

**PRARANCANGAN PABRIK METIL METAKRILAT
DARI ASETON SIANOHIDRIN, ASAM SULFAT DAN METANOL
KAPASITAS 80.000 TON/TAHUN
(Perancangan Reaktor (RE-201))**

(Skripsi)

Oleh:

WILDAN NAUFAL

(1715041049)



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK METIL METAKRILAT DARI ASETON SIANOHIDRIN, ASAM SULFAT DAN METANOL KAPASITAS 80.000 TON/TAHUN (Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201))

Oleh

WILDAN NAUFAL

Metil Metakrilat merupakan salah satu produk industri kimia yang digunakan pada industri polimer, industri kosmetik, industri cat, industri peralatan rumah tangga dan pada bidang kedokteran. Metil metakrilat dapat di produksi dengan beberapa proses yaitu 1) Proses Hidrolisis dan Esterifikasi, 2) Oksidasi 2 Tahap dari Isobutilena atau Isobutanol, dan 3) Kondensasi 4 tahap menggunakan Etilen. Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik berupa sistem pengolahan dan penyediaan air, sistem penyediaan *steam*, *cooling water*, sistem penyediaan udara tekan, dan sistem pembangkit tenaga listrik. Kapasitas produksi pabrik direncanakan 80.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di daerah Gresik, Jawa Timur. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 163 orang dengan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama yang dibantu oleh Direktur Produksi dan Direktur Keuangan dengan struktur organisasi *line and staff*.

Analisa ekonomi Prarancangan Pabrik Metil Metakrilat sebagai berikut:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	=	Rp. 745.085.297.981,21
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	=	Rp.175.314.187.760,29.
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	=	Rp. 920.399.485.741,50
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	=	39,35%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	=	29,37%
<i>Pay Out Time before Taxes</i>	(POT) _b	=	1,17 tahun
<i>Pay Out Time after Taxes</i>	(POT) _a	=	1,42 tahun
<i>Return on Investment before Taxes</i>	(ROI) _b	=	61,28 %
<i>Return on Investment after Taxes</i>	(ROI) _a	=	49,02 %
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF)	=	56,32 %

Berdasarkan pertimbangan diatas, sudah selayaknya pendirian pabrik Metil Metakrilat ini dikaji lebih lanjut karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai prospek yang baik.

ABSTRACT

PLANT DESIGN OF METHYL METHACRYLATE FROM ACETONE CYANOHYDRIN, SULFURIC ACID AND METHANOL CAPACITY 80,000 TONS/YEAR (Design of Reactor (RE-201))

By

WILDAN NAUFAL

Methyl methacrylate is one of the chemical industry products used in the polymer industry, cosmetics industry, paint industry, household appliance industry, and in the field of medicine. Methyl methacrylate can be produced by several processes, namely: 1) hydrolysis and esterification process; 2) 2-stage oxidation of isobutylene or isobutanol; and 3) 4-stage condensation using ethylene. Provision of plant utility needs in the form of water treatment and supply systems, steam supply systems, cooling water, compressed air supply systems, and power generation systems. The production capacity of the plant is planned to be 80,000 metric tons per year, with 330 working days in a year. The plant is planned to be located in Gresik, East Java. The required workforce is 163 people in the form of a Limited Liability Company (PT) led by a President Director who is assisted by a Production Director and a Finance Director with a line and staff organisational structure.

The economic analysis of the Methyl Methacrylate Plant Proposal is as follows:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	=	Rp. 745.085.297.981,21
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	=	Rp.175.314.187.760,29.
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	=	Rp. 920.399.485.741,50
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	=	39,35%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	=	29,37%
<i>Pay Out Time before Taxes</i>	(POT) _b	=	1,17 tahun
<i>Pay Out Time after Taxes</i>	(POT) _a	=	1,42 tahun
<i>Return on Investment before Taxes</i>	(ROI) _b	=	61,28 %
<i>Return on Investment after Taxes</i>	(ROI) _a	=	49,02 %
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF)	=	56,32 %

Based on the above considerations, it is appropriate that the establishment of this methyl methacrylate plant be studied further because it is a profitable plant and has good prospects.

**PRARANCANGAN PABRIK METIL METAKRILAT DARI ASETON
SIANOHIDRIN, ASAM SULFAT DAN METANOL
DENGAN KAPASITAS 80.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201))**

Oleh

WILDAN NAUFAL

1715041049

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



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

2023

Judul Skripsi : **PRARANCANGAN PABRIK METIL
METAKRILAT DARI ASETON
SIANOHIDRIN, ASAM SULFAT DAN
METANOL DENGAN KAPASITAS 80.000
TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201))**

Nama Mahasiswa : **Wildan Naufal**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715041049

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik



1. **Komisi Pembimbing**

Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc.
NIP. 19690208 199703 2 001

Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc.
NIP. 19900128 199702 2 000

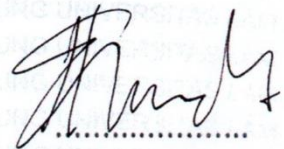
2. **Ketua Jurusan**

Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 19740712 200003 2 001

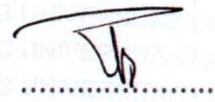
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

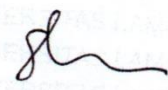
Ketua : Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc.



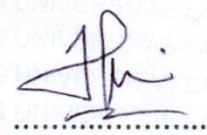
Sekretaris : Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc.



**Penguji
Bukan Pembimbing I : Simparmin Br. Ginting, S.T., M.T.**



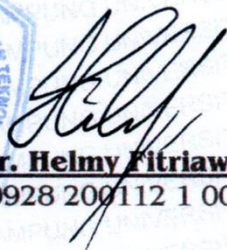
Bukan Pembimbing II : Muhammad Haviz, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 19750928 200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 7 Desember 2023

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 22 Januari 2024



Wildan Naufal

NPM. 1715041049

RIWAYAT HIDUP



Wildan Naufal, penulis laporan ini dilahirkan di Kedondong pada 21 Desember 1997, putra pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Harizal dan Ibu Rohayah.

Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di MIN 1 Pesawaran pada tahun 2010, Pendidikan sekolah menengah pertama di MTsN 1 Pesawaran pada tahun 2013 dan Pendidikan sekolah menengah kejuruan di SMK Farmasi Cendikia Farma Husada Kota Bandar Lampung pada tahun 2016.

Pada tahun 2017, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Penerimaan Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan (PMPAP). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi antara lain sebagai Staf Departemen Media Informasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) Periode 2018 dan 2019, Staf Dinas Komunikasi dan Informasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Lampung (BEM FT Unila) Periode 2018, Staf Bidang Riset dan Teknologi Badan Koordinasi Kegiatan Mahasiswa Teknik Kimia Indonesia Daerah I (BKKMTKI D-1) Periode 2018 – 2020, dan Staff Khusus Pimpinan Pusat Bidang Publikasi dan Komunikasi BKKMTKI Periode 2020 - 2022.

