

LAPORAN TUGAS AKHIR

PRARANCANGAN PABRIK ETIL AKRILAT DARI ASAM AKRILAT DAN ETANOL KAPASITAS 25.000 TON/TAHUN



**Diajukan Sebagai Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia**

Oleh :

**Bintang Eka Yuwana Putri
26200342D**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SETIA BUDI
SURAKARTA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN TUGAS AKHIR PRARANCANGAN PABRIK ETIL AKRILAT DARI ASAM AKRILAT DAN ETANOL KAPASITAS 25.000 TON/TAHUN

Disusun Oleh :
Bintang Eka Yuwana Putri
NIM. 26200342D

Telah Disetujui dan Disahkan Oleh Tim Penguji
Pada Tanggal 18 Desember 2024

Penguji I : Dr. Supriyono, S.T., M.T.
Penguji II : Ir. Sumardiyono, M.T.
Penguji III : Dr. Narimo, S.T., M.M
Penguji IV : Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng.

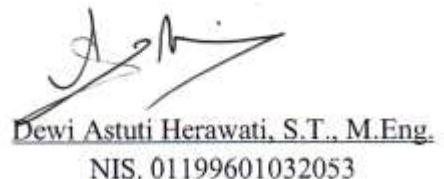


Mengetahui,



Dekan Fakultas Teknik
Dr. Suseno, M.Si.
NIS. 01199408011044

Ketua Program Studi S1 Teknik Kimia

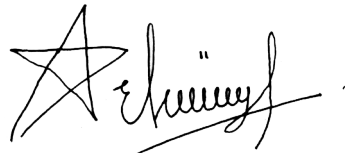


Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng.
NIS. 01199601032053

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini, saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul **PRARANCANGAN PABRIK ETIL AKRILAT DARI ASAM AKRILAT DAN ETANOL KAPASITAS 25.000 TON/TAHUN** adalah benar merupakan hasil karya saya dengan arahan dari pembimbing tanpa ada upaya penjiplakan atau pemalsuan dan manipulasi data dari karya orang lain. Semua sumber data dan informasi yang dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain yang telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Surakarta, 12 November 2024

A handwritten signature in black ink, featuring a stylized star-like symbol followed by cursive script.

Bintang Eka Yuwana Putri

KATA PENGANTAR

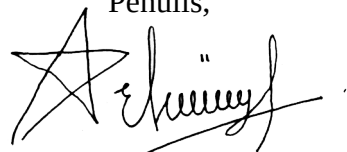
Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya, sehingga laporan skripsi berjudul **“Prarancangan Pabrik Etil Akrilat Dari Asam Akrilat dan Etanol Kapasitas 25.000 ton/tahun”** dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Penyusunan laporan ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, bimbingan, kritik, dan saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa syukur dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya yang selalu memberikan doa, nasihat, serta dukungan, baik secara moral maupun materi, sehingga laporan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Ibu Ir. Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng., selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Kimia Universitas Setia Budi Surakarta.
3. Ibu Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan waktu, tenaga, pikiran, dan bimbingan selama penyusunan/penulisan laporan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Narimo, S.T., M.M., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan waktu, tenaga, pikiran, dan bimbingan selama penyusunan/penulisan laporan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Supriyono, S.T., M.T., selaku Dosen penguji I yang telah memberikan saran dalam penyusunan laporan laporan tugas akhir ini.
6. Bapak Ir. Sumardiyono, M.T., selaku Dosen penguji II yang telah memberikan saran dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
7. Seluruh Dosen dan staff pegawai Program Studi S1 Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta.
8. Teman – teman Program Studi S1 Teknik Kimia angkatan 2020 yang selalu memberikan semangat dan dukungan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
9. Seluruh pihak yang telah berkontribusi dan memberikan dukungan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis telah berupaya dengan maksimal dalam menyelesaikan laporan ini, namun penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, penulis dengan senang hati menerima segala saran dan kritik dari pembaca. Dan berharap laporan ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis sendiri maupun bagi para pembaca.

Surakarta, 27 November 2024

Penulis,

A handwritten signature in black ink, featuring a stylized star symbol followed by the name 'Bintang Eka Yuwana Putri' in a cursive script.

Bintang Eka Yuwana Putri
26200342D

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
INTISARI	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik	1
1.2 Kapasitas Rancangan	2
1.2.1 Data Impor dan Ekspor Etil Akrilat di Indonesia	2
1.2.2 Ketersediaan Bahan Baku.....	3
1.2.3 Kapasitas Pabrik yang Telah Berproduksi.....	3
1.3 Pemilihan Lokasi.....	4
1.3.1 Faktor Primer	5
1.3.2 Faktor Sekunder.....	6
1.4 Pemilihan Proses	8
1.4.1 Persamaan Reaksi	10
1.4.2 Kondisi operasi	10
1.4.3 Mekanisme reaksi	10
1.4.4 Tinjauan kinetika	10
1.4.5 Tinjauan termodinamika	12
BAB II SPESIFIKASI BAHAN.....	15
2.1.1 Asam Akrilat.....	15
2.1.2 Etanol.....	15
2.2.1 Asam Sulfat	16
2.2.2 Natrium Hidroksida	17
2.3.1 Etil Akrilat	17
BAB III DESKRIPSI PROSES	19
3.1 Uraian Proses	19
5.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku	19
1.3.2 Tahap Reaksi	19
1.3.3 Tahap Pemisahan dan Pemurnian Produk	20
3.2 Diagram Alir Proses Kualitatif.....	21

BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	24
4.1 Neraca Massa Tiap Alat.....	24
4.2 Neraca Panas Tiap Alat.....	26
BAB V SPESIFIKASI ALAT PROSES	30
5.1 Spesifikasi Alat Proses.....	30
5.2 Spesifikasi Alat Pendukung	34
BAB VI UTILITAS.....	48
6.1 Unit Penyedia Air.....	48
6.2 Unit Pembangkitan Steam.....	50
6.3 Unit Penyedia Listrik	50
6.4 Unit Penyedia Lainnya Yang Dibutuhkan	53
BAB VII UNIT PENGOLAHAN LIMBAH.....	74
BAB VIII STRUKTUR ORGANISASI.....	75
8.1 Organisasi Perusahaan	75
8.1.1 Bentuk Perusahaan.....	75
8.1.2 Sistem Manajemen Perusahaan	75
8.2 Tata Letak Pabrik	95
8.2.1 Tata Letak Pabrik.....	95
8.2.2 Tata Letak Peralatan	96
8.2.3 Ekonomi.....	96
8.2.4 Aliran bahan baku dan produk.....	97
8.2.5 Kebutuhan proses.....	97
8.2.6 Operasi	97
8.2.7 Perawatan.....	97
8.2.8 Keamanan	97
8.2.9 Lalu lintas manusia	97
8.2.10 Perluasan dan pengembangan pabrik.....	98
BAB IX ANALISA EKONOMI	100
9.1. Taksiran Harga Peralatan.....	100
9.2. Dasar Perhitungan.....	101
9.3. Penentuan <i>Total Capital Investment</i> (TCI).....	101
9.4. Hasil Perhitungan.....	102
9.4.1. <i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	102
9.4.2. <i>Working Capital Invesmet</i> (WCI).....	103
9.4.3. <i>Total Capital Invesment</i> (TCI).....	103
9.4.5. <i>Indirect Manufacturing Cost</i> (IMC)	104
9.4.6. <i>Fixed Manufacturing Cost</i> (FMC).....	104

9.4.7. <i>Total Manufacturing Cost (TMC)</i>	104
9.4.8. <i>General Expense (GE)</i>	105
9.4.9. <i>Total Production Cost (TPC)</i>	105
9.4.10. Perhitungan Keuntungan Produksi	105
9.5. Analisa Kelayakan	106
9.5.1. <i>Percent Return On Investment (% ROI)</i>	106
9.5.2. <i>Pay Out Time (POT)</i>	106
9.5.3. <i>Break Even Point (BEP)</i>	106
9.5.4. <i>Shutdown Point (SDP)</i>	108
9.5.5. <i>Discounted Cash Flow (DCF)</i>	108
BAB X PEMBAHASAN DAN KESIMPULAN	110
10.1 Pembahasan	110
10.2 Kesimpulan	110
DAFTAR PUSTAKA.....	112
LAMPIRAN A	114
1. NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	114
1. `Spesifikasi Bahan Baku.....	114
2. Spesifikasi Produk	114
3. Kapasitas Produksi.....	114
2. NERACA MASSA.....	114
3. NERACA PANAS	124
LAMPIRAN B SPESIFIKASI ALAT	135
B. Spesifikasi Alat Pendukung	165

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Impor Tahun 2018 – 2022.....	2
Tabel 1. 2 Pabrik Etil Akrilat yang telah memproduksi di Dunia	3
Tabel 1. 3 Pemilihan Proses Produksi Etil Akrilat	9
Tabel 1. 4 Nilai ΔH°_f komponen pada Suhu 25°C.....	12
Tabel 1. 5 Data C_p Komponen bahan baku dan produk.....	13
Tabel 1. 6 Data ΔG°_r Komponen	13
Tabel 4. 1 Neraca Massa Mixer -101	24
Tabel 4. 2 Neraca Massa Mixer -102	24
Tabel 4. 3 Neraca Massa Mixer -103	25
Tabel 4. 4 Neraca Massa Reaktor -101.....	25
Tabel 4. 5 Neraca Massa Neutralizer - 101	25
Tabel 4. 6 Neraca Massa Decanter -101.....	26
Tabel 4. 7 Neraca Massa Destilasi -101	26
Tabel 4. 8 Neraca Panas Heat Exchanger -101	26
Tabel 4. 9 Neraca Panas Heat Exchanger -102	27
Tabel 4. 10 Neraca Panas Reaktor - 101	27
Tabel 4. 11 Neraca Panas Cooler - 101	27
Tabel 4. 12 Neraca Panas Neutralizer - 101	28
Tabel 4. 13 Neraca Panas Heater Exchanger - 103	28
Tabel 4. 14 Neraca Panas Menara Destilasi - 101	28
Tabel 4. 15 Neraca Panas Kondensor - 102.....	29
Tabel 4. 16 Neraca Panas Cooler - 103	29
Tabel 5. 1 Spesifikasi Alat Proses Mixer - 101	30
Tabel 5. 2 Spesifikasi Alat Proses Mixer - 102	30
Tabel 5. 3 Spesifikasi Alat Proses Mixer - 103	31
Tabel 5. 4 Spesifikasi Alat Proses Reaktor - 101	31
Tabel 5. 5 Spesifikasi Alat Proses Neutralizer - 101	32
Tabel 5. 6 Spesifikasi Alat Proses Decanter - 101	32
Tabel 5. 7 Spesifikasi Alat Proses Destilasi - 101	33
Tabel 5. 8 Spesifikasi Alat Pendukung Tangki Penyimpanan Etanol - 101	34
Tabel 5. 9 Spesifikasi Alat Pendukung Tangki Penyimpanan Asam Akrilat - 102	35
Tabel 5. 10 Spesifikasi Alat Pendukung Tangki Penyimpanan Asam Sulfat - 103	36

Tabel 5. 11 Spesifikasi Alat Pendukung Tangki Penyimpanan NaOH - 104	37
Tabel 5. 12 Spesifikasi Alat Pendukung Tangki Penyimpanan Etil Akrilat - 105	38
Tabel 5. 13 Spesifikasi Alat Pendukung Pompa 101 - 114	39
Tabel 5. 14 Spesifikasi Alat Pendukung Heater - 101	42
Tabel 5. 15 Spesifikasi Alat Pendukung Heater - 102	43
Tabel 5. 16 Spesifikasi Alat Pendukung Heater - 103	44
Tabel 5. 17 Spesifikasi Alat Pendukung Cooler - 101	45
Tabel 5. 18 Spesifikasi Alat Pendukung Cooler – 102	46
Tabel 5. 19 Spesifikasi Alat Pendukung Kondensor - 103	47
Tabel 6. 1 Air Kebutuhan Proses	48
Tabel 6. 2 kebutuhan air pendingin	48
Tabel 6. 3 Air Kebutuhan Steam	49
Tabel 6. 4 Kebutuhan Air Domestik	49
Tabel 6. 5 Kebutuhan Listrik Alat Proses	51
Tabel 6. 6 Kebutuhan Listrik Utilitas	52
Tabel 6. 7 Kebutuhan Listrik Total	53
Tabel 6. 8 Spesifikasi Alat Utilitas Screening - 101	54
Tabel 6. 9 Spesifikasi Alat Utilitas Bak Pengendapan Awal -101	54
Tabel 6. 10 Spesifikasi Alat Utilitas Bak Pengumpalan -102	55
Tabel 6. 11 Spesifikasi Alat Utilitas Tangki Larutan Alum - 101	55
Tabel 6. 12 Spesifikasi Alat Utilitas Bak Pengendapan I - 103	56
Tabel 6. 13 Spesifikasi Alat Utilitas Sand Filter -101	56
Tabel 6. 14 Spesifikasi Alat Utilitas Bak Penampungan Sementara - 104	57
Tabel 6. 15 Spesifikasi Alat Utilitas Tangki Klorinasi - 102	57
Tabel 6. 16 Spesifikasi Alat Utilitas Tangki Kaporit - 103	58
Tabel 6. 17 Spesifikasi Alat Utilitas Tangki Air Bersih - 104	58
Tabel 6. 18 Spesifikasi Alat Utilitas Bak Air Pendingin - 05	59
Tabel 6. 19 Spesifikasi Alat Utilitas Cooling Tower - 101	59
Tabel 6. 20 Spesifikasi Alat Utilitas Blower Cooling Tower - 101	60
Tabel 6. 21 Spesifikasi Alat Utilitas Tangki H ₂ SO ₄ - 05	60
Tabel 6. 22 Spesifikasi Alat Utilitas Tangki Kation Exchanger - 101	60
Tabel 6. 23 Spesifikasi Alat Utilitas Tangki NaOH - 06	61
Tabel 6. 24 Spesifikasi Alat Utilitas Tangki Anion Exchanger - 101	61
Tabel 6. 25 Spesifikasi Alat Utilitas Tangki Demin - 07	61

