

LAPORAN TUGAS AKHIR
PRARANCANGAN PABRIK ETIL AKRILAT DARI ASAM AKRILAT
DAN ETANOL MELALUI PROSES ESTERIFIKASI
KAPASITAS PRODUKSI 22.000 TON/TAHUN



Disusun Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Menyelesaikan
Pendidikan Starta Satu Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Setia Budi

Disusun Oleh :
LIDYAWATI
NIM. 26200341D

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SETIA BUDI
SURAKARTA
2025

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN TUGAS AKHIR PRARANCANGAN PABRIK ETIL AKRILAT DARI ASAM AKRILAT DAN ETANOL MELALUI PROSES ESTERIFIKASI KAPASITAS PRODUKSI 22.000 TON/TAHUN

Disusun Oleh :
Lidyawati
NIM. 26200341D

Telah Dipertahankan di Depan Penguji

Pada Tanggal 23 April 2026

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



Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Setia Budi



Dr. Suseno, M.Si.
NIS. 01199408011044

Ketua Program Studi
S1 Teknik Kimia



Dewi Astuti H., S.T., M.Eng.
NIS. 01.96.023

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Prarancangan Pabrik Etil Akrilat dari Asam Akrilat dan Etanol melalui Proses Esterifikasi dengan Kapasitas Produksi 22.000 Ton/Tahun”. Tugas Akhir ini ditulis untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Kimia Universitas Setia Budi.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, dukungan, dan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak yang ikut berpartisipasi diantaranya :

1. Dr. Drs. Suseno, M.Si., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi.
2. Ibu Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik kimia, Fakultas Teknik Universitas Setia Budi.
3. Ibu Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng. dan Bapak Dr. Narimo, S.T., M.M. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu ditengah kesibukan, memberikan saran dan pengarahan dalam proses penelitian ini.
4. Bapak Dr. Supriyono, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Sumardiyono, M.T. selaku penguji dalam penelitian ini.
5. Terimakasih kepada Orang tua dan saudara yang selalu memberikan dukungan baik moral maupun material.
6. Teman – teman penulis yang telah mendukung dalam proses penyusunan penelitian ini.

Sebagai penyusun, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan, baik dari penyusunan maupun tata bahasa penyampaian dalam tugas penelitian ini. Oleh karena itu dengan segala rendah hati menerima saran dan kritik dari pembaca agar kami dapat memperbaiki tugas penelitian ini. Penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi yang membacanya.

Surakarta, April 2026
Penulis,

Lidyawati

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
ABSTRAK	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kapasitas Perancangan	1
1.2.1 Kebutuhan Etil Akrilat di Indonesia	1
1.2.2 Kebutuhan Etil Akrilat di Dunia	2
1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku	3
1.2.4 Kapasitas Pabrik yang Telah Berproduksi	3
1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik	4
1.4 Pemilihan Proses	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Spesifikasi, sifat fisis dan kimia bahan baku	11
2.1.1 Asam Akrilat	11
2.1.2 Etanol	11
2.1.3 Asam Sulfat	12
2.1.4 Natrium Hidroksida	12
2.2 Spesifikasi, sifat fisis dan kimia produk	13
BAB III DESKRIPSI PROSES	14
3.1 Uraian Proses	14
3.2 Diagram Alir Kualitatif	16
3.3 Diagram Alir Kuantitatif	17
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI	18
4.1 Neraca Massa	18
4.1.1 Neraca Massa Mixer (M-101)	18
4.1.2 Neraca Massa Reaktor (R-101)	18
4.1.3 Neraca Massa Tangki Penampung (T-105)	19
4.1.4 Neraca Massa Neutralizer (N-101)	19
4.1.5 Neraca Massa Decanter (D-101)	19
4.1.6 Neraca Massa Menara Destilasi (MD-101)	20
4.1.7 Neraca Massa Total	20
4.1.8 Neraca Massa setelah recycle	20