Pada Tahun 2021, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Mandiri di Desa Gunung Sugih, Kecamatan Kedondong, Kabupaten Pesawaran, Melakukan Kerja Praktik (KP) di PT. Perkebunan Nusantara (PTPN) VII Unit Bekri Lampung Tengah dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja *Water Tube* Boiler Takuma (N-750) pada Unit Utilitas.

Pada Tahun 2022, penulis melakukan penelitian dengan Judul “Modifikasi RSBE (*Reactivated Spent Bleaching Earth*) Dengan WO_3 Yang Teraktivasi Garam Klorida $BaCl_2$ Untuk Mendegradasi Metilen Biru” di Laboratorium Analisis dan

Instrumentasi Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung dan Laboratorium Bioteknologi Jurusan Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Lampung, penulis aktif sebagai tim penelitian dengan dosen dan berhasil mendapatkan hibah penelitian dari Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS).

Motto Dan Persembahan

Segala puji bagi Allah. Kita memuji, meminta pertolongan, dan memohon ampunan kepada-Nya. Kita berlindung kepada-Nya dari kejahatan diri dan dari keburukan amal-amal kita. Siapa yang Dia beri petunjuk maka tidak ada yang bisa menyesatkannya, dan siapa yang Dia sesatkan maka tidak akan ada yang bisa memberinya hidayah (petunjuk). Aku bersaksi bahwa tiada ilah yang berhak diibadahi dengan benar kecuali Allah semata, tidak ada sekutu bagi-Nya, dan aku bersaksi bahwa Muhammad ﷺ adalah hamba dan Rasul-Nya.

“Wahai orang-orang yang beriman betakwalah kalian kepada Allah dengan sebenar-benarnya takwa kepada-Nya dan jangan kalian mati kecuali dalam keadaan Islam.”

(QS. Ali Imron: 102)

“Wahai manusia! Bertakwalah kepada Rabbmu yang telah menciptakan kamu dari diri yang satu (Adam), dan (Allah) menciptakan pasangannya (Hawa) dari (diri)nya; dan dari keduanya Allah memperkembangbiakan laki-laki dan perempuan yang banyak. Bertakwalah kepada Allah yang dengan nama-Nya kamu saling meminta, dan (peliharalah) hubungan kekeluargaan. Sesungguhnya Allah selalu menjaga dan mengawasimu.”

(QS. An-Nisa: 1)

“Menuntut ilmu (agama) adalah kewajiban bagi setiap muslim.”

(HR. Ibnu Majah)

“Barangsiapa menempuh jalan untuk mencari ilmu (agama), Allah akan mempermudah baginya jalan menuju surga.”

(HR. Muslim)

“Dan tidaklah kehidupan dunia kecuali hanyalah permainan dan senda gurau belaka. Dan sungguh kampung akhirat itu lebih baik bagi orang-orang yang bertakwa. Apakah kalian tidak mau berpikir ?.”

(QS. Al-An’am: 32)

“Dan carilah (pahala) negeri akhirat dengan apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu, tetapi janganlah kamu lupakan bagianmu di dunia.”

(QS. Al-Qashshah: 77)

“Sesungguhnya Kami telah menjadikan apa yang ada di bumi sebagai perhiasan baginya, untuk Kami menguji mereka, siapa di antaranya yang terbaik perbuatannya.

(QS. Al-Kahfi: 7)

“Demi masa. Sesungguhnya manusia itu benar-benar dalam kerugian, kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal saleh dan nasehat menasehati supaya mentaati kebenaran dan nasehat menasehati supaya menetapi kesabaran.”

(QS. Al ‘Ashr: 1-3)

Sebuah karya..

Dengan sepenuh hati kupersembahkan Tugas Akhir ini kepada :

Kedua Orangtuaku,

Akhirnya karya aku selesai, terima kasih atas segala doa, kasih sayang, pengorbanan dan keikhlasannya. Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa dibandingkan dengan pengorbanan dan kasih sayang yang kalian selama ini. Terima kasih atas segalanya

Saudara-saudari dan keluargaku,

terima kasih atas do'a, bantuan, dan dukungan semangatnya.

Sahabat-sahabatku,

terima kasih atas dukungan, doa, bantuan dan ketulusannya selama ini.

Guru-guruku dan Dosen-dosenku

sebagai tanda hormatku, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan.

Almamater kebanggaan Universitas Lampung,

semoga bermanfaat karya sederhana ini.

SANWACANA

Segala Puji bagi Allah Subhanu Waa Ta'ala, atas limpahan nikmat-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir. Shalawat dan salam senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad ﷺ, suri teladan yang mampu membuka sesuatu yang terkunci, penutup dari semua yang terdahulu, penolong kebenaran dengan jalan yang benar, dan petunjuk kepada jalan-Mu yang lurus.

Tugas Akhir merupakan mata kuliah wajib yang harus dilaksanakan sebagai salah satu syarat kelulusan bagi Sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung. Adapun judul tugas akhir ini adalah “Prarancangan Pabrik Metil Metakrilat dari Aseton Sianohidrin, Asam Sulfat dan Metanol dengan Kapasitas 80.000 ton/tahun”. Ini dapat diselesaikan dengan baik

Pada Kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah *Subhanu Waa Ta'ala*, yang telah memberikan nikmat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan selamat hingga akhir.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Arfiani, D.E.A.IPM. selaku Rektor Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmi Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknk Kimia Universitas Lampung.
5. Ibu Dr. Lilis Hermida, S.T, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir.
6. Ibu Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir. Serta menumbuhkan nalar dalm pola pikir penulis untuk berpikir lebih luas.
7. Ibu Simparmin Br. Ginting. S.T., M.T. selaku Dosen Peguji I yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir, serta terima kasih telah memberikan mendorong dan memberikan kemudahan untuk

menyelesaikan studi di Teknik Kimia FT Universitas Lampung.