Tabel 6. 26 Spesifikasi Alat Utilitas Dearator - 101.....	62
Tabel 6. 27 Spesifikasi Alat Utilitas Tangki N ₂ H ₄ - 108	62
Tabel 6. 28 Spesifikasi Alat Utilitas Pompa Utilitas 101 - 119.....	63
Tabel 6. 29 Keterangan Diagram Utilitas.....	73
Tabel 8. 1 Jam Kerja Non Shift	86
Tabel 8. 2 Jadwal Regu Produksi	87
Tabel 8. 3 Data Jabatan dan Prasyarat Karyawan	88
Tabel 8. 4 Jumlah Total Karyawan.....	90
Tabel 8. 5 Data Penggolongan Gaji Karyawan	91
Tabel 8. 6 Luas Bangunan Pabrik Etil Akrilat.....	95
Tabel 9. 1 Indeks Harga Alat.....	100
Tabel 9. 2 Fixed Capital Investment.....	102
Tabel 9. 3 Working Capital Invesment.....	103
Tabel 9. 4 Direct Manufacturing Cost	103
Tabel 9. 5 Indirect Manufacturing Cost.....	104
Tabel 9. 6 Fixed Manufacturing Cost.....	104
Tabel 9. 7 Total Manufacturing Cost.....	104
Tabel 9. 8 General Expense.....	105
Tabel 9. 9 Total Production Cost.....	105
Tabel 9. 10 Total Penjualan.....	105
Tabel 9. 11 Fixed Expenses.....	107
Tabel 9. 12 Variable Cost.....	107
Tabel 9. 13 Regulated Cost.....	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Data Impor Etil Akrilat di Indonesia.....	2
Gambar 1. 2 Lokasi Pembangunan Pabrik Etil Akrilat dengan Kapasitas 25.000 Ton/Tahun.....	4
Gambar 3. 1 Diagram Kualitatif	21
Gambar 3. 2 Diagram Kuantitatif	22
Gambar 3. 3 Diagram Proses Pabrik Etil Akrilat	23
Gambar 6. 1 Proses Utilitas	72
Gambar 8. 1 Struktur Organisasi	79
Gambar 8. 2 Tata Letak Pabrik.....	96
Gambar 8. 3 Tata Letak Peralatan Proses.....	99
Gambar 9. 1 Grafik Plant Cost Index	101
Gambar 9. 2 Grafik Analisa Kelayakan.....	109

INTISARI

Pembuatan Etil akrilat secara kontinyu dengan pertimbangan untuk proses skala besar. Pabrik Etil Akrilat direncanakan didirikan pada tahun 2028 di Kawasan Industri Kendal, Jawa Tengah. Lokasi pabrik ini strategis karena terletak ditengah – tengah PT. Nippon Shokubai Indonesia (NSI) yang memproduksi Asam Akrilat dan PT. Molindo Raya Industrial yang memproduksi etanol, dua pabrik tersebut merupakan pabrik bahan baku pembuatan Etil Akrilat Selain itu, di wilayah Jawa Tengah terdapat banyak pabrik tekstil yang membutuhkan etil akrilat sebagai bahan baku dalam pembuatan tekstil. Pabrik Etil Akrilat ini memiliki kapasitas produksi sebesar 25.000 ton per tahun, yang selain untuk memenuhi kebutuhan domestik, juga akan diekspor ke luar negeri.

Proses pembuatan Etil Akrilat dilakukan pada fase cair menggunakan reaktor STR (*Stirred Tank Reactor*)/ reaktor *batch* dengan kondisi operasi pada tekanan 1 atm dan suhu 90°C. Bahan baku yang digunakan meliputi Asam Akrilat dengan kemurnian 99,5% sebanyak 20.482.490 kg/tahun dan Etanol dengan kemurnian 96,5% sebanyak 19.655.345 kg/tahun. Sebagai katalis, digunakan Asam Sulfat dengan konsentrasi 5%.

Berdasarkan analisis ekonomi yang dilakukan, pabrik ini memiliki modal tetap (FCI) sebesar Rp 776.205.387.617 dan modal kerja Rp 38.785.054.336. Keuntungan sebelum pajak mencapai Rp 407.868.442.624 per tahun, dan setelah dikenakan pajak 25 %, keuntungan bersih menjadi Rp 305.901.331.968 per tahun. Nilai Return On Investment (ROI) adalah 39,41 %, dengan Pay Out Time (POT) selama 2,54 tahun. Break Even Point (BEP) tercatat sebesar 40,58 %, dan Shut Down Point (SDP) sebesar 22,49 %. Berdasarkan data analisis kelayakan ini, dapat disimpulkan bahwa pabrik ini menguntungkan dan layak untuk didirikan.