4.2 Neraca Panas	20
4.2.2 Neraca Panas Heater (E-01)	21
4.2.3 Neraca Panas Reaktor (R-01)	21
4.2.4 Neraca Panas Cooler (CO-01)	22
4.2.5 Neraca Panas Heater (HE-02)	22
4.2.6 Neraca Panas Menara Distilasi (MD-101)	22
4.2.7 Neraca Panas Cooler (HE-02)	22
4.2.8 Neraca Panas Cooler (HE-03)	23
BAB V SPESIFIKASI ALAT	24
5.1 Spesifikasi Alat Utama	24
5.2 Tangki Penyimpanan	24
5.2.1 Tangki Asam Sulfat	24
5.2.2 Tangki Asam Akrilat	24
5.2.3 Tangki Etanol	25
5.2.4 Tangki Natrium Hidroksida	25
5.2.5 Tangki Produk Etil Akrilat	25
5.2.6 Mixer	26
5.2.7 Reaktor	26
5.2.8 Tangki Penampung	27
5.2.9 Netralizer	27
5.2.10 Dekanter	28
5.2.11 Menara Distilasi	28
5.2.12 Reboiler	29
5.2.13 Kondensor	29
5.3 Spesifikasi Alat Pendukung	29
5.3.1 Heater 1	29
5.3.2 Heater 2	30
5.3.3 Cooler 1	30
5.3.4 Cooler 2	31
5.3.5 Cooler 3	31
5.3.6 Pompa 1	31
5.3.7 Pompa 2	32
5.3.8 Pompa 3	32
5.3.9 Pompa 4	32
5.3.10 Pompa 5	33
5.3.11 Pompa 6	33
5.3.12 Pompa 7	34
5.3.13 Pompa 8	34

5.3.14 Pompa 9.....	34
5.3.15 Pompa 10.....	35
5.3.16 Pompa 11	35
5.3.17 Pompa 12.....	35
5.3.18 Pompa 13.....	36
5.3.19 Pompa 14.....	36
5.3.20 Pompa 15.....	36
5.3.21 Pompa 16.....	37
BAB VI UTILITAS DAN LABORATORIUM.....	38
6.1 Utilitas.....	38
6.1.1 Unit Pengadaan dan Pengolahan Air	38
6.1.2 Air untuk keperluan umum (<i>General Uses</i>)	38
6.1.3 Kebutuhan Air Pendingin	39
6.1.4 Kebutuhan Air untuk Steam (<i>Saturated Steam</i>)	40
6.1.5 Kebutuhan Air Pemadam Kebakaran	40
6.2 Kebutuhan Bahan Bakar	41
6.3 Unit Pengadaan Udara Tekan.....	42
6.4 Unit Pengadaan Listrik	42
6.5 Laboratorium	44
6.6 Spesifikasi Alat Utilitas	46
6.6.1 Pengolahan Air	46
6.6.2 Pengolahan Air Sanitasi	47
6.6.3 Pengolaahan Air Pendingin	48
6.6.4 Pengolahan Steam	49
6.6.5 Spesifikasi Pompa Utilitas	50
6.7 Diagram Alir Utilitas	52
BAB VII UNIT PENGOLAHAN LIMBAH.....	53
7.1 Sistem Pengolahan Limbah Sanitasi.....	53
7.2 Sistem Pengolahan Limbah dari <i>Decanter</i>	53
BAB VIII STRUKTUR ORGANISASI DAN TATA LETAK	
PABRIK	54
8.1 Bentuk Perusahaan.....	54
8.2 Struktur Organisasi	55
8.3 Tugas dan Wewenang.....	57
8.3.1 Pemegang Saham	57
8.3.2 Dewan Komisaris	57
8.3.3 Dewan Direksi.....	57
8.3.4 Staff Ahli	58

8.3.5 Sekretaris	59
8.3.6 Manajer.....	59
8.3.7 Supervisor (SPV)	60
8.4 Sistem Kepegawaian dan Sistem Gaji	61
8.4.1 Sistem Kepegawaian	61
8.4.2 Sistem Gaji	61
8.5 Kesejahteraan Karyawan	64
8.6 Tata Letak Pabrik	64
BAB IX ANALISIS EKONOMI.....	66
9.1 Perkiraan Harga Alat.....	68
9.2 Penaksiran Modal Tetap Industri (<i>Fixed Capital Investment</i>)	69
9.3 Perkiraan Penjualan	70
9.4 Penentuan Biaya Produksi (Manufacturing Cost)	70
9.5 Penaksiran Modal Kerja Industri (<i>Working Capital</i>) dan Total Modal (<i>Capital Investment</i>)	71
9.6 Perhitungan General Expense dan Total Biaya Produksi	72
9.7 Harga Dasar dan Harga Jual.....	72
9.8 Analisa Kelayakan Ekonomi.....	73
KESIMPULAN	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN I NERACA MASSA	79
LAMPIRAN II NERACA PANAS.....	83
LAMPIRAN III SPESIFIKASI ALAT	93

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data Impor Etil Akrilat	2
Tabel 2. Data Ekspor Etil Akrilat.....	2
Tabel 3. Ketersediaan Bahan Baku.....	3
Tabel 4. Kapasitas Pabrik yang Berproduksi.....	3
Tabel 5. Tinjauan Thermodinamika.....	7
Tabel 6. Data Nilai ΔH_r	7
Tabel 7. Data Nilai $\Delta G^\circ f$ Komponen	8
Tabel 8. Kebutuhan Air Sanitasi	39
Tabel 9. Kebutuhan Air Pendingin	39
Tabel 10. Kebutuhan Air untuk Steam.....	40
Tabel 11. Total Kebutuhan Air.....	41
Tabel 12. Kebutuhan Listrik Alat Proses	43
Tabel 13. Kebutuhan listrik alat utilitas.....	43
Tabel 14. Klasifikasi dan Gaji Pegawai.....	63
Tabel 15. Total Luas Pendirian Pabrik.....	64
Tabel 16. Indeks Harga Alat.	68
Tabel 17. PEC Alat Proses dan Utilitas	69
Tabel 18. Direct Cost pabrik.....	70
Tabel 19. Indirect Plant Cost	70
Tabel 20. Fixed Capital Investment.....	70
Tabel 21. Direct Manufacturing Cost	70
Tabel 22. Indirect Manufacturing Cost.....	71
Tabel 23. Fixed Manufacturing Cost	71
Tabel 24. Total Manufacturing Cost	71
Tabel 25. Working Capital	71
Tabel 26. General Expense	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Grafik Data Impor Etil Akrilat.....	2
Gambar 2 Grafik Data Ekspor Etil Akrilat	3
Gambar 3 Lokasi Pendirian Pabrik.....	4
Gambar 4. Diagram Alir Kualitatif.....	16
Gambar 5. Diagram Alir Kuantitatif.....	17
Gambar 6. Diagram Alir Utilitas	52
Gambar 7. Struktur Organisasi	56
Gambar 8. Total Luas Pendirian Pabrik.....	65
Gambar 9. Grafik Indeks Harga Alat.....	68
Gambar 10. Grafik Analisis Kelayakan Ekonomi	75
Gambar 11. Process Flow Diagram	133

ABSTRAK

Industri kimia berperan penting dalam mendukung pembangunan dan pertumbuhan ekonomi nasional, khususnya melalui pengembangan produk antara (intermediate product) untuk mengurangi ketergantungan impor. Salah satu produk antara yang banyak dibutuhkan adalah etil akrilat, yaitu ester dari asam akrilat dengan rumus kimia $\text{CH}_2\text{CHCOOC}_2\text{H}_5$, yang digunakan sebagai bahan baku dalam industri pelapis, cat, dan perekat. Etil akrilat memiliki keunggulan berupa kemudahan pengolahan serta sifat polimer yang unggul, seperti ketahanan kimia yang baik, transparansi, dan kekuatan mekanik tinggi.

Pendirian pabrik etil akrilat dirancang untuk memenuhi kebutuhan industri dalam negeri dan mendukung keberlanjutan pasokan bahan baku. Evaluasi ekonomi menunjukkan bahwa pabrik ini layak untuk dikaji lebih lanjut, dengan nilai Return on Investment (ROI) sebelum dan sesudah pajak masing-masing sebesar 16,12% dan 12,90%. Pay Out Time (POT) sebelum pajak adalah 4,73 tahun dan setelah pajak 5,59 tahun. Nilai Break Even Point (BEP) sebesar 42,93%, Shut Down Point (SDP) sebesar 14,62%, serta Discounted Cash Flow Rate of Return (DCF) sebesar 15,40%. Berdasarkan hasil tersebut, pabrik etil akrilat dinilai layak secara ekonomi dan berpotensi mendukung perkembangan industri kimia nasional.

Kata kunci : Etil Akrilat, Asam Akrilat, Etanol, Esterifikasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kimia merupakan industri yang menunjang pembangunan dan perkembangan perekonomian di Indonesia. Mengembangkan industri kimia yang menghasilkan produk antara (*intermediate product*) penting dilakukan karena dapat mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap industri luar negeri. Mayoritas bahan kimia tersebut masih diimpor dari luar negeri, terutama produk setengah jadi yang akan menjadi bahan baku untuk menghasilkan produk yang lebih bermanfaat dan banyak digunakan.

Produk *intermediate* yang banyak dibutuhkan di industri kimia saat ini adalah produk-produk ester akrilat, salah satunya adalah etil akrilat. Etil akrilat adalah senyawa organik yang memiliki ikatan rangkap dengan rumus kimia $\text{CH}_2\text{CHCOOC}_2\text{H}_5$. Senyawa ini merupakan etil ester asam akrilat. Etil akrilat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan produk jadi seperti cat pelapis (*coating*).

Berbagai sifat fisik dapat diperoleh dari polimerisasi etil akrilat dengan mengontrol perbandingan monomer yang digunakan. Sifat-sifat hasil polimerisasi umumnya sangat tahan terhadap bahan kimia dan lingkungan, sangat transparan dan kuat. Karena etil akrilat memiliki banyak keunggulan dan mudah didapat di dalam negeri, maka peluncuran pabrik etil akrilat tentunya akan berdampak positif bagi industri yang menggunakan etil akrilat dalam proses kimianya. Dalam rangka menunjang perkembangan industri yang semakin pesat, maka usaha untuk memenuhi kebutuhan bahan baku terhadap industri mempunyai peranan yang sangat penting.

1.2 Kapasitas Perancangan

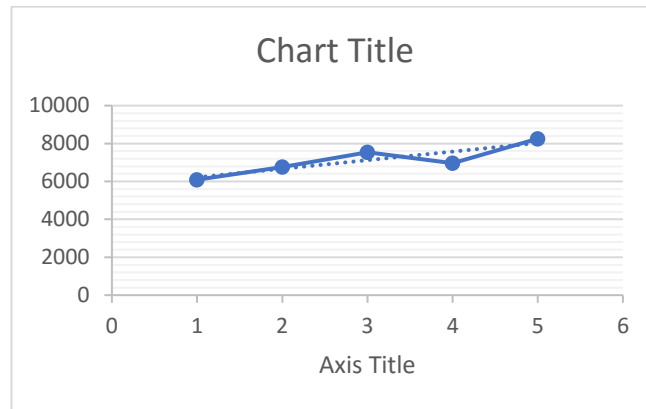
Untuk menentukan kapasitas rancangan pabrik etil akrilat yang akan beroperasi pada tahun 2028, maka diperlukan beberapa hal yang diperhatikan, antara lain :

1.2.1 Kebutuhan Etil Akrilat di Indonesia

Data impor Etil Akrilat berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) dari tahun 2017 – 2021 adalah sebagai berikut :

Tabel 1 Data Impor Etil Akrilat

Tahun	X	Jumlah (Ton)
2017	1	6091,042
2018	2	6758,778
2019	3	7541,684
2020	4	6959,187
2021	5	8254,169



Gambar 1. Grafik Data Impor Etil Akrilat

Data hasil regresi linier pada tahun 2017 – 2021 dapat diperkirakan kebutuhan etil akrilat pada tahun 2029 yang akan mendatang, sebagai berikut :

$$y = 452,67(x) + 5763$$

$$y = 452,67(13) + 5763$$

$$y = 11.647,71 \text{ ton}$$

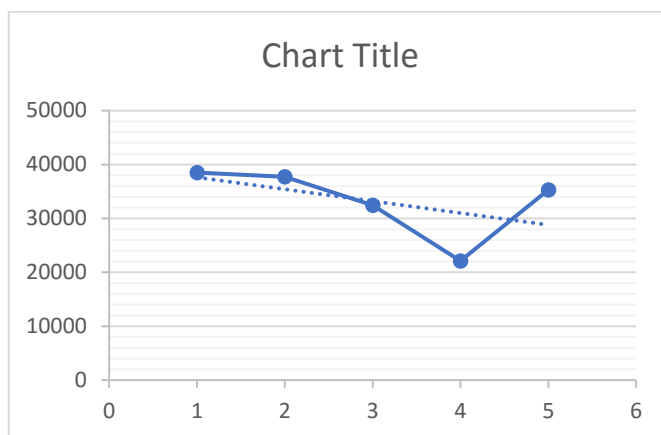
1.2.2 Kebutuhan Etil Akrilat di Dunia

Data ekspor etil akrilat berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) dari tahun 2017 – 2021 adalah sebagai berikut :

Tabel 2 Data Ekspor Etil Akrilat

Tahun	X	Jumlaah (Ton)
2017	1	38502,29
2018	2	37706,83
2019	3	32430,38
2020	4	22115,94
2021	5	35266,32

(Badan Pusat Stastistik, 2025)



Gambar 2 Grafik Data Ekspor Etil Akrilat

Data hasil regresi linier pada tahun 2017 – 2021 dapat diperkirakan kebutuhan etil akrilat pada tahun 2029 yang akan mendatang, sebagai berikut :

$$y = -2206,3(x) + 39823$$

$$y = -28.681(13) + 39823$$

$$y = 11.141,1 \text{ ton}$$

1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

Tabel 3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan Baku	Produsen	Lokasi
Asam Akrilat	PT Nippon Shokubai Indonesia (NSI)	Cilegon, Banten
Etanol	PT Molindo	Malang
Asam Sulfat	PT Petrokimia	Gresik
NaOH	PT Asahimas Chemical	Gresik

1.2.4 Kapasitas Pabrik yang Telah Berproduksi

Kapasitas yang telah berproduksi sebagai pertimbangan dalam mendirikan pabrik Etil Akrilat di Indonesia dapat juga dilihat dari data kapasitas produksi pabrik yang telah beroperasi di Dunia:

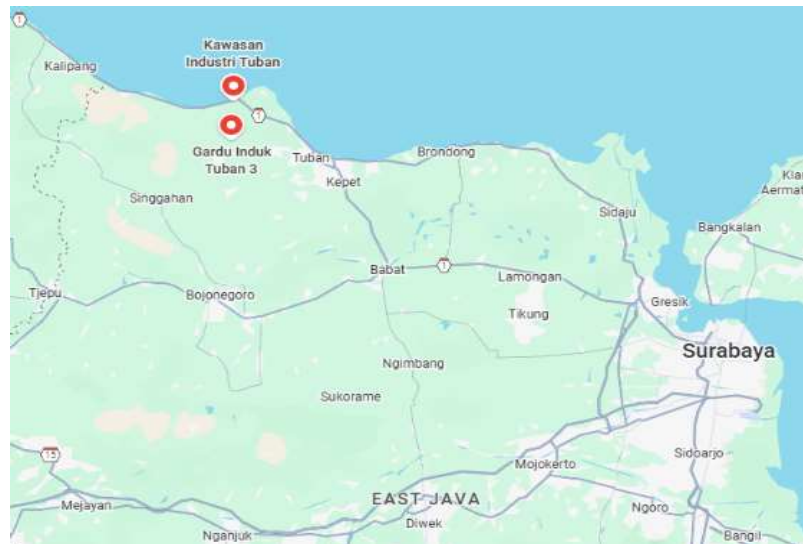
Tabel 4 Kapasitas Pabrik yang Berproduksi

Pabrik	Kapasitas Produksi
PT Nippon Shokubai Indonesia (NSI)	30.000 ton/tahun
Toa Gosei Ltd (Jepang)	20.000 ton/tahun
Rohm and Haas (Amerika Serikat)	50.000 ton/tahun
Singapore Acrylic Ester Pte. Ltd	82.000 ton/tahun

Berdasarkan data impor, ekspor dan data kapasitas pabrik yang telah berproduksi di Indonesia, kebutuhan Etil Akrilat masih belum terpenuhi, sehingga pendirian pabrik ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan dan mengurangi impor di Indonesia.

1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Lokasi pabrik direncanakan akan didirikan di Kawasan industri Zona III/Widang Tuban, disepanjang jalan Babat hingga Tuban.



Gambar 3 Lokasi Pendirian Pabrik

Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik adalah:

1. Ketersediaan Bahan baku

Bahan baku utama yang digunakan dalam prarancangan ini antara lain asam akrilat (CH_2CHCOOH), etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), asam sulfat (H_2SO_4) dan natrium hidroksida (NaOH) cukup memadai dan mudah ditemukan di Indonesia.

2. Utilitas

Utilitas yang dibutuhkan pembangkit yaitu listrik dipasok dari Perusahaan Listrik Negara (PLN), air diambil dari Sungai Bengawan Solo sedangkan bahan bakar dapat diperoleh dengan mudah karena wilayah Kec. Widang, Tuban merupakan kawasan industri.

3. Sarana Transportasi

Fasilitas transportasi darat cukup memadai sehingga pengiriman barang dari dan ke pabrik tidak sulit dan untuk transportasi laut dekat Pelabuhan Tuban.

4. Kebijakan Pemerintah

Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) dan kebijakan Kementerian Perindustrian, Kabupaten Tuban ditetapkan sebagai kawasan pengembangan industri. Dengan demikian, faktor - faktor lain seperti perizinan, lingkungan masyarakat, faktor sosial serta perluasan pabrik semuanya menciptakan kondisi baik bagi pendirian pabrik.

5. Target Pemasaran

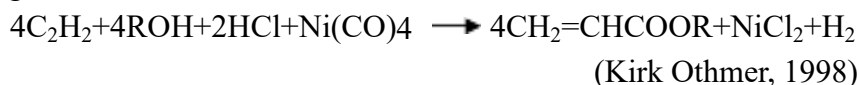
Orientasi pasar etil akrilat adalah Jawa Barat karena terdapat banyak pabrik manufaktur yang menggunakan cat pelapis (*coating*) dan juga pabrik enamel yang menggunakan etil akrilat hingga 20%.

1.4 Pemilihan Proses

Ada beberapa proses dalam pembuatan etil akrilat, antara lain :

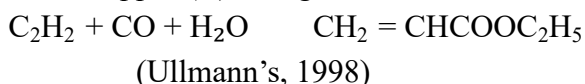
1. Proses Asetilen

Pada proses ini bahan baku yang digunakan adalah asetilen. Reaksi berlangsung pada suhu 40°C dan tekanan atmosferis dengan kehadiran asam dan nikel karbonil. Reaksi :



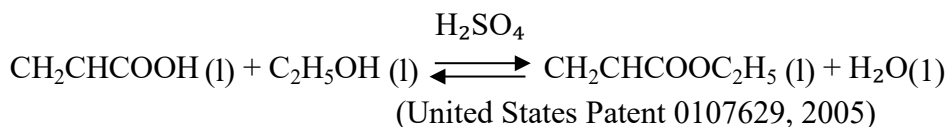
2. Proses Reppe Bertekanan Tinggi

Pada proses ini bahan baku yang digunakan adalah asetilen yang direaksikan dengan CO. Reaksi berlangsung pada suhu 200°C dan tekanan 14 MPa atau sekitar 139,828 bar dengan *Nickel bromide-copper (II)* sebagai katalis. Reaksi:



3. Proses Esterifikasi

Pada proses ini asam akrilat direaksikan dengan etanol dengan katalis asam membentuk etil akrilat. Reaksi esterifikasi ini berlangsung pada suhu 80°C dan tekanan atmosferis. Perbandingan mol asam akrilat dan etanol yang digunakan adalah 1:1,12. Reaksi tersebut terjadi di dalam Reaktor Tangki Berpengaduk yang menghasilkan konversi maksimal sebesar 90%. Reaksi :

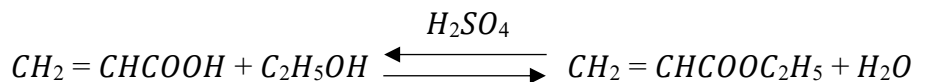


Parameter	Proses Asetilen	Proses Reppe	Esterifikasi
Fase	Gas - cair	Gas - gas	Cair – cair
Bahan Baku	Asetilen dan alkohol	Asetilen dan CO	Asam akrilat dan etanol
Kondisi Operasi	P = 1,013 bar T = 40°C	P = 139,828 bar T = 200°C	P = 1 atm T = 90°C
Kebutuhan BahanPembantu	Asam dan nikel karbonil	<i>Nickel bromi de-copper (II)</i>	Asam sulfat

Proses yang dipilih dalam pembuatan etil akrilat ini adalah proses esterifikasi antara etanol dan asam akrilat. Pemilihan proses ini didasari:

1. Proses relatif lebih sederhana.
 2. Bahan baku yang mudah ditemukan dan harga relatif standar.
 3. Kondisi operasi yang relatif lebih aman.
- a) Dasar Reaksi

Reaksi pembentukan etil akrilat adalah reaksi yang terjadi antara asam akrilat dengan etanol menggunakan katalis asam sulfat yang menghasilkan produk samping berupa air, dengan reaksinya sebagai berikut :



b) Kondisi Operasi

Kondisi operasi pada proses pembuatan Etil Akrilat dari asam akrilat dan etanol dengan bantuan katalis asam sulfat, reaksi terjadi didalam Reaktor *Batch* paralel sebagai berikut :

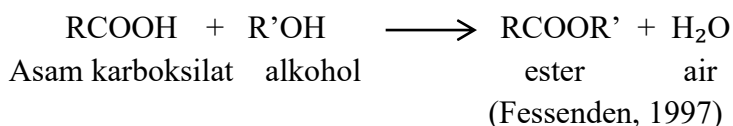
- Suhu Operasi : 80°C
- Tekanan : 1 atm
- Konversi : 90%

Perbandingan mol asam akrilat dan etanol yang digunakan adalah 1 : 1,2.

(United States Patent 0107629, 2005)

c) Mekanisme Reaksi

Proses pembuatan etil akrilat dengan proses esterifikasi dilakukan dalam reaktor *batch* paralel, dimana asam akrilat dan etanol dimasukkan secara bersamaan kedalam reaktor. Didalam reaktor terjadi reaksi sebagai berikut :



d) Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika bertujuan untuk mengetahui sifat reaksi (eksotermis/endotermis) dan arah reaksi (*reversible/irreversible*). Secara termodinamika reaksi pembentukan etil akrilat dapat dilihat dari harga entalpi dan konstanta kesetimbangannya. Harga ΔH°_f masing-masing komponen pada suhu 298K (25°C) dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

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

Tabel 5 Tinjauan Termodinamika

Komponen	ΔH°_f (kJ/mol)
CH_2CHCOOH	-336,23
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	-234,81
$\text{CH}_2\text{CHCOOC}_2\text{H}_5$	-349,53
H_2O	-241,82

$$\begin{aligned} \Delta H_{r298} &= \sum \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= (\Delta H^\circ_f \text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2 + \Delta H^\circ_f \text{H}_2\text{O}) - (\Delta H^\circ_f \text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2 + \Delta H^\circ_f \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \\ &= ((-349,53) + (-241,80)) - ((-336,23) + (-234,81)) \\ &= -20,29 \text{ kJoule/mol Menghitung } \Delta H_r \text{ pada suhu reaksi} \\ &= 353\text{K} (80^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

Tabel 6 Data Nilai ΔH_r

Komponen	C_p (joule/mol.K)
Asam akrilat ($\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$)	160,85
Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)	117,25
Etil akrilat ($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$)	202,80
Air (H_2O)	75,32

(Yaws, 1999)

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{reaktan } 353} &= \sum C_p \cdot \Delta T \\ &= (160,85 \times (353 - 298)) + (117,25 \times (353 - 298)) \\ &= 15295,5 \text{ joule/mol} \\ &= 15,2955 \text{ kJoule/mol} \\ \Delta H_{\text{produk } 353} &= \sum C_p \cdot \Delta T \\ &= (202,80 \times (353 - 298)) + (75,32 \times (353 - 298)) \\ &= 152966 \text{ joule/mol} \\ &= 15,2966 \text{ kJoule/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{r353} &= \Delta H_{produk\ 353} + \Delta H_{r298} - \Delta H_{reaktan\ 353} \\
 &= 15,2966 + (-20,29) - 15,2955 \\
 &= -20,2887\ kJoule/mol
 \end{aligned}$$

Karena ΔH_{r353} pada reaksi di reaktor bernilai negatif, maka reaksi bersifat eksotermis (melepas panas).

Harga ΔG°_f untuk masing – masing komponen (suhu 298K) pada tabel dibawah ini :

Tabel 7 Data Nilai ΔG°_f Komponen

Komponen	ΔG°_f (kJoule/mol)
Asam akrilat ($C_3H_4O_2$)	-286,060
Etanol (C_2H_5OH)	-168,280
Etil akrilat ($C_5H_8O_2$)	-245,450
Air (H_2O)	-228,642

(Yaws, 1999)

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

Dari harga ΔH_{r353} tersebut dapat dilihat bahwa reaksi pembentukan etil akrilat adalah eksotermis (melepaskan panas), dan reaksi dapat berlangsung karena mempunyai $\Delta G_r < 0$.

Dari perhitungan – perhitungan diatas didapatkan:

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{r298} \text{ (Enthalpi reaksi standar)} &= -20,29\ kJoule/mol \\
 \Delta H_{r353} \text{ (Enthalpi reaksi 353K)} &= -20,2887\ kJoule/mol \\
 \Delta G_r \text{ (Energi bebas)} &= -19,752\ kJoule/mol
 \end{aligned}$$

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

$$\Delta G = -RT \ln K_{298K}$$

$$\Delta H^\circ = -20.290\ J/mol$$

$$R = 8,314$$

$$T_1 = 298\ K$$

$$T_2 = 353\ K$$

$$\ln \frac{K_{353}}{K_{298}} = \frac{20290}{8,314} \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{353} \right)$$

$$\ln \frac{K_{353}}{K_{298}} = 2440,45 \times (-0,000523)$$

$$\ln \frac{K_{353}}{K_{298}} = -1,276$$

Untuk esterifikasi

$$K_{298} = 4$$

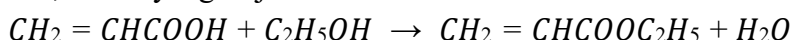
$$\ln \frac{K_{353}}{K_{298}} = e^{-1,276} = 0,279$$

$$K_{353} = 4 \times 0,279 = 1,11$$

Karena nilai konstanta kesetimbangan $K > 1$, maka pada kondisi setimbang reaksi esterifikasi lebih berpihak ke arah produk, meskipun reaksi tetap bersifat reversibel.

e) Tinjauan Kinetika

Proses esterifikasi asam akrilat dan etanol menjadi etil akrilat dan air terjadi pada fase cair dengan bantuan katalis asam sulfat, reaksi yang terjadi adalah :



$$\begin{array}{l} \text{mula-mula :} \quad \begin{array}{ccccccc} mA & + & nB & \rightarrow & oC & + & pD \\ nAo & & nBo & & & & \end{array} \\ \text{reaksi :} \quad \begin{array}{ccccccc} nAo \cdot XA & & nAo \cdot XA & & nAo \cdot XA & & nAo \cdot XA \end{array} \\ \text{sis :} \quad \begin{array}{ccccccc} nAo(1 - XA) & & nBo - (nAo \cdot XA) & & nAo \cdot XA & & nAo \cdot XA \end{array} \end{array}$$

Reaksi pembentukan etil akrilat adalah reaksi yang terjadi antara asam akrilat dengan etanol menggunakan katalis asam sulfat yang menghasilkan produk samping berupa air, dengan reaksinya sebagai berikut :

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

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

$$\text{Tingkat reaksi/ orde reaksi} = 1 + 1 = 2$$

Maka reaksi tersebut merupakan reaksi orde 2

Kecepatan reaksi dapat dinyatakan dengan persamaan :

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

Dengan

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

$$C_B = C_{Bo} - C_{Ao} \cdot X_A$$

Jadi kecepatan reaksi menjadi :

$$-r_A = kC_A C_B$$

Jadi kecepatan reaksi menjadi :

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

Dengan :

$$b = \frac{CA0}{CB0}$$

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 spesifik $k(T)$ berdasarkan hukum Arrhenius

$$k(T) = k_0 \exp \left(-\frac{E}{RT} \right)$$

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)

Untuk suhu 80°C (353K), nilai $k(T)$:

$$\begin{aligned} k(T) &= 1,983 \times 10^9 \exp \left(\frac{58040,86}{RT} \right) \\ k_{(353)} &= 1983244546 \exp \left(\frac{58040,86}{8,314 \frac{J}{molK} \times 353} \right) \\ &= 1,983 \cdot 10^9 \cdot e^{-19,77} \\ &= 5,2 \text{ (m}^3\text{)/(kmol.min)} \end{aligned}$$

(jyoti, 2016)