8. Bapak Muhammad Haviz, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir.
9. Ibu Dr. Herti Utami, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingannya bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang Sarjana Teknik.
10. Segenap Dosen dan Civitas Akademika Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman bagi penulis.
11. Keluargaku tersayang, Mamah yang telah memberikan Do'a disepanjang waktu ibadah sehingga penulis mendapatkan kemudahan pada segala prosesnya dan telah berkorban mengusahakan segalanya sehingga penulis bisa menyelesaikan studi dan menjadi seorang Sarjana. Serta Papah yang tak banyak memberikan pelajaran tentang hidup, untuk bertanggung jawab atas pilihan yang dijalankannya dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
12. Della Meifi Lisandi sebagai *partner* Tugas Akhir. Terimakasih karna sudah banyak membantu, kerjasamanya selama proses penyusunan, Sehingga dapat terselesaikan Tugas Akhir ini.
13. Teman-teman Angkatan 2017 yang berproses bersama, saling mendukung selama masa perkuliahan ini. Terimakasih sudah meringankan beban perkuliahan maupun organisasi.
14. Teman-teman Mabeshood, Ashari Ardian Azwan, Fikri Muhammad, Heri Ramadhan, Alfred Creyna MT, Agung Khaeru Zaman, Much Fida Kamil, Didi Wardoyo, Rifki Nugroho, Rian Adi Prayoga, Muammar Khafy Akbar dan lainnya yang sudah banyak mengukir cerita selama masa perkuliahan dengan segala drama yang dan canda yang tidak ada habisnya.
15. Kakak-kakak dan adik-Adik mahasiswa Teknik Kimia FT Unila yang telah banyak membantu dalam penyusunan maupun kehidupan selama masa perkuliahan.
16. Semua pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu.

Semoga Allah Subhanu Waa Ta'ala, membalas semua kebaikan kalian dengan yang lebih baik dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin

Bandar Lampung, 22 Januari

2024

Penulis,

Wildan Naufal

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK	ii
PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	x
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Kegunaan Produk	2
1.3 Ketersediaan Bahan Baku.....	4
1.4 Analisis Pasar	4
1.5 Tempat dan Lokasi Pabrik.....	9
II. PEMILIHAN PROSES	12
2.1 Jenis- Jenis Proses	12
2.2 Pemilihan Proses	14
2.2 Uraian Proses.....	48
III. SPESIFIKASI BAHAN BAKU.....	52
3.1 Spesifikasi Bahan Baku	52
3.2 Spesifikasi Produk.....	55
IV. NERACA MASSA DAN ENERGI	57
4.1 Neraca Massa.....	57
4.2 Neraca Energi	61
V. SPESIFIKASI ALAT.....	68
5.1 Spesifikasi Alat Proses	68
5.2 Spesifikasi Peralatan Utilitas.....	97
VI. UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH	122
6.1 Unit Penyediaan air	122
6.2 Pengolahan Air	129
6.3 Unit Penyediaan Steam.....	132

6.4	Unit Pembangkit Tenaga Listrik	133
6.5	Unit Penyediaan Bahan Bakar.....	133
6.6	Unit Penyediaan Udara Tekan.....	133
6.7	Unit Pengolahan Limbah.....	133
6.8	Unit Laboratorium.....	134
6.9	Instrumentasi dan Pengendalian Proses.....	137
VII.	TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK.....	139
7.1	Lokasi Pabrik.....	139
7.2	Tata Letak Pabrik	141
7.3	Estimasi Area Pabrik.....	144
7.4	Tata Letak Peralatan Proses.....	145
7.5	Lokasi Pendirian Pabrik	147
VIII.	SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI PERUSAHAAN.....	148
8.1	Bentuk Perusahaan	148
8.2	Struktur Organisasi Perusahaan.....	150
8.3	Tugas dan Wewenang.....	153
8.4	Status Karyawan dan Sistem Penggajian	159
8.5	Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	160
8.6	Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	162
8.7	Kesejahteraan Karyawan	167
8.8	Cuti	167
8.9	Pakaian Kerja.....	167
8.10	Pengobatan	167
8.11	Badan Penyelenggara Jaminan Sosial Kesehatan (BPJS Kesehatan)..	167
8.12	Kesehatan dan Keselamatan Kerja	168
IX.	INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI	169
9.1	Total Capital Investment (TCI)	169
9.2	Total Production Cost (TPC).....	170
9.3	Evaluasi Ekonomi.....	173
9.4	Angsuran Pinjaman	176
9.5	Discounted Cash Flow (DCF)	180
X.	KESIMPULAN DAN SARAN	181
10.1	Kesimpulan.....	181
10.2	SARAN.....	181

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A PERHITUNGAN NERACA MASSA

LAMPIRAN B PERHITUNGAN NERACA ENERGI

LAMPIRAN C SPESIFIKASI ALAT

LAMPIRAN D PERHITUNGAN UTILITAS

LAMPIRAN E PERHITUNGAN EKONOMI DAN EVALUASI EKONOMI

LAMPIRAN F TUGAS KHUSUS PERANCANGAN REAKTOR (RE-201)

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Sumber Bahan Baku Utama	4
Tabel 1.2. Data Impor Metil Metakrilat di Indonesia tahun 2012-2021	5
Tabel 1.3. Data Impor Metil Metakrilat di Asia Tenggara 10 Tahun Terakhir.....	7
Tabel 1.4. Data Pabrik Metil Metakrilat di Dunia.....	8
Tabel 1.5. Pemasaran Produk Metil Metakrilat di Indonesia	10
Tabel 2.1. Harga Bahan Baku dan Produk (Alibaba,2022).....	15
Tabel 2.2. Massa reaktan dan produk (aseton sianohidrin).....	17
Tabel 2.3. Konstanta <i>Heat Capacities</i> (CP) reaksi 1.....	18
Tabel 2.4. Nilai Enthalphi Standar (ΔH°) reaksi 1	19
Tabel 2.5. Konstanta <i>Heat Capacities</i> (CP) Proses Esterifikasi Metakrilamid Sulfat.....	20
Tabel 2.6. Nilai enthalphi standar (ΔH°) proses esterifikasi metakrilamid sulfat ..	21
Tabel 2.7. Nilai energi bebas gibbs standar reaksi 1	22
Tabel 2.8. Nilai energi bebas gibbs standar Proses Esterifikasi Metakrilamid Sulfat.....	23
Tabel 2.9. Data bahan baku dan produk (isobutilen).....	25
Tabel 2.10. Massa reaktan dan produk (Isobutilen)	26
Tabel 2.11. Konstanta kapasitas panas (CP) proses isobutilen	27
Tabel 2.12. Nilai enthalphi standar standar (ΔH°_{298}) proses isobutilen.....	27
Tabel 2.13. Nilai energi bebas gibbs standar proses isobutilen.....	32
Tabel 2.14. Data Bahan Baku dan Produk (Etilen)	34
Tabel 2.15. Massa Reaktan dan produk (Etilen)	35
Tabel 2.16. <i>Enthalpy</i> Pembentukan.....	37
Tabel 2.17. Nilai <i>Enthalpy</i> Standar ΔH°_{298} Proses etilen.....	37
Tabel 2.18. Nilai Energi Bebas Gibbs Standar (etilen)	43
Tabel 2.19. Pertimbangan Pemilihan Proses	46
Tabel 4.1. Neraca Massa Reaktor Hidrolisis (RE-201).....	58
Tabel 4.2. Neraca Massa Reaktor Esterifikasi (RE-202).....	58
Tabel 4.3. Neraca Massa Menara Distilasi 301 (MD-301)	59

Tabel 4.4. Neraca Massa Menara Distilasi 302 (MD-302)	59
Tabel 4.5. Neraca Massa Menara Distilasi 303 (MD-303)	60
Tabel 4.6. Neraca Massa Menara Distilasi 304 (MD-304)	60
Tabel 4.7. Neraca Massa <i>Decanter</i> (DC-301)	61
Tabel 4.8. Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i> 101 (HE-101)	61
Tabel 4.9. Neraca Panas <i>Heater</i> 102 (HE-102)	62
Tabel 4.10. Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i> 201 (HE-201)	62
Tabel 4.11. Neraca Panas Reaktor Hidrolisis (RE-201)	62
Tabel 4.12. Neraca Panas <i>Heater</i> 202 (HE-201)	63
Tabel 4.13. Neraca Panas <i>Heater</i> 303 (HE-30)	63
Tabel 4.14. Neraca Panas Reaktor Esterefikasi (RE-202)	63
Tabel 4.15. Neraca Panas <i>Heater</i> 301 (HE-301)	64
Tabel 4.16. Neraca Panas Menara Distilasi 301 (MD-301)	64
Tabel 4.17. Neraca Panas <i>Cooler</i> 301 (CO-301)	64
Tabel 4.18. Neraca Panas Menara Distilasi 302 (MD-302)	65
Tabel 4.19. Neraca Panas <i>Heater</i> 304 (HE-304)	65
Tabel 4.20. Neraca Panas Menara Distilasi 303 (MD-303)	65
Tabel 4.21. Neraca Panas <i>Heater</i> 302 (HE-202)	66
Tabel 4.22. Neraca Panas Menara Distilasi 4 (MD-304)	66
Tabel 4.23. Neraca Panas <i>Cooler</i> 302 (CO-302)	66
Tabel 4.24. Neraca Panas <i>Cooler</i> 305 (CO-305)	67
Tabel 5.1. Spesifikasi Tangki Penyimpanan (ST-101)	68
Tabel 5.2. Spesifikasi Tangki Penyimpanan (ST-102)	68
Tabel 5.3. Spesifikasi Tangki Penyimpanan (ST-103)	69
Tabel 5.4. Spesifikasi Tangki Penyimpanan (ST-301)	70
Tabel 5.5. Spesifikasi Tangki Penyimpanan (ST-502)	70
Tabel 5.6. Spesifikasi Reaktor (RE-201)	71
Tabel 5.7. Spesifikasi Reaktor (RE-202)	72
Tabel 5.8. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-301)	72
Tabel 5.9. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-302)	73
Tabel 5.10. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-303)	74
Tabel 5.11. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-304)	74

Tabel 5.12. Spesifikasi <i>Condenser</i> (CD-301).....	75
Tabel 5.13. Spesifikasi <i>Condenser</i> (CD-302).....	76
Tabel 5.14. Spesifikasi <i>Condenser</i> (CD-303).....	76
Tabel 5.15. Spesifikasi <i>Condenser</i> (CD-304).....	77
Tabel 5.16. Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-301)	78
Tabel 5.17. Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-302)	79
Tabel 5.18. Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-303)	79
Tabel 5.19. Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-304)	80
Tabel 5.20. Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-301)	81
Tabel 5.21. Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-302)	81
Tabel 5.22. Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-303)	82
Tabel 5.23. Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-304)	82
Tabel 5.24 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-101)	83
Tabel 5. 25 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-102).....	83
Tabel 5.26 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-201)	84
Tabel 5. 27 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-202).....	84
Tabel 5. 28 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-203).....	85
Tabel 5. 29 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-201).....	86
Tabel 5. 30 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-301).....	86
Tabel 5. 31 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-302).....	86
Tabel 5. 32 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-303).....	87
Tabel 5. 33 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-304).....	87
Tabel 5. 34 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-305).....	97
Tabel 5.35. Spesifikasi Pompa Proses (PP-101)	88
Tabel 5.36. Spesifikasi Pompa Proses (PP-102)	88
Tabel 5.37. Spesifikasi Pompa Proses (PP-201)	89
Tabel 5.38. Spesifikasi Pompa Proses (PP-202)	89
Tabel 5.39. Spesifikasi Pompa Proses (PP-203)	90
Tabel 5.40. Spesifikasi Pompa Proses (PP-301)	90
Tabel 5.41. Spesifikasi Pompa Proses (PP-302)	91
Tabel 5.42. Spesifikasi Pompa Proses (PP-303)	92
Tabel 5.43. Spesifikasi Pompa Proses (PP-304)	92

Tabel 5.44. Spesifikasi Pompa Proses (PP-305)	93
Tabel 5.45. Spesifikasi Pompa Proses (PP-306)	93
Tabel 5.46. Spesifikasi Pompa Proses (PP-307)	94
Tabel 5.47. Spesifikasi Pompa Proses (PP-308)	95
Tabel 5.48. Spesifikasi Pompa Proses (PP-309)	95
Tabel 5. 49 Spesifikasi <i>Decanter</i> (DEC-301).....	96
Tabel 5.50 Spesifikasi <i>Sedimentation Basin</i> (SB – 401).....	97
Tabel 5. 51 Spesifikasi <i>Dissolving Tank Alum</i> (DT – 401).....	97
Tabel 5. 52 Spesifikasi <i>Dissolving Tank NaOH</i> (DT – 402).....	98
Tabel 5. 53 Spesifikasi <i>Dissolving Tank Kaporit</i> (DT – 403).....	98
Tabel 5. 54 Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CL-401)	99
Tabel 5. 55 Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-401).....	99
Tabel 5. 56 <i>Storage Tank Filtered Water</i> (ST – 401).....	100
Tabel 5. 57 <i>Storage Tank Domestic Water</i> (ST – 402)	100
Tabel 5. 58 Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-401)	101
Tabel 5. 59 Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB – 401).....	102
Tabel 5. 60 Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-401)	102
Tabel 5. 61 Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-401).....	103
Tabel 5. 62 Spesifikasi <i>Storage Tank Dispersant</i> (ST-403).....	103
Tabel 5. 63 Spesifikasi <i>Storage Tank Inhibitor</i> (ST-404)	104
Tabel 5. 64 Spesifikasi <i>Storage Tank Demin Water</i> (ST-405).....	104
Tabel 5. 65 Spesifikasi <i>Deaerator</i> (DA-501)	105
Tabel 5. 66 Spesifikasi <i>Storage Tank Hidrazin</i> (ST-502)	105
Tabel 5. 67 Spesifikasi <i>Boiler</i> (BO-501).....	106
Tabel 5. 68 Spesifikasi <i>Storage Tank Bahan Bakar</i> (ST-503).....	107
Tabel 5. 69 Spesifikasi <i>Blower Steam</i> (BS- 501).....	107
Tabel 5. 70 Spesifikasi <i>Storage Tank Air Kondensat</i> (ST-501).....	108
Tabel 5. 71 Spesifikasi <i>Cyclone</i> (CY-501).....	108
Tabel 5. 72 Spesifikasi <i>Air Dryer</i> (AD – 501)	109
Tabel 5.73 Spesifikasi <i>Air Compressor</i> (AC-601)	109
Tabel 5.74 Spesifikasi <i>Blower Udara 1</i> (BL – 601)	110
Tabel 5.75 Spesifikasi <i>Blower Udara 2</i> (BL – 602)	110

Tabel 5.76 Spesifikasi <i>Blower</i> Udara 3 (BL – 603)	110
Tabel 5.77 Spesifikasi <i>Blower</i> Udara 4 (BL – 604)	111
Tabel 5.78 Spesifikasi <i>Generator</i> Listrik (GS-701).....	111
Tabel 5.79 Spesifikasi Bak Penampung Limbah Cair (PL-801).....	111
Tabel 5.80 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 501).....	112
Tabel 5.81 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 502).....	112
Tabel 5. 82 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 503).....	113
Tabel 5. 83. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 504).....	113
Tabel 5. 84 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 505).....	114
Tabel 5. 85 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 506).....	114
Tabel 5. 86 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 507).....	115
Tabel 5. 87 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 508).....	115
Tabel 5. 88 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 509).....	116
Tabel 5. 89 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 510).....	116
Tabel 5. 90 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 511).....	117
Tabel 5. 91 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 512).....	117
Tabel 5. 92 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 513).....	118
Tabel 5. 93 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 514).....	118
Tabel 5. 94 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 515).....	119
Tabel 5. 95 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 516).....	119
Tabel 5. 96 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-601)	120
Tabel 5. 97 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-602)	120
Tabel 5. 98 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-603)	121
Tabel 5. 99 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-604)	121
Table 6.1. Kebutuhan Air Umum	123
Table 6.2 Kebutuhan Air Pendingin	124
Table 6.3. Persyaratan Kualitas Air Pendingin	124
Table 6.4. Kebutuhan Air Pembangkit Steam	127
Table 6.5. Karakteristik Sungai Bengawan Solo.....	134
Table 6.6 Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian	138
Table 6.7 Pengendalian Variabel Utama Proses.....	138
Tabel 7.1 Perincian Luas Area Pabrik.....	144

Tabel 8.1 Jadwal Kerja Masing-Masing Regu	161
Tabel 8.2 Perincian Tingkat Pendidikan	162
Tabel 8.3 Jumlah Operator Alat Proses	164
Tabel 8.4 Jumlah Operator Alat Utilitas.....	164
Tabel 8.5 Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan	165
Tabel 9.1 <i>Fixed Capital Investment</i>	169
Tabel 9.2 <i>Manufacturing Cost</i>	171
Tabel 9.3 <i>General Expenses</i>	172
Tabel 9.4 <i>Daftar Gaji Karyawan</i>	172
Tabel 9.5 <i>Minimum Acceptable Percent Return on Investment</i>	174
Tabel 9.6. <i>Acceptable Payout Time</i> untuk Tingkat Risiko Pabrik	175
Tabel 9.7. <i>Discounted Cash Flow</i> Pabrik Metil Metakrilat Kapasitas 80.000 ton/tahun.....	177
Tabel 9.8. Hasil Uji Kelayakan Ekonomi.....	180

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Grafik Data Impor Metil Metakrilat di Indonesia tahun 2012-2021	5
Gambar 1.2. Grafik Kebutuhan Metil Metakrilat di Asia Tenggara	6
Gambar 1.3. Perencanaan Lokasi Pabrik.....	11
Gambar 6.1. Diagram Cooling Water System.....	126
Gambar 7.1 Tata Letak Pabrik.....	144
Gambar 7.2. Tata Letak Peralatan Proses.....	146
Gambar 7.3. Peta Kabupaten Gresik (Pemerintah Kabupaten Gresik, 023).....	147
Gambar 7.4. Peta Lokasi Pabrik (Google Earth, 2022).....	147
Gambar 8.1. Struktur Organisasi Perusahaan.....	152
Gambar 9.1. Grafik Analisis Ekonomi	176
Gambar 9.2. Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i>	180

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan industri menyebabkan semakin meningkatnya kebutuhan berbagai produk kimia, di antaranya metil metakrilat. Metil metakrilat (MMA) dengan rumus molekul $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$ merupakan senyawa yang dapat digunakan dalam industri cat, industri peralatan rumah tangga, industri komestik, dan industri polimer (Ullmann's, 1989).

Metil metakrilat dengan rumus molekul $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$ merupakan senyawa turunan ester dan salah satu bentuk monomer dari resin akrilik yang digunakan dalam industri cat, resin, peralatan rumah tangga, kosmetik dan polimer. Bahan kimia ini mudah terbakar, pada suhu kamar berbentuk cairan tak berwarna, mendidih pada temperatur 101°C , sedikit larut dalam air dan beberapa pelarut organik lainnya. Bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan metil metakrilat adalah aseton sianohidrin, asam sulfat dan metanol (Ullmann's, 1989). Penggunaan metil metakrilat dan turunannya secara komersil ditemukan pertama kali oleh Otto Rohm pada tahun 1901 dari University of Tubingen, Germany yang menggambarkan pembuatan lembaran seperti karet yang jernih dan tidak berwarna (Kirk dan Othmer, 1995).

Pada tahun 1914, Rohm memperoleh paten untuk aplikasi akrilat namun pembuatan monomer metakrilat belum dikembangkan secara komersil hingga tahun 1930. Pada tahun 1983, metil metakrilat mulai diproduksi di Jepang oleh Mitsubishi Gas Chemical Co. melalui proses oksidasi isobutane yang dikembangkan kembali pada tahun 1988 melalui proses aseton sianohidrin (Bauer, 2011). Metil metakrilat sangat diperlukan untuk berbagai jenis bahan baku di industri kimia. Seiring meningkatnya kebutuhan metil metakrilat maka diperlukan pengembangan metode esterifikasi yang memungkinkan produksi secara kontinyu dan efisien.

Penggunaan metil metakrilat menjadi cukup luas sehingga banyak digunakan dalam industri lembaran akrilik (28%), produk cetakan (26%), pelapis (20), impact modifier (11%), dan lainnya (15%) (Kirk and Othmer, 1995). Metil metakrilat di Indonesia masih terbatas penggunaannya pada industri plastik, jenis resin, perekat, dan cat. Berdasarkan data yang diperoleh dari Biro Pusat Statistik (BPS), kebutuhan metil metakrilat di Indonesia cenderung meningkat setiap tahunnya. Namun, saat ini belum ada pabrik yang memproduksi metil metakrilat didalam negeri sehingga untuk memenuhi kebutuhan metil metakrilat masih impor dari berbagai negara di Asia, Amerika, dan Eropa.

Oleh karena itu, perencanaan pendirian pabrik metil metakrilat dengan bahan baku aseton sianohidrin dan metanol merupakan suatu langkah awal sebagai upaya pemenuhan kebutuhan industri di Indonesia. Pendirian pabrik didukung dengan dasar pertimbangan seperti teknologi yang dibutuhkan dapat terpenuhi, sebagian bahan baku mudah didapat, memiliki potensi pasar yang tinggi, dan tersedianya tenaga kerja yang memadai. Adanya pabrik metil metakrilat diharapkan dapat memenuhi kebutuhan bahan metil metakrilat didalam negeri sehingga memacu tumbuhnya industri-industri yang memerlukan metil metakrilat sebagai bahan baku serta dapat menciptakan lapangan pekerjaan baru

1.2 Kegunaan Produk

Metil Metakrilat secara umum digunakan dalam beberapa bidang, antara lain:

1) Bidang Industri Polimer

a. Polimetil Metakrilat (PMMA)

Penggunaan terbesar metil metakrilat adalah sebagai bahan baku dalam pembuatan polimetil metakrilat, yaitu sebesar 47% (ICIS, 2007). Polimetil Metakrilat merupakan salah satu jenis resin sintesis dari hasil polimerisasi metil metakrilat dengan metode emulsi dan suspensi. Bahan ini berupa plastik bening, keras dan kuat, namun ringan dan fleksibel (britannica.com). PMMA digunakan sebagai bahan alternatif untuk kaca mobil dan pesawat, lensa lampu eksterior

mobil, panel instrumen, bahan atap rumah, dan lain-lain. Bahan ini sering disukai karena penanganannya dan pemrosesannya yang mudah, serta memiliki biaya yang rendah.

b. Resin Akrilik

Resin Akrilik merupakan plastik (resin) yang dihasilkan melalui reaksi kimia dengan cara menerapkan inisiator polimerisasi dan pemanasan MMA. Resin akrilik digunakan untuk pembuatan protes medis serta restorasi dan peralatan gigi, seperti bahan denture base, basis gigi tiruan, dan bahan untuk mengganti gigi tiruan.

c. Cat dan Pelapis

Penggunaan metil metakrilat antara lain sebagai pelapis logam, sealant, pemoles lantai, perekat, tinta, industrial finishing, textile finishing, PVC impact modifiers, dan lainnya. Cat dan pelapis mudah untuk diaplikasikan sehingga menghasilkan lapisan permukaan pelindung yang tahan lama.

2) Bidang Industri Kosmetik

Metil metakrilat dan turunannya digunakan sebagai bahan pengikat pada pembuatan kuku sintesis dan pewarna kuku. Sebagai bahan pengikat pada kuku sintesis, metil metakrilat bersifat lebih cepat dan lebih kuat melekat dibandingkan bahan lainnya. Komponen yang menyusun cat kuku salah satunya adalah pembentuk selaput utama film (15%) yaitu nitroselulosa, polimer metakrilat, polimer vinil, merupakan komponen tahan air yang menghasilkan selaput mengkilat dan melekat pada nail plate (Harjanti et al., 2009).

3) Bidang Kesehatan

Dalam bidang kedokteran gigi, jenis metil metakrilat yang dapat digunakan yaitu berbasis ester asam metakrilat dan ester asam akrilat.

Penggunaan resin akrilik ini sebagai bahan denture base, orthodontic base, gigi tiruan, pembuatan anasir gigi tiruan (artificial teeth), dan bahan untuk mengganti gigi rusak. Resin akrilik jenis heat cured sampai saat ini masih menjadi pilihan utama dalam penggunaan gigi tiruan. Bahan tersebut dipilih karena mempunyai sifat antara lain tidak toksik, mudah dimanipulasi, tidak menimbulkan iritasi, tidak larut dalam jaringan mulut meskipun sedikit menyerap air, mempunyai estetika yang cukup baik, warna dapat dibuat mirip gingiva, mudah diperbaiki, dan harganya terjangkau (Combe, 1992).

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang dapat digunakan untuk produksi metil Metakrilat adalah sebagai berikut:

Tabel 1.1. Sumber Bahan Baku Utama

No.	Bahan baku	Produsen	Kapasitas (ton/tahun)
1.	Aseton Sianohidrin	Hangzhou Meite Industry Co., Ltd, China	665.000
2.	Methanol	PT. Kaltim Methanol Industri	1.170.0000
3.	Asam Sulfat	PT. Petrokimia Gresik	550.000

1.4. Analisis Pasar

Langkah yang dilakukan untuk mengetahui besarnya minat pasar terhadap suatu produk adalah dengan menggunakan analisis pasar. Analisis pasar meliputi data impor, data kebutuhan di luar negeri, dan data produksi Metil Metakrilat.

A. Data Impor Metil Metakrilat di Indonesia

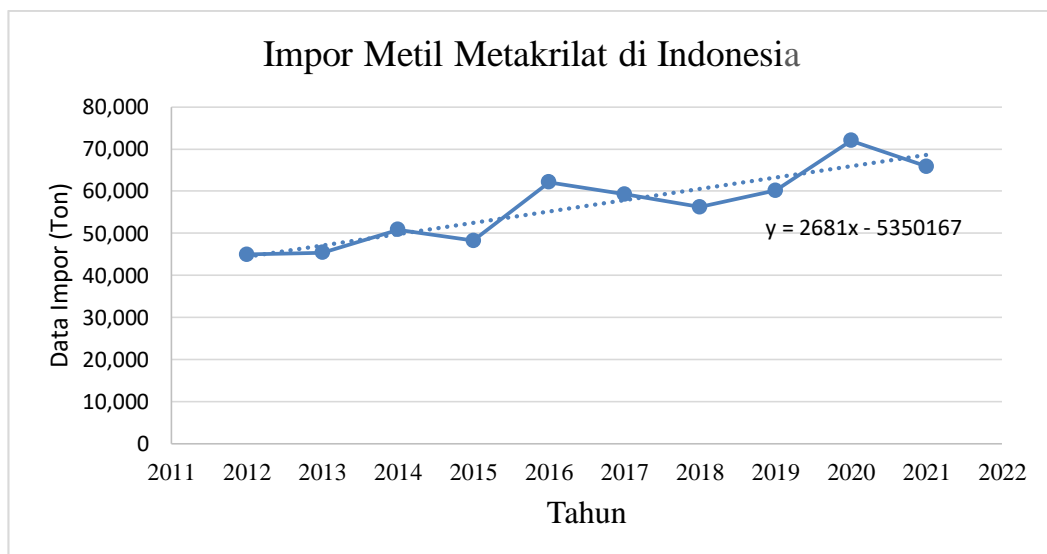
Hingga saat ini di Indonesia belum terdapat pabrik metil metakrilat, maka untuk memenuhi kebutuhan metil metakrilat tersebut diperoleh dari impor. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), Indonesia memiliki

kebutuhan impor Metil Metakrilat yang dapat dilihat pada Tabel 1.2. sebagai berikut:

Tabel 1.2. Data Impor Metil Metakrilat di Indonesia tahun 2012-2021

Tahun Ke-	Tahun	(Kg/tahun)	(Ton/tahun)
1	2012	44.968.759	44.968,76
2	2013	45.400.162	45.400,16
3	2014	50.814.032	50.814,03
4	2015	48.264.529	48.264,53
5	2016	62.136.911	62.136,91
6	2017	59.245.315	59.245,32
7	2018	56.245.315	56.245,32
8	2019	60.159.138	60.159,14
9	2020	72.025.854	72.025,85
10	2021	63.884.897	63.884,9

Sumber : (BPS, 2022)



Gambar 1.1. Grafik Data Impor Metil Metakrilat di Indonesia tahun 2012-2021

Dari grafik diatas, dilakukan pendekatan menggunakan regesi linier sehingga didapatkan persamaan linear yaitu $y = 2681x - 5350167$ dimana nilai y = Kebutuhan impor metil metakrilat (Ton) dan nilai x = Tahun

2027. Sehingga dapat diketahui bahwa kebutuhan Metil Metakrilat di Indonesia pada tahun 2027 ialah:

$$y = 2.681(x) - 5.350.167$$

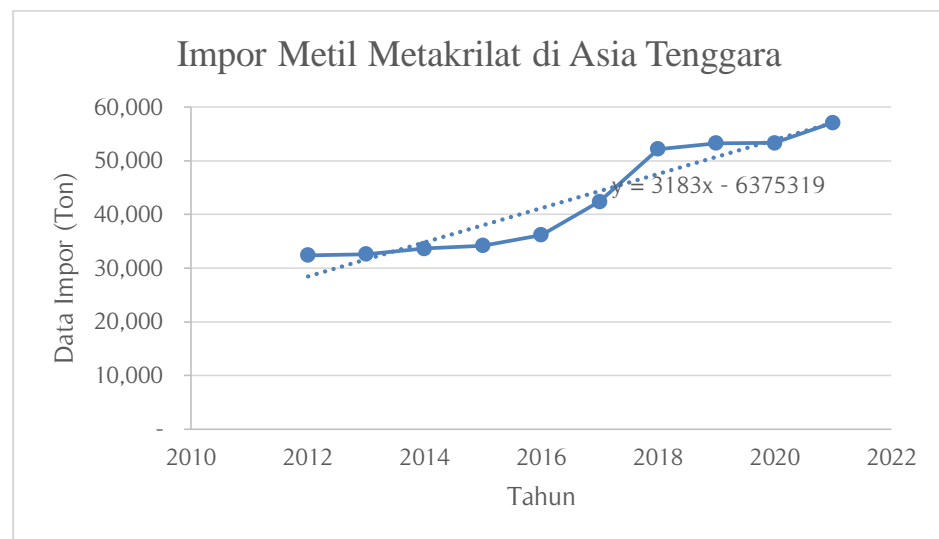
$$y = 2.681(2027) + 5.350.167$$

$$y = 84.220 \text{ ton/tahun}$$

Dari persamaan matematika tersebut dapat diketahui bahwa perkiraan kebutuhan metil metakrilat di Indonesia pada tahun 2027 sekitar ± 84.220 ton/tahun.

B. Data Impor Metil Metakrilat di Asia Tenggara

Metil Metakrilat yang akan diproduksi juga bertujuan untuk menambah devisa negara melalui ekspor ke negara lain. Berikut kebutuhan Metil Metakrilat di Asia Tenggara terlihat pada Tabel 1.2.



Gambar 1.2. Grafik Kebutuhan Metil Metakrilat di Asia Tenggara Tahun 2012-2021

Tabel 1.3. Data Impor Metil Metakrilat di Asia Tenggara 10 Tahun Terakhir

Tahun	Impor (Ton)					Total Impor (Ton)
	Malaysia	Philipina	Singapura	Thailand	Vietnam	
2012	16.459,77	480,02	1.390,01	6.185,96	9.807,57	34.414,37
2013	14.128,28	681,96	1.127,80	6.420,76	10.198,87	32.626,02
2014	14.347,30	1.143,67	1.197,04	7.286,25	9.587,42	33.659,75
2015	13.640,72	1.921,80	955,72	5.586,84	8.268,15	30.714,37
2016	12.984,14	4.304,16	1.147,90	5.988,25	8.169,60	33.169,38
2017	16.553,01	3.360,13	3.468,63	6.213,53	9.787,54	40.410,05
2018	18.755,22	2.842,04	13.471,16	8.150,87	8.149,15	52.162,03
2019	24.379,38	3.625,36	8.947,95	5.732,60	10.166,13	53.280,84
2020	19.031,09	2.836,74	12.065,11	5.345,93	10.103,63	50.314,36
2021	20.751,15	1.628,59	16.118,26	7.865,21	9.656,53	57.097,64

(Sumber: Undata, 2012 – 2021)

Dari grafik diatas, dilakukan pendekatan menggunakan regesi linier sehingga didapatkan persamaan linear yaitu $y = 3183x + 6375319$ dimana nilai y = Kebutuhan impor metil metakrilat (Ton) dan nilai x = Tahun 2027. Sehingga dapat diketahui bahwa kebutuhan Metil Metakrilat di Asia Tenggara pada tahun 2027 ialah:

$$y = 3183 (x) - 6375319$$

$$y = 3183(2027) - 6375319$$

$$y = 76.622 \text{ ton/tahun}$$

Dari persamaan matematika tersebut dapat diketahui bahwa perkiraan kebutuhan metil metakrilat di Asia Tenggara pada tahun 2027 sekitar \pm 76.622 ton/tahun.

C. Referensi Data Produksi Dunia

Berdasarkan data pada Encyclopedia of Chemical Technology (Kirk dan Othmer, 1995), bahwa kapasitas yang menguntungkan untuk pabrik metil metakrilat adalah berkisar 10.000 hingga 400.000 ton/tahun. Kapasitas pabrik metil metakrilat dengan proses acetone cyanohydrin (ACH) di luar negeri ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 1.4. Data Pabrik Metil Metakrilat di Dunia

No	Pabrik	Kapasitas (Ton/Tahun)
1	Rohm and Haas, Deer Park (Texas)	372.000
2	Lucite International, Memphis (Tennessee)	290.000
3	CyRo, Fortier (Louisiana)	125.000
4	Inoes and ICI, Billingham (Inggris)	220.000
5	Rohm/DeGussa, Worms/Wesseling (Jerman)	200.000
6	Atochem (Amerika Serikat)	135.000
7	Repsol/DeGussa, Worms/Wesseling (Jerman)	200.000
8	Mitsubishi Rayon, Ohtake (Jepang)	215.000
9	Mitsubishi Gas (Jepang)	50.000
10	Kuraray, Nakajo (Jepang)	50.000
11	Sumitomo Chemical Co. Ltd (Jepang)	100.000
12	LG MMA Corp. (Hongkong)	180.000
13	Thai MMA Co. Ltd. (Thailand)	90.000
14	Formosa Plasties (Taiwan)	154.000
15	Koashing Monomer Co. (Taiwan)	80.000
16	Fenoquimica (Mexico)	16.000
17	Quimica Metacril (Brazil)	13.000

(Kirk dan Othmer, 1995)

D. Kapasitas Produksi Pabrik

Kapasitas produksi dapat diartikan sebagai jumlah output yang dapat diproduksi dalam satuan waktu tertentu. Kapasitas produksi suatu pabrik ditentukan berdasarkan data kebutuhan produk, data impor, serta data produksi yang telah ada.

Berdasarkan dari berbagai pertimbangan diatas, prarancangan pabrik metil metakrilat ini dipilih dengan kapasitas sebesar 80.000 ton/tahun dan pabrik mulai beroperasi pada tahun 2027. Kapasitas prarancangan ini ditetapkan dengan alasan sebagai berikut:

- a. Mengurangi impor metil metakrilat dari luar negeri.
- b. Dapat menciptakan lapangan pekerjaan baru bagi masyarakat. sehingga mengurangi jumlah pengangguran serta meningkatkan perekonomian masyarakat Indonesia.
- c. Meningkatkan pertumbuhan industri kimia di Indonesia dalam rangka menghadapi era pasar global yang penuh persaingan.
- d. Menambah devisa negara dengan mengeksport ke negara di Asia Tenggara.

1.5. Tempat dan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik akan menentukan kemajuan serta kelangsungan pabrik tersebut. Pemilihan lokasi ini ditentukan berdasarkan ketersediaan bahan baku, sarana transportasi, dan beberapa faktor penunjang lainnya. Berikut faktor-faktor penentuan lokasi pabrik:

- a. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku asam sulfat dapat diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik dengan kapasitas produksi sebesar 1.170.0000 ton/tahun. Aseton sianohidrin diperoleh secara impor dari Hangzhou Meite Industry Co., Ltd di China. Sedangkan methanol diperoleh dari PT. Kaltim Methanol Industri di Kalimantan Timur dengan kapasitas produksi 660.000 ton/tahun.

b. Pemasaran Produk

Untuk pemasaran produk perlu diperhatikan letak pabrik dengan pasar yang membutuhkan produk tersebut guna menekan biaya pendistribusian ke lokasi pasar dan waktu pengiriman. Pasar potensial produk metil metakrilat di Indonesia banyak digunakan didaerah industri Jawa, Sumatera dan Kalimantan. Terdapat beberapa pabrik di Indonesia yang mengolah metil metakrilat menjadi produk lanjutan, diantaranya yaitu PT SHCP Indonesia, PT Avia Avian, PT Arindo Pasific Chemical, PT Propan Raya, PT Nippon Paint, PT ICI Paint, PT Citra Resin, dan lainnya. Sedangkan di luar negeri terdapat tiga negara pengimpor teratas metil metakrilat, yaitu Arab Saudi (6.718 ton), Taiwan (3.686 ton), dan Jerman (1.744 ton).

Tabel 1.5. Pemasaran Produk Metil Metakrilat di Indonesia

Perusahaan	Kapasitas Produksi	Lokasi
PT SHCP Indonesia	13.200 ton/tahun	Gresik
PT Avia Avian	200.000 ton/tahun	Sidoharjo
PT Arindo Pacific Chemical	36.000 ton/tahun	Bogor
PT Propan Raya	70.000 ton/tahun	Tangerang
PT Nippon Paint	250.000 ton/tahun	Purwakarta

(Sumber: apc.co.id; shcp.com.sg; propanraya.com)

c. Fasilitas Transportasi

Ketersediaan transportasi yang mendukung distribusi produk dan bahan baku baik melalui darat maupun laut. Gresik merupakan wilayah yang cukup strategis untuk mendirikan sebuah pabrik dikarenakan telah tersedianya akses transportasi baik jalur darat maupun perairan. Kawasan Gresik memiliki beberapa pelabuhan diantaranya adalah Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, Meneng (Banyuwangi), Panarukan (Madura) yang dapat mempermudah dalam penerimaan bahan baku maupun pengiriman produk. Selain itu, Jawa Timur landasan udara yang cukup besar yaitu Bandara Djuanda.

d. Utilitas

Untuk menjalankan proses produksi pabrik diperlukan sarana pendukung seperti pembangkit tenaga listrik dan ketersediaan air. Untuk kebutuhan air, dapat diperoleh dari Sungai Bengawan Solo dengan debit air 257,4 m³/detik. Sungai ini terletak tidak jauh dari lokasi pendirian pabrik sehingga mudah untuk mendistribusikannya. Selain itu, Kawasan Industri Gresik dekat dengan PLTGU PT PJB UP Gresik yang merupakan anak perusahaan PT PLN dengan daya listrik sebesar 2255 MW untuk digunakan sebagai sumber energi untuk menggerakkan alat-alat produksi pabrik.

e. Ketersediaan Tenaga Kerja

Kebutuhan tenaga kerja pabrik dapat terpenuhi dari daerah sekitar lokasi pabrik, mulai dari tenaga kerja terdidik, terlatih, terampil, hingga tenaga kerja kasar. Dengan memanfaatkan masyarakat sekitar sebagai tenaga kerja, maka berdirinya pabrik ini dapat mengurangi pengangguran di daerah tersebut, dan mampu meningkatkan taraf hidup masyarakat setempat.

Dengan pertimbangan faktor tersebut maka pemilihan lokasi prarancangan pabrik Metil Metakrilat dapat dibangun di Jl. Raya Sukomulyo, Maduran, Roomo, Kec. Manyar, Kabupaten Gresik, Jawa Timur 61151.



Gambar 1.3. Perencanaan Lokasi Pabrik

II. PEMILIHAN PROSES

2.1 Jenis- Jenis Proses

Menurut Kirk and Othmer (1995), berdasarkan bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan metil metakrilat dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu:

1. Pembuatan Metil Metakrilat dari Aseton Sianohidrin

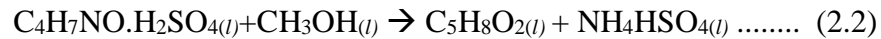
Proses pembuatan metil metakrilat monomer (MMA) menggunakan aseton sianohidrin diproduksi secara komersil sejak tahun 1937. Proses ini dilakukan dