Proses dan Utilitas	88
4.4.2. Daya Auxiliary Boiler, Menara Pendingin, dan Unit Pengolahan Air.....	90
4.4.3. Kebutuhan Daya Listrik dan Genset Cadangan	91
4.5. Unit Penyediaan Udara Tekan.....	93
4.6. Laboratorium.....	94
4.6.1. Program Kerja Laboratorium	94
4.7. Unit Pengolahan Limbah.....	95
4.7.1. Pengelolaan Limbah Padat	95
4.7.2. Pengelolaan Limbah Cair (Instalasi Pengolahan Air Limbah).....	97
4.7.3. Pengendalian Limbah Gas dan Emisi Udara.....	101
4.8. Kesehatan Keselamatan Kerja dan Lingkungan Hidup.....	103
4.9. Instrumentasi	107
BAB V MANAJEMEN PERUSAHAAN.....	112
5.1. Bentuk Perusahaan	112
5.2. Struktur Organisasi.....	113
5.3. Tugas dan wewenang	115
5.4. Kebutuhan Karyawan dan Sistem Pengupahan.....	121
5.5. Pengolahan Jabatan, Jumlah Karyawan, dan Gaji.....	122
5.6. Kesejahteraan Sosial Karyawan	127
5.7. <i>Corporate Social Responsibility</i> (CSR)	129
BAB VI TROUBLESHOOTING.....	132
6.1. Tangki Penyimpanan Molase (T-101).....	132
6.2. Tangki Pengenceran I (T-102) dan Tangki Pengenceran II (T-103).....	134
6.3. Reaktor Hidrolisis Packed Bed Reactor (R-101)	136
6.4. Reaktor Fermentasi Batch (R-102)	139
6.5. Unit Mikrofiltrasi (MF-101).....	142

6.6.	Tangki Asidifikasi (T-105) dan Filtrasi Gypsum (F-101).....	144
6.7.	Unit Ultrafiltrasi (UF-101) dan Resin Penukar Ion (CR-101, AR-101, CR-102, AR-102)	146
6.8.	Evaporator Vakum 2-Stage (EV-101).....	150
6.9.	Sistem Pompa (P-101 hingga P-111 dan VP-101)	154
6.10.	Heat Exchanger (HE-101)	156
6.11.	Unit Utilitas (Boiler, Cooling Tower, Kompresor)	158
BAB VII ANALISA EKONOMI.....		161
7.1.	Perkiraan Harga Peralatan.....	161
7.2.	Dasar Perhitungan	163
7.2.1.	Kapasitas Produksi	163
7.2.2.	Harga Bahan Baku dan Produk	163
7.3.	Perhitungan Biaya	164
7.3.1.	Modal Industri (<i>Total Capital Investment</i>).....	164
7.3.2.	Biaya Produksi Total (<i>Production Cost</i>)	173
7.4.	Analisis Kelayakan.....	178
7.4.1.	Penjualan dan Keuntungan.....	179
7.4.2.	<i>Profit on Sales</i> (POS)	179
7.4.3.	<i>Return on Investment</i> (ROI)	179
7.4.4.	<i>Pay Out Time</i> (POT)	179
7.4.5.	<i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	180
7.4.6.	<i>Break Even Point</i> (BEP) dan <i>Shut Down Point</i> (SDP).....	180
7.5.	Hasil Perhitungan dan Resume	182
7.5.1.	Ringkasan Hasil Analisis Ekonomi.....	182
7.5.2.	Resume Kelayakan.....	182
7.5.3.	Perhitungan Harga Pokok Penjualan (HPP).....	183
BAB VIII KESIMPULAN		184
DAFTAR PUSTAKA		187
LAMPIRAN		193
LAMPIRAN A NERACA MASSA		193
LAMPIRAN B NERACA PANAS		205
LAMPIRAN C SPESIFIKASI ALAT.....		222
LAMPIRAN D ANALISA EKONOMI		276

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Impor Asam Laktat di Indonesia.....	3
Gambar 1. 2 Grafik Ekspor Asam Laktat di Indonesia	4
Gambar 1. 3 Lokasi Pendirian Pabrik	11
Gambar 2. 1 Diagram Alir Proses Pembuatan Asam Laktat dari Molase.....	44
Gambar 2. 2 Lay Out Pabrik	60
Gambar 2. 3 Lay Out Proses	63
Gambar 4. 1 Diagram Alir Unit Pengolahan Air Baku (Water Treatment Plant).....	75
Gambar 4. 2 Diagram Alir Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)	99
Gambar 4. 3 Face Shield	104
Gambar 4. 4 Safety Goggles	105
Gambar 4. 5 Wearpack.....	105
Gambar 4. 6 Safety Shoes	105
Gambar 4. 7 Ear Muffs.....	106
Gambar 4. 8 Safety Helmet	106
Gambar 4. 9 Masker	106
Gambar 4. 10 Sarung Tangan Kimia.....	107
Gambar 5. 1 Struktur Organisasi Perusahaan.....	114
Gambar D. 1 Grafik Hubungan Tahun terhadap Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI).....	279
Gambar D. 2 Grafik Break Even Point (BEP) dan Shut Down Point (SDP)	302

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Perkembangan Impor dan Asam Laktat (BPS, 2019 - 2024).....	3
Tabel 1. 2 Data Rerata Impor dan Ekspor Asam Laktat Indonesia (BPS, 2019 - 2024).....	4
Tabel 1. 3 Data Impor dan Ekspor Indonesia Tahun 2023 (TradeMap, 2023)	5
Tabel 1. 4 Komponen Faktor Pabrik Pertama	6
Tabel 1. 5 Perbandingan Faktor Pabrik Pertama.....	6
Tabel 1. 6 Ketersediaan Bahan Baku Asam Laktat di Pasuruan (Data Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Pasuruan, 2024)	8
Tabel 1. 7 Tabel Kapasitas Produksi Asam Laktat di Luar Negeri (Komesu et al., 2017)	9
Tabel 1. 8 Perbandingan Ketersediaan Molase Pada Alternatif Lokasi	12
Tabel 1. 9 Perbandingan Ketersediaan Sumber Air Pada Alternatif Lokasi	13
Tabel 1. 10 Perbandingan Kondisi Utilitas Pendukung	14
Tabel 1. 11 Perbandingan Akses Pasar Nasional	15
Tabel 1. 12 Perbandingan Infrastruktur Transportasi.....	16
Tabel 1. 13 Perbandingan Fasilitas Pengelolaan Limbah	17
Tabel 1. 14 Rekapitulasi Hasil Penilaian Lokasi.....	18
Tabel 1. 15 Perbandingan Proses Pembuatan Asam Laktat	24
Tabel 2. 1 Komposisi Molase (Kumar, 2021)	26
Tabel 2. 2 Komposisi Abu dan Pengotor dalam Molase (Kumar, 2021)	27
Tabel 2. 3 Komposisi Media MRS Broth (Smitsa, 2007)	29
Tabel 2. 4 Spesifikasi Produk Asam Laktat (PURAC® HiPure 90, 2019).....	30
Tabel 2. 5 Kondisi Operasi Reaksi Utama	34
Tabel 2. 6 Entalpi Pembentukan Standar (ΔH°_f) Komponen Hidrolisis Sukrosa pada 25°C (Smith & Van Ness, 2018 App. C).....	34
Tabel 2. 7 Nilai Energi Bebas Gibbs Pembentukan Standar (ΔG°_f) Komponen Hidrolisis Sukrosa pada 25°C (Smith & Van Ness, 2018, App. C).....	35
Tabel 2. 8 Entalpi Pembentukan Standar (ΔH°_f) Komponen Fermentasi Asam Laktat pada 25°C (Smith & Van Ness, 2018, App. C; CRC Handbook, 2019).....	36
Tabel 2. 9 Nilai Energi Bebas Gibbs Pembentukan Standar (ΔG°_f) Komponen Fermentasi Asam Laktat pada 25°C (Smith & Van Ness, 2018, App. C; CRC Handbook, 2019)	36
Tabel 2. 10 Nilai Termodinamika Reaksi Utama.....	37
Tabel 2. 11 Parameter Kinetika Hidrolisis Sukrosa dengan Enzim Invertase (Amaya-Delgado et al.,2006).....	38
Tabel 2. 12 Parameter Kinetika Fermentasi Asam Laktat oleh <i>Lactobacillus delbrueckii</i> Kotzamanidis et al. (2002)	39
Tabel 2. 13 Kondisi Awal Fermentasi Asam Laktat	39
Tabel 2. 14 Profil Fermentasi Asam Laktat (Hasil Perhitungan RK4)	40
Tabel 2. 15 Hasil Fermentasi Asam Laktat	40
Tabel 2. 16 Aliran Setiap Unit	45
Tabel 2. 17 Neraca Massa T-101	46
Tabel 2. 18 Neraca Massa T-102	46
Tabel 2. 19 Neraca Massa R-101	46
Tabel 2. 20 Neraca Massa T-103	47
Tabel 2. 21 Neraca Massa R-102	47
Tabel 2. 22 Neraca Massa MF-101	48
Tabel 2. 23 Neraca Massa T-105	48
Tabel 2. 24 Neraca Massa F-101.....	49
Tabel 2. 25 Neraca Massa REF-101.....	49
Tabel 2. 26 Neraca Massa EV - 101 & EV 102	49

Tabel 2. 27 Neraca Panas T-101	50
Tabel 2. 28 Neraca Panas T-102	50
Tabel 2. 29 Neraca Panas R-101	51
Tabel 2. 30 Neraca Panas R-101 (Balance).....	51
Tabel 2. 31 Neraca Panas T-103	52
Tabel 2. 32 Neraca Panas R-102 (per-batch)	52
Tabel 2. 33 Neraca Panas R-102 (Balance).....	53
Tabel 2. 34 Neraca Panas MF-101	53
Tabel 2. 35 Neraca Panas T-105	54
Tabel 2. 36 Neraca Panas T-105 (Balance).....	54
Tabel 2. 37 Neraca Panas F-101.....	55
Tabel 2. 38 Neraca Panas UF-101.....	55
Tabel 2. 39 Neraca Panas Resin Kation-Anion.....	55
Tabel 2. 40 Neraca Panas REF-101 (Balance).....	56
Tabel 2. 41 Neraca Panas EV-101 (Efek I).....	56
Tabel 2. 42 Neraca Panas EV-101 (Balance).....	57
Tabel 2. 43 Neraca Panas EV-102 (Efek II).....	57
Tabel 2. 44 Neraca Panas EV-102 (Balance).....	57
Tabel 2. 45 Neraca Panas Evaporator Double Effect.....	57
Tabel 2. 46 Keterangan Luas Tata Letak Pabrik.....	61
Tabel 3. 1 Spesifikasi Tangki Penyimpanan Molase (T-101).....	65
Tabel 3. 2 Spesifikasi Pompa (P-102).....	66
Tabel 3. 3 Spesifikasi Heat Exchanger (HE-101)	67
Tabel 3. 4 Spesifikasi Reaktor Hidrolisis (R-101)	69
Tabel 3. 5 Spesifikasi Reaktor Fermentasi (R-102)	70
Tabel 3. 6 Spesifikasi Evaporator Double Effect.....	73
Tabel 4. 1 Parameter Desain Unit Pengolahan Air Baku.....	76
Tabel 4. 2 Kebutuhan Air Proses	77
Tabel 4. 3 Kebutuhan Air Pendingin.....	79
Tabel 4. 4 Kebutuhan Steam	84
Tabel 4. 5 Kebutuhan Steam	86
Tabel 4. 6 Kebutuhan Bahan Bakar	87
Tabel 4. 7 Kebutuhan Listrik Pompa	88
Tabel 4. 8 Daya Auxiliary	91
Tabel 4. 9 Kebutuhan Daya Listrik	91
Tabel 4. 10 Kebutuhan Udara Tekan	93
Tabel 4. 11 Sumber Limbah.....	96
Tabel 4. 12 Pengelolaan Limbah Cair	97
Tabel 4. 13 Baku Mutu Efluen IPAL (Indikatif).....	101
Tabel 4. 14 Baku Mutu Emisi	102
Tabel 4. 15 Kode Tag Instrumen.....	110
Tabel 5. 1 Jadwal Shift Kerja Karyawan.....	121
Tabel 5. 2 Penggolongan Jabatan dan Pendidikan Minimal	122
Tabel 5. 3 Jumlah Karyawan per Jabatan.....	125
Tabel 5. 4 Golongan Gaji Karyawan.....	127
Tabel 6. 1 TRubbleshooting T-101(Tangki Penyimpanan Molase).....	132
Tabel 6. 2 Troubleshooting T-102 dan T-103 (Tangki Pengenceran).....	134
Tabel 6. 3 Troubleshooting R-101 (Reaktor Hidrolisis PBR).....	136
Tabel 6. 4 Troubleshooting R-102 (Reaktor Fermentasi Batch).....	139
Tabel 6. 5 Troubleshooting MF-101 (Mikrofiltrasi)	142

Tabel 6. 6 Troubleshooting T-105 dan F-101 (Asidifikasi dan Filtrasi Gypsum)	144
Tabel 6. 7 Troubleshooting UF-101 (Ultrafiltrasi).....	147
Tabel 6. 8 Troubleshooting EV-101 (Evaporator Vakum 2-Stage)	150
Tabel 6. 9 Troubleshooting Sistem Pompa	154
Tabel 6. 10 Troubleshooting HE-101 (Heat Exchanger)	157
Tabel 6. 11 Troubleshooting Unit Utilitas	158
Tabel 7. 1 Chemical Engineering Plant Cost Index Tahun 2001-2025.....	161
Tabel 7. 2 Tabel Kapasitas Produksi	163
Tabel 7. 3 Harga Bahan Baku dan Produk	163
Tabel 7. 4 Equipment Cost Peralatan Impor Tahun 2026 (Terindeks CEPCI)	164
Tabel 7. 5 Equipment Cost Peralatan Dalam Negeri Tahun 2026 (Terindeks CEPCI)	165
Tabel 7. 6 Peralatan Tambahan dan Utilitas	165
Tabel 7. 7 Purchased Equipment Cost (Dalam Negeri)	166
Tabel 7. 8 Purchased Equipment Cost (Impor)	166
Tabel 7. 9 Equipment Installation Cost.....	166
Tabel 7. 10 Piping Cost	167
Tabel 7. 11 Instrumentation Cost	167
Tabel 7. 12 Insulation Cost	168
Tabel 7. 13 Electrical Cost	168
Tabel 7. 14 Luas Tanah dan Bangunan	168
Tabel 7. 15 Physical Plant Cost (PPC).....	170
Tabel 7. 16 FCI.....	171
Tabel 7. 17 Raw Material Inventory	172
Tabel 7. 18 Rekapitulasi Working Capital Investment (WCI).....	173
Tabel 7. 19 Biaya Bahan Baku	173
Tabel 7. 20 Biaya Tenaga Kerja Langsung (Labor Cost)	173
Tabel 7. 21 Biaya Supervisi	174
Tabel 7. 22 Indirect Manufacturing Cost	176
Tabel 7. 23 Fixed Manufacturing Cost.....	177
Tabel 7. 24 Gaji Manajemen (Management Salary)	177
Tabel 7. 25 Total General Expense (TGE).....	178
Tabel 7. 26 Penjualan Produk	179
Tabel 7. 27 Cash Flow Perhitungan IRR.....	180
Tabel 7. 28 Komponen Perhitungan BEP dan SDP	180
Tabel 7. 29 Hasil Analisis Kelayakan	182
Tabel 7. 30 Resume Kelayakan Pabrik Asam Laktat.....	182
Tabel 7. 31 Perhitungan HPP	183
Tabel 7. 32 Total Production Cost	183
Tabel A. 1 Komposisi Molase	193
Tabel A. 2 Neraca Massa T-101.....	193
Tabel A. 3 Neraca Massa T-102.....	194
Tabel A. 4 Neraca Massa R-101	195
Tabel A. 5 Neraca Massa T-103.....	196
Tabel A. 6 Neraca Massa R-102	197
Tabel A. 7 Neraca Massa MF-101	198
Tabel A. 8 Neraca Massa T-105.....	199
Tabel A. 9 Neraca Massa F-101.....	200
Tabel A. 10 Neraca Massa REF-101.....	201
Tabel A. 11 Neraca Massa Evaporator.....	202
Tabel A. 12 Aliran Kuantitatif pada Unit Utama	203

Tabel A. 13 Neraca Massa Total Seluruh Unit	203
Tabel A. 14 Neraca Massa Total Keseluruhan Pabrik	204
Tabel B. 1 Kapasitas Panas (Cp) Komponen pada T-101	205
Tabel B. 2 Entalpi Input pada T-101	206
Tabel B. 3 Entalpi Output pada T-101	206
Tabel B. 4 Neraca Panas T-101	206
Tabel B. 5 Kapasitas Panas (Cp) Komponen pada T-102	207
Tabel B. 6 Entalpi Input pada T-102	207
Tabel B. 7 Entalpi Output pada T-102	207
Tabel B. 8 Neraca Panas T-102	208
Tabel B. 9 Entalpi Pembentukan Standar (ΔH°_f), T 25°C (Smith & Van Ness (2018), App. C)	208
Tabel B. 10 Entalpi Input pada R-101	209
Tabel B. 11 Entalpi Output pada R-101	209
Tabel B. 12 Neraca Panas R-101	209
Tabel B. 13 Entalpi Input pada T-103	210
Tabel B. 14 Entalpi Output pada T-103	210
Tabel B. 15 Neraca Panas T-103	210
Tabel B. 16 Entalpi Pembentukan Standar (ΔH°_f) T 25°C (Smith & Van Ness (2018), App. C)	211
Tabel B. 17 Entalpi Input pada R-102	211
Tabel B. 18 Entalpi Output pada R-102	212
Tabel B. 19 Neraca Panas R-102	212
Tabel B. 20 Entalpi Input pada MF-101	212
Tabel B. 21 Entalpi Output pada MF-101 (Filtrat)	213
Tabel B. 22 Entalpi Output pada MF-101 (Retentat)	213
Tabel B. 23 Neraca Panas MF-101	214
Tabel B. 24 Entalpi Pembentukan Standar (ΔH°_f) pada 25°C (CRC Handbook, 2019)	214
Tabel B. 25 Entalpi Input pada T-105	214
Tabel B. 26 Entalpi Output pada T-105	215
Tabel B. 27 Neraca Panas T-105	215
Tabel B. 28 Entalpi Input pada F-101	216
Tabel B. 29 Entalpi Output pada F-101 (Filtrat)	216
Tabel B. 30 Entalpi Output pada F-101 (Wet Cake)	216
Tabel B. 31 Neraca Panas F-101	217
Tabel B. 32 Entalpi Input pada REF-101	217
Tabel B. 33 Entalpi Output pada REF-101	217
Tabel B. 34 Neraca Panas REF-101	218
Tabel B. 35 Data Operasi Evaporator	219
Tabel B. 36 Neraca Panas EV-101	219
Tabel B. 37 Neraca Panas EV-102	220
Tabel B. 38 Neraca Panas Evaporator	220
Tabel B. 39 Ringkasan Neraca Panas Seluruh Unit	220
Tabel B. 40 Neraca Panas Total Pabrik	221
Tabel C. 1 Spesifikasi Tangki T-101	222
Tabel C. 2 Kondisi Operasi	222
Tabel C. 3 Dimensi Tangki	223
Tabel C. 4 Tebal Shell	223
Tabel C. 5 Perhitungan per-Course	224
Tabel C. 6 Tebal Bottom Plate	224

Tabel C. 7 Spesifikasi Tangki T-101	225
Tabel C. 8 Neraca Massa Reaktor Hidrolisis (R-101)	226
Tabel C. 9 Berat Katalis Kumulatif terhadap Konversi	229
Tabel C. 10 Spesifikasi Reaktor Hidrolisis R-101	233
Tabel C. 11 Profil Konsentrasi Hasil Integrasi RK4.....	236
Tabel C. 12 Spesifikasi Reaktor Fermentasi R-102	244
Tabel C. 13 Spesifikasi Evaporator Efek I (EV-101).....	249
Tabel C. 14 Penentuan Fluida HE-102.....	251
Tabel C. 15 Iterasi Suhu Dinding Tube dan Koefisien Film HE-102	253
Tabel C. 16 Spesifikasi Heat Exchanger HE-102	255
Tabel C. 17 Spesifikasi Pompa P-102	256
Tabel C. 18 Kondisi Operasi	256
Tabel C. 19 Pemilihan Pipa Standar.....	259
Tabel C. 20 Metode Le/D.....	261
Tabel C. 21 Kebutuhan Steam per Unit Proses	267
Tabel C. 22 Kebutuhan Air Pendingin per Unit Proses	268
Tabel C. 23 Neraca Air Total Pabrik.....	271
Tabel C. 24 Daya Pompa Proses dan Utilitas (di luar P-102)	272
Tabel C. 25 Spesifikasi Peralatan Utama Utilitas	274
Tabel D. 1 Nilai CEP Index Tahun 2001 hingga 2025	277
Tabel D. 2 Equipment Cost Impor	279
Tabel D. 3 Equipment Cost Dalam Negeri	280
Tabel D. 4 Peralatan Penunjang dan Utilitas Tambahan.....	281
Tabel D. 5 Purchased Equipment Cost (PEC) Impor.....	282
Tabel D. 6 Purchased Equipment Cost (PEC) Dalam Negeri	282
Tabel D. 7 Luas Tanah dan Bangunan	284
Tabel D. 8 Physical Plant Cost (PPC).....	286
Tabel D. 9 Raw Material Inventory	288
Tabel D. 10 Total Working Capital Investment (WCI)	288
Tabel D. 11 Total Capital Investment (TCI)	289
Tabel D. 12 Kebutuhan dan Biaya Bahan Baku per Tahun	289
Tabel D. 13 Labor Cost.....	290
Tabel D. 14 Supervision Cost	290
Tabel D. 15 Total Direct Manufacturing Cost (DMC).....	292
Tabel D. 16 Total Indirect Manufacturing Cost (IDMC).....	294
Tabel D. 17 Total Fixed Manufacturing Cost (FMC)	295
Tabel D. 18 Total Manufacturing Cost (TMC)	295
Tabel D. 19 Management Salaries	295
Tabel D. 20 Total General Expense (TGE).....	297
Tabel D. 21 Rincian Pengeluaran Investasi per Tahun	299
Tabel D. 22 Aliran Kas (Cash Flow) Operasi Pabrik per Tahun	299
Tabel D. 23 Fixed Manufacturing Cost (Fa)	301
Tabel D. 24 Variable Cost (Va)	301
Tabel D. 25 Regulated Cost (Ra)	301
Tabel D. 26 Hasil Analisa Kelayakan	302

RINGKASAN

Pabrik asam laktat dari molase dengan kapasitas 6.600 ton/tahun direncanakan akan didirikan di Pasuruan Industrial Estate Rembang (PIER), Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur pada tahun 2028. Pabrik ini merupakan pabrik pertama di Indonesia yang memproduksi asam laktat dari bahan baku lokal yaitu molase. Pendirian pabrik ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan asam laktat dalam negeri yang selama ini masih dipenuhi melalui impor, mengurangi ketergantungan terhadap negara lain, serta meningkatkan nilai tambah sumber daya alam Indonesia.

Proses produksi yang dipilih adalah fermentasi homofermentatif menggunakan bakteri *Lactobacillus delbrueckii* dengan hidrolisis awal menggunakan enzim invertase. Proses ini menggunakan bahan baku terbarukan yang melimpah di Indonesia, dengan kondisi operasi ringan (suhu 45°C, tekanan 1 atm), yield tinggi (94-96%), serta mampu menghasilkan isomer murni L-(+)-asam laktat. Kondisi operasi meliputi hidrolisis sukrosa pada suhu 50-60°C, pH 4,0-5,0 selama 2-4 jam, dan fermentasi pada suhu 45°C, pH awal 5,5-6,5, pH akhir 3,0-3,7 selama 48-72 jam. Pemurnian produk dilakukan melalui asidifikasi, ekstraksi eter 72 jam, evaporasi, dan kristalisasi untuk menghasilkan asam laktat dengan kemurnian >95%.

Peralatan utama yang digunakan meliputi tangki penyimpanan molase, tangki hidrolisis, culture tank, 2 unit fermentor, tangki asidifikasi, rotary drum vacuum filter, centrifuge, filter press, evaporator, kristalizer, cooler, dan pompa. Unit utilitas mencakup pengadaan air (3.086 kg/jam), listrik (120 kW), steam (1.260 kg/jam), dan udara tekan (45 Nm³/jam). Bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi garis dan staf, mempekerjakan 26 orang dengan total gaji Rp2.490.000.000 per tahun.

Analisis ekonomi menunjukkan kelayakan dengan Total Capital Investment (TCI) Rp30,99 miliar, Return on Investment (ROI) 50,1% (di atas standar 15%), Pay Out Time (POT) 1,47 tahun (di bawah batas 5 tahun), Break Even Point (BEP) 38,5% (setara 2.541 ton/tahun), dan Internal Rate of Return (IRR) 18,3% (di atas bunga bank 8%). Analisis sensitivitas menunjukkan pabrik masih layak pada skenario penurunan harga jual hingga 5% dan kenaikan biaya bahan baku hingga 15% sehingga layak didirikan.