Kata kunci : Etil Akrilat, *Stirred Tank Reactor*, Kendal

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Sebagai negara yang sedang berkembang, Indonesia tengah mengalami kemajuan dalam berbagai sektor, termasuk industri kimia. Hal ini didorong oleh permintaan yang mengalami peningkatan signifikan di pasar dalam negeri maupun luar negeri. Saat ini, sebagian besar bahan kimia diimpor dari negara lain, khususnya produk setengah jadi (*intermediate*) yang bisa digunakan sebagai komponen utama dalam proses pembuatan produk yang memiliki kegunaan yang lebih besar dan juga penggunaan yang lebih luas.

Salah satu jenis produk setengah jadi (*intermediate*) yang dibutuhkan adalah ester akrilat, contohnya etil akrilat. Etil akrilat dengan rumus kimia $\text{CH}_2\text{CHCOOC}_2\text{H}_5$ merupakan senyawa organik yang memiliki dua ikatan antar atom yang berperan sebagai komonomer (*acrylonitrile*) dalam proses pembentukan *modacrylic fibers* dan *acrylic*. Etil Akrilat, sebagai salah satu jenis ester akrilat, turut berperan dalam mengisi pasar bahan kimia. Peminatan etil akrilat terus meningkat dari waktu ke waktu seiring dengan bertambahnya penggunaan produk ini. Etil Akrilat menjadi bahan dasar dalam pembuatan polimer emulsi serta larutan. Polimer emulsi dari akrilat banyak dimanfaatkan dalam berbagai industri seperti cat, tekstil, perekat, kertas, rantai pengkilap, kulit, keramik, dan sebagai kopolimer untuk serat *acrylic fiber*. Sementara itu, polimer larutan dari akrilat yang dimanfaatkan di sektor industri pelapis.

Tingkat konsumsi etil akrilat mengalami peningkatan tahunan yang konsisten, baik di pasar domestik bahkan hingga internasional, sejalan dengan berkembangnya ekonomi saat ini. Hal ini membuka peluang untuk mendirikan pabrik etil akrilat guna memenuhi permintaan di pasar dalam negeri dan juga untuk diekspor ke mancanegara. Bahan baku utama untuk pembuatan Etil Akrilat yaitu asam akrilat diperoleh dari PT Nippon Shokubai Indonesia (NSI) dan etanol yang didapatkan dari PT. Malindo Raya Industrial (MRI). Dikarenakan ketersediaan bahan baku untuk

memproduksi etil akrilat tersedia di dalam negeri. Sehingga hal ini tidak menjadi kendala apabila akan merencanakan untuk mendirikan pabrik etil akrilat, yang berlokasi di Indonesia khususnya di Kendal, Jawa Tengah dengan kapasitas 25.000 ton per tahun. Karena permintaan akan etil akrilat di Indonesia sangat tinggi dan prospek di masa yang akan mendatang sangat baik.

1.2 Kapasitas Rancangan

Dalam penentuan kapasitas rancangan pabrik etil akrilat yang akan beroperasi pada tahun 2028, maka diperlukan beberapa hal yang diperhatikan, sebagai berikut :

1.2.1 Data Impor dan Ekspor Etil Akrilat di Indonesia

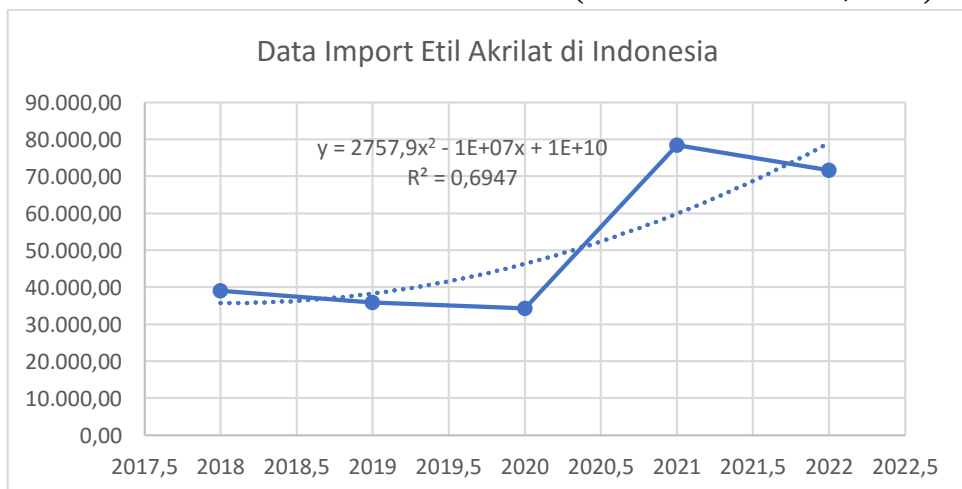
a. Kebutuhan Etil Akrilat di Indonesia

Data impor etil akrilat berdasarkan data Biro Pusat Statistik (BPS) dari tahun 2018 – 2022 adalah antara lain :

Tabel 1. 1 Data Impor Tahun 2018 – 2022

Tahun	Jumlah (Ton)
2018	38.995,171
2019	35.813,947
2020	34.257,462
2021	78.469,952
2022	71.709,238

(Biro Pusat Statistik, 2024)



Gambar 1. 1 Grafik Data Impor Etil Akrilat di Indonesia

Data hasil regresi linier pada tahun 2018 – 2022 dapat diperkirakan kebutuhan etil akrilat pada tahun 2028 yang akan mendatang, sebagai berikut :

$$y = 2757,9x^2 - 1E+07x + 1E+10$$

$$y = 2757,9(2028)^2 - 1E+07(2028) + 1E+10$$

$$y = 10.809 \text{ ton}$$

1.2.2 Ketersediaan Bahan Baku

Asam akrilat sebagai bahan utama dalam pembuatan etil akrilat bersumber pada PT. Nippon Shokubai Indonesia (NSI) yang berlokasi di Cilegon, Jawa Barat, dengan kapasitas produksi mencapai 240.000 ton per tahun. Sementara itu, etanol didapatkan dari PT. Molindo Raya Industrial di Malang, Jawa Timur, pabrik yang beroperasi di Jawa Timur ini memiliki kapasitas produksi tahunan sebesar 80.000 ton. Asam sulfat, yang digunakan dalam proses produksi, dipasok oleh PT. Petrokimia Gresik yang berlokasi di Jawa Timur dan memiliki kapasitas produksi mencapai 1.170.000 ton per tahun, dan natrium hidroksida (NaOH) bersumber dari PT. Asahimas *Chemical* yang memiliki kapasitas produksi sebesar 700.000 ton per tahun. Dengan ketersediaan bahan baku dari pemasok dalam negeri yang memadai maka untuk memperoleh bahan baku tidak menjadi kendala dalam proses produksi.

1.2.3 Kapasitas Pabrik yang Telah Berproduksi

Sebagai bahan perbandingan, kapasitas produksi sejumlah pabrik yang telah beroperasi secara global (Toagosei, 2022), seperti yang tertera dalam Tabel 1.3 :

Tabel 1. 2 Pabrik Etil Akrilat yang telah berproduksi di Dunia

Pabrik	Kapasitas (Ton/Tahun)
PT. Nippon Shokubai Indonesia (NSI)	30.000 Ton/Tahun
PT. Chandra Asri Petrochemical Centre, CAPC	20.000 Ton/Tahun
Toa Gosei Ltd (Japan)	20.000 Ton/Tahun
Rahm and Hass (Amerika)	50.000 Ton/Tahun
Singapore Acrylic Ester Pte.Ltd	82.000 Ton/Tahun

(sumber: www.icis.com)

Berdasarkan data yang telah diperoleh, saat ini Indonesia memiliki dua fasilitas produksi etil akrilat, yakni PT. Nippon Shokubai Indonesia (NSI) dengan jumlah produksi sebesar 30.000 ton per tahun dan PT. Chandra Asri *Petrochemical Centre* (CAPC) dengan kapasitas 20.000 ton per tahun. Berdasarkan kebutuhan pasar serta kapasitas produksi yang tersedia, direncanakan pembangunan pabrik baru dengan kapasitas 25.00 ton per tahun.

Pertimbangan utama pembangunan ini meliputi :

- Memenuhi permintaan dalam negeri yang terus meningkat.
- Membuka peluang ekspor untuk menunjang kebutuhan pasar internasional.

1.3 Pemilihan Lokasi

Secara strategis, pemilihan lokasi untuk pendirian pabrik memegang peranan penting dalam mendukung kemajuan dan keberlanjutan suatu bidang usaha baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Lokasi pemilihan pabrik yang tepat, efisiensi, dan menguntungkan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Beberapa pertimbangan utama dalam pemilihan lokasi meliputi kedekatan dengan sumber bahan baku, akses transportasi, potensi pasar, ketersediaan tenaga kerja, serta kondisi sosial dan budaya masyarakat setempat. Berdasarkan faktor – faktor tersebut, lokasi pendirian pabrik Etil Akrilat akan didirikan di kawasan industri Kendal, Jawa Tengah. Peta lokasi dapat dilihat pada gambar 1.3 :



Gambar 1. 2 Lokasi Pembangunan Pabrik Etil Akrilat dengan
Kapasitas 25.000 Ton/Tahun

1.3.1 Faktor Primer

Faktor ini secara tidak langsung memengaruhi tujuan utama perancangan pabrik, yaitu memastikan kelancaran produksi dan distribusi produk sesuai jenis dan kualitasnya. Berberapa faktor utama yang menentukan pendirian pabrik meliputi kedekatan dengan bahan baku, akses transportasi, ketersediaan tenaga kerja, kedekatan dengan pasar, serta kondisi sosial dan budaya masyarakat sekitar. Analisis terhadap faktor – faktor ini penting untuk mendukung efisiensi dan keberlanjutan operasional pabrik. (Bernosconi,1995)

a. Letak pasar

Pabrik yang berlokasi dekat dengan pasar memiliki keunggulan dalam memberikan pelayanan yang lebih cepat kepada konsumen, sehingga dapat mengurangi biaya, terutama dalam hal transportasi. Daerah Semarang dianggap sebagai lokasi strategis untuk pendirian pabrik karena dekat dengan sumber bahan baku dan dikenal sebagai kawasan industri, sehingga memudahkan dalam proses pemasaran.

b. Letak sumber bahan baku

Keberadaan sumber bahan baku yang dekat dengan lokasi pabrik dapat memastikan ketersediaan bahan baku dengan lebih baik, bahkan dapat mengurangi kemungkinan keterlambatan dalam penyediaan bahan baku, terutama yang bersifat kritis.

c. Fasilitas transportasi

Pertimbangan-pertimbangan terkait transportasi bahan baku dan produk menggunakan jalur darat dan laut menjadi lebih menguntungkan dengan adanya infrastruktur jalan tol dan jalan raya yang baik di Semarang. Oleh karena itu, pemilihan lokasi di Semarang dianggap sangat tepat.

d. Tenaga kerja

Ketersediaan tenaga kerja atau karyawan yang memadai, dapat memenuhi kebutuhan pabrik.

e. Utilitas

Ketersediaan fasilitas pendukung seperti air dan listrik untuk keperluan proses industri sangat penting. Pasokan air dapat dipenuhi melalui Sungai Kendal, sementara pasokan listrik dapat diperoleh dari PLN dan generator sebagai cadangan jika terjadi gangguan pada pasokan listrik dari PLN.

1.3.2 Faktor Sekunder

Faktor – faktor sekunder antara lain adalah berikut :

a. Harga tanah dan gedung

Keunggulan harga tanah dan bangunan yang terjangkau menjadi daya tarik tersendiri. Hal ini perlu dipertimbangkan dalam konteks rencana jangka panjang. Jika harga tanah tinggi, mungkin hanya tersedia lahan yang terbatas, sehingga alternatif pembangunan gedung lebih mahal harus dipertimbangkan.

b. Kemungkinan perluasan

Perlu dipertimbangkan apakah ekspansi di masa depan dapat dilakukan di lokasi yang sama atau memerlukan lokasi lain, serta apakah daerah sekitarnya sudah memiliki banyak pabrik lain. Ini menjadi sebuah pertimbangan ketika akan perluasan pabrik di masa depan.

c. Fasilitas servis

Untuk pabrik dengan ukuran relatif kecil dan tanpa bengkel internal, penting untuk memeriksa ketersediaan bengkel di sekitar area pabrik yang dapat digunakan untuk perbaikan peralatan. Selain itu, ketersediaan fasilitas layanan masyarakat, seperti rumah sakit, tempat olahraga, dan fasilitas umum lainnya, juga perlu untuk dipertimbangkan. Pabrik yang lebih besar mungkin memiliki beberapa fasilitas tersebut di dalam pabrik, meskipun sifatnya sebagai tambahan. Fasilitas tambahan ini memberikan manfaat lebih, baik sebagai faktor yang menarik bagi tenaga kerja maupun untuk mendukung kesejahteraan jasmani dan rohani mereka, yang akan meningkatkan efisiensi kerja.

d. Fasilitas finansial

Fasilitas finansial berperan dalam mendorong perkembangan perusahaan, seperti pasar modal, bursa, lembaga perbankan, sumber-sumber modal, koperasi simpan pinjam, dan institusi keuangan lainnya. Keberadaan fasilitas ini akan memberikan kontribusi besar dalam memudahkan kesuksesan pengembangan pabrik.

e. Peraturan daerah setempat

Regulasi daerah setempat perlu untuk ditinjau terlebih dahulu sebelum proses lebih lanjut dilakukan, karena kemungkinan adanya ketentuan atau persyaratan yang berbeda dibandingkan dengan wilayah lain.

f. Masyarakat daerah

Tanggapan masyarakat setempat terhadap rencana konstruksi pabrik perlu diperhatikan secara seksama, karena hal tersebut akan memengaruhi kelangsungan dan perkembangan pabrik di masa depan. Menjaga keselamatan dan keamanan masyarakat juga menjadi aspek penting sebagai bentuk kontribusi terhadap kesejahteraan mereka.

g. Keadaan tanah

Penting untuk memahami karakteristik fisik tanah dan kondisi mekaniknya sebelum membangun pabrik. Ini berkaitan dengan perencanaan pondasi untuk mesin-mesin, bangunan gedung, dan struktur pabrik.

h. Persediaan air yang cukup

Persediaan air yang cukup juga sangat penting untuk dipelajari dengan baik karena menjadi salah satu aspek terpenting pada saat proses produksi apabila akan mendirikan sebuah pabrik.

i. Iklim

Pendirian pabrik sangat dipengaruhi oleh faktor iklim karena iklim dapat memengaruhi berbagai aspek dalam operasi pabrik, termasuk produksi, infrastruktur, dan lingkungan kerja. Iklim dapat mempengaruhi pendirian

pabrik seperti suhu dan kelembaban, curah hujan, dan ketersediaan sumber daya alam.

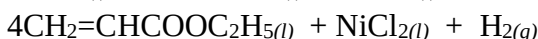
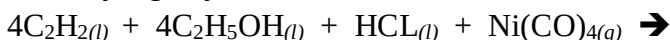
1.4 Pemilihan Proses

Ada beberapa proses dalam pembuatan etil akrilat, sebagai berikut :

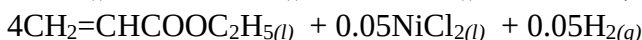
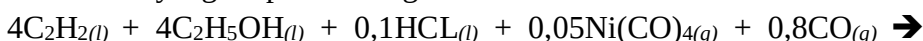
1. Proses Pembuatan Ester Akrilat dari *Acetylene*

Proses ini memanfaatkan asetilen sebagai bahan baku utama yang direaksikan dengan alkohol dalam kondisi asam, dengan bantuan katalis nikel karbonil. Reaksi tersebut berlangsung pada suhu 40°C dan pada tekanan 1 atm. (Hahn dan Neier, 1998).

Reaksi yang terjadi :



Proses ini selanjutnya dikembangkan untuk menurunkan kadar nikel, sehingga diperlukan penambahan karbon monoksida yang berperan sebagai semikatalis :

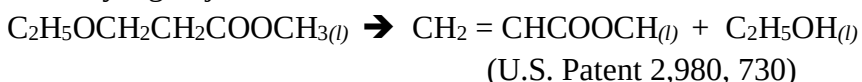


Pada tahap awal, reaksi berlangsung dengan mekanisme yang serupa, namun peran katalis menjadi lebih dominan. Akibatnya, pada akhir proses, karbon monoksida, asetilena, dan alkohol mengalami reaksi esterifikasi membentuk ester akrilat dengan bantuan katalis. Nikel karbonil yang terbentuk selama proses ini dapat didaur ulang melalui proses pemurnian nikel. Namun demikian, nikel karbonil bersifat korosif, mudah menguap, dan sangat beracun, sehingga penanganannya menimbulkan resiko tinggi bagi kesehatan pekerja. Oleh karena itu, dalam praktiknya, nikel karbonil sering langsung dibakar melalui *flare* sebagai langkah pengamanan. (Othmer Kirk, 1992).

2. Proses *ethyl 3-ethoxypropionate*

Pada proses ini, bahan baku *ethyl 3-ethoxypropionate* diproses pada suhu antara 100°C hingga 200°C dan tekanan atmosfer, dengan menggunakan katalis merkuri (II). Jenis reaktor yang digunakan adalah jenis reaktor ketel berjaket (*jacketed kettle*).

Reaksi yang terjadi :

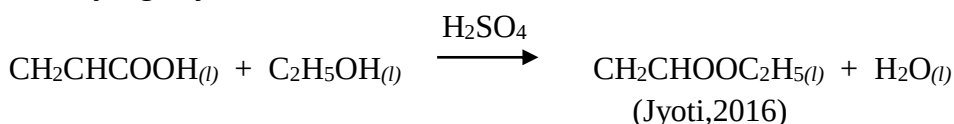


Meskipun mampu menghasilkan etil akrilat dalam kadar tinggi sekitar 95-97%, proses ini memiliki sifat korosif yang signifikan, sehingga memerlukan penanganan korosi yang mahal. Ditambah lagi, biaya katalis yang tinggi dan potensi produksi zat beracun membuat proses ini dihentikan (Othmer Kirk, 1998).

3. Proses esterifikasi

Dalam proses ini, asam akrilat bereaksi dengan etanol dengan bantuan asam sulfat sebagai katalis untuk menghasilkan etil akrilat melalui reaksi esterifikasi. Reaksi berlangsung pada suhu antara 85°C hingga 105°C dan tekanan atmosfer 1 atm. Perbandingan molar antara asam akrilat dan etanol berada dalam kisaran 1:1,1 hingga 1:1,5 sedangkan asam sulfat digunakan sebesar 4-8% dari total massa umpan. Reaksi dilakukan dalam reaktor tangki berpengaduk (CSTR), dengan hasil produk etil akrilat mencapai yield sekitar 90%. Produk dari reaktor kemudian dimurnikan lebih lanjut melalui kolom distilasi. (Lee, 2005).

Reaksi yang terjadi :



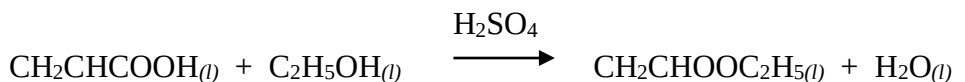
Tabel 1. 3 Pemilihan Proses Produksi Etil Akrilat

Parameter	Proses Asetilen	Proses ethyl 3-ethoxypropionate	Esterifikasi
Fase	Gas – cair	Gas – gas	Cair – cair
Bahan Baku	Asetilen, alkohol, asam klorida dan nikel karbonil	Ethyl 3-ethoxypropionate	Asam akrilat dan etanol
Kondisi operasi	P = 1 atm T = 40°C	P = 1 atm T = 100°C - 200°C	P = 1 atm T = 90°C
Katalis	-	Mercury (II)	Asam Sulfat
Yield	-	95 – 97%	90 %

Metode yang dipilih untuk menghasilkan etil akrilat adalah proses esterifikasi antara asam akrilat dan etanol. Keputusan ini diambil karena proses tersebut tergolong sederhana, membutuhkan sedikit peralatan produksi sehingga lebih ekonomis, menggunakan bahan baku yang lebih murah, menghasilkan sedikit produk samping seperti air, dan mencapai konversi etil akrilat yang tinggi.

1.4.1 Persamaan Reaksi

Proses pembentukan etil akrilat melibatkan reaksi antara asam akrilat dan etanol dengan katalis asam sulfat, menghasilkan air sebagai produk samping. reaksinya adalah sebagai berikut:



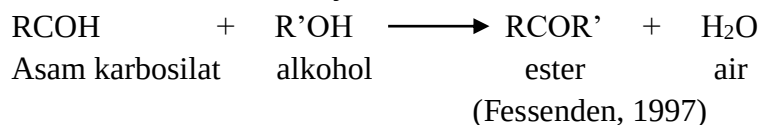
1.4.2 Kondisi operasi

Proses ini melibatkan reaksi antara asam akrilat dan etanol dengan menggunakan katalis asam sulfat untuk menghasilkan etil akrilat. Reaksi berlangsung dalam fase cair – cair pada suhu 90°C dan tekanan atmosferik 1 atm, dengan perbandingan molar asam akrilat terhadap etanol sebesar 1:1,2. Proses dilakukan di dalam reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB), dengan konversi produk mencapai sekitar 90% terhadap asam akrilat.

(United States Patent 0107629, 2005)

1.4.3 Mekanisme reaksi

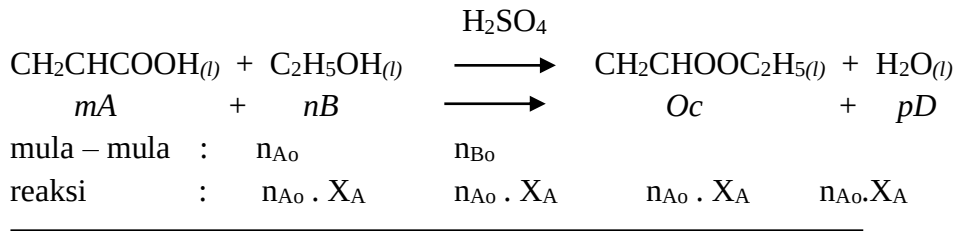
Proses pembuatan etil akrilat melalui proses esterifikasi dilakukan dalam reaktor alir tangki berpengaduk (RATB), di mana asam akrilat dan etanol dimasukkan bersama ke dalam reaktor. Di dalam reaktor, reaksi berikut terjadi:



1.4.4 Tinjauan kinetika

Pada proses esterifikasi asam akrilat dan etanol yang menjadi etil akrilat dan air terjadi pada fase cair dengan

bantuan menggunakan katalis asam sulfat, reaksi yang terjadi :



sisanya : $n_{A0}(1-X_A)$ $n_{B0} - (n_{A0} \cdot X_A)$ $n_{A0} \cdot X_A$ $n_{A0}(1-X_A)$

Tingkat reaksi/orde reaksi merupakan jumlah pangkat faktor konsentrasi di dalam persamaan kecepatan reaksi :

$$r_A = k [A]^m [B]^n$$

Tingkat reaksi/orde reaksi = 1 + 1 = 2

Maka reaksi tersebut merupakan reaksi orde 2

Kecepatan reaksi dapat diungkapkan melalui suatu persamaan :

$$(-r_A) = k(C_A)(C_B)$$

Dengan

$$C_A = C_{A0}(1 - X_A)$$

$$C_B = C_{B0} - C_{A0} \cdot X_A$$

Jadi kecepatan reaksi menjadi :

$$\begin{aligned}
 -r_A &= k C_A C_B \\
 &= k C_{A0}(1 - X_A) \cdot C_{B0} - C_{A0} \cdot X_A
 \end{aligned}$$

Dengan :

$$b = \frac{C_{B0}}{C_{A0}}$$

C_{A0} = Konsentrasi A mula – mula

C_{B0} = Konsentrasi B mula – mula

K = Konstanta kecepatan reaksi

X_A = Konversi

r_A = Kecepatan reaksi

suhu tergantung dari tingkat reaksi spesifikasi $k_{(T)}$ berdasarkan hukum Arrhenius :

$$k_{(T)} = k_0 e^{E/RT}$$

Dimana :

k_0 = Konstanta disebut sebagai *preexponential factor*

E = Energi aktivasi (kcal/mol, kJ/kmol, or Btu/lb . mol)

R = Konstanta gas ideal

T = Suhu (K atau R)

(Luyben,2007)

$$k_1 = 1983244546 \exp \left(\frac{-58040,86}{RT} \right)$$

$$k_1 = 1983244546 \exp \left(\frac{-58040,86}{8,314 \frac{J}{mol \cdot K} \times 363 K} \right)$$

$$= 3,197 (m^2)^3/kmol^2 \cdot menit$$

$$k_{-1} = 143.065 \exp \left(\frac{-9057,272}{RT} \right)$$

$$k_{-1} = 0,1734$$

$$K_{eq} (70 - 90^\circ C) = 18,441$$

$$-r_A = k_1 \cdot C_c \left(C_A \cdot C_B - \frac{C_E \cdot C_W}{K_{eq}} \right)$$

$$-r_A = 3,197 \times 0,518 \left(2,8457 \times 6,9761 - \frac{15,3742 \cdot 9,8461}{18,441} \right)$$

$$-r_A = 19,2817 \text{ mol/L} \cdot \text{min}$$

k_1 = Konstanta laju reaksi

C_c = Konsentrasi katalis

C_A = Konsentrasi Asam Akrilat

C_B = Konsentrasi Etanol

C_E = Konsentrasi Etil Akrilat

C_W = Konsentrasi Air

K_{eq} = Konstanta Kesetimbangan

(Jyoti,2016)

1.4.5 Tinjauan termodinamika

Tinjauan termodinamika bertujuan untuk menentukan karakteristik reaksi (apakah eksotermis atau endotermis) dan arah reaksi (apakah *reversible* atau *irreversible*). Dalam konteks pembentukan etil akrilat, aspek termodinamika dapat diamati dari nilai entalpi dan konstanta kesetimbangan.

Nilai ΔH°_f untuk setiap komponen pada suhu 25°C (298K) tercantum dalam tabel berikut :

Tabel 1. 4 Nilai ΔH°_f komponen pada Suhu 25°C

Komponen	ΔH°_f (kjoule/mol)
Asam akrilat ($C_3H_4O_2$)	-336,23
Etanol (C_2H_5OH)	-234,81
Etil akrilat ($C_5H_8O_2$)	-349,53
Air (H_2O)	-241,80

(Yaws, 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{r_{298}} &= \sum \Delta H_{produk} - \Delta H_{reaktan} \\
 &= (\Delta H^{\circ}_f C_5H_8O_2 + \Delta H^{\circ}_f H_2O) - (\Delta H^{\circ}_f C_3H_4O_2 + \Delta H^{\circ}_f C_2H_5OH) \\
 &= ((-349,53) + (-241,80)) - ((-336,23) + (-234,81)) \\
 &= -20,29 \text{ kJoule/mol}
 \end{aligned}$$

Menghitung ΔH_r pada suhu reaksi = 90°C (363K),
tabel data Cp komponen bahan baku dan produk
tercantum dalam tabel berikut :

Tabel 1. 5 Data Cp Komponen bahan baku dan produk

Komponen	Cp (joule/mol.K)
Asam akrilat (C ₃ H ₄ O ₂)	160,85
Etanol (C ₂ H ₅ OH)	117,25
Etil akrilat (C ₅ H ₈ O ₂)	202,80
Air (H ₂ O)	75,35

(Yaws, 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{reaktan_{363}} &= \sum Cp \cdot \Delta T \\
 &= (160,85 \times (363 - 298)) + (117,25 \times (363 - 298)) \\
 &= 18076,5 \text{ joule/mol} \\
 &= 18,0765 \text{ kJoule/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{produk_{363}} &= \sum Cp \cdot \Delta T \\
 &= (202,80 \times (363 - 298)) + (75,32 \times (363 - 298)) \\
 &= 18077,8 \text{ joule/mol} \\
 &= 18,0778 \text{ kJoule/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{r_{363}} &= \Delta H_{produk_{363}} + \Delta H_{r_{298}} - \Delta H_{reaktan_{363}} \\
 &= 18,0778 + (-20,29) - 18,0765 \\
 &= -20,2887 \text{ kJoule/mol}
 \end{aligned}$$

Dari nilai $\Delta H_{r_{363}}$ pada reaksi reaktor bernilai
negatif, maka reaksi bersifat ekosotermis (melepas
panas).

Nilai ΔG°_r untuk setiap komponen pada suhu 25°C
(298K) tercantum dalam tabel berikut :

Tabel 1. 6 Data ΔG°_r Komponen

Komponen	ΔG°_f (kJoule/mol)
Asam akrilat (C ₃ H ₄ O ₂)	-286,060
Etanol (C ₂ H ₅ OH)	-168,280
Etil akrilat (C ₅ H ₈ O ₂)	-245,450
Air (H ₂ O)	-228,642

(Yaws, 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta G_r &= \sum \Delta G_{produk} - \sum \Delta G_{reaktan} \\
 &= (\Delta G^\circ_f C_5H_8O_2 + \Delta G^\circ_f H_2O) - (\Delta G^\circ_f C_3H_4O_2 + \Delta G^\circ_f C_2H_5OH) \\
 &= ((-245,450 + (-228,642)) - ((-286,060 + (-168,280))) \\
 &= -19,752 \text{ kJoule/mol}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai ΔH_{r363} , dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan etil akrilat bersifat eksotermis (melepaskan panas), dan reaksi ini dapat terjadi karena memiliki nilai $\Delta G_r < 0$.

Dari perhitungan – perhitungan di atas di dapatkan :

Di reaktor :

$$\Delta H_{r298} \text{ (Enthalpi reaktan)} = -20,29 \text{ kJoule/mol}$$

$$\Delta H_{r363} \text{ (Enthalpi reaktan)} = -20,2887 \text{ kJoule/mol}$$

$$\Delta G_r \text{ (Energi bebas)} = -19,752 \text{ kJoule/mol}$$

Menghitung nilai konstanta kesetimbangan pada suhu 25°C (298K)

$$\begin{aligned}
 \Delta G &= -RT \ln K_{298k} \\
 \ln K_{298k} &= \frac{\Delta G}{-RT} \\
 \ln K_{298k} &= \frac{-20,29 \frac{\text{joule}}{\text{mol}}}{-8,314 \frac{\text{joule}}{\text{mol}} \cdot K \times 298 K} \\
 \ln K_{298k} &= 8,1895 \\
 K_{298k} &= 3602,920
 \end{aligned}$$

Menghitung nilai konstanta kesetimbangan pada suhu 90°C (363 K)

$$\frac{d \left(\frac{\Delta G^\circ}{RT} \right)}{dT} = \frac{-\Delta H^\circ}{-RT^2}$$

Dimana

$$\ln K_{298k} = \frac{-\Delta G^\circ}{RT}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}
 \frac{d \ln K}{dT} &= \frac{\Delta H^\circ}{RT^2} \\
 \ln \frac{K}{K'} &= -\frac{\Delta H^\circ}{T} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'} \right) n \frac{K_{363}}{K_{298}} = \frac{\Delta H}{T} \times \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \\
 \ln \left(\frac{K_{363}}{3602,920} \right) &= \frac{-316932}{8,314} \times \left(\frac{1}{363} - \frac{1}{298} \right) \\
 K_{363} &= 0,00003754
 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai konstanta kesetimbangan ($K < 1$) lebih kecil dari 1, dapat diambil kesimpulan bahwa reaksi berlangsung secara *reversible* (bolak balik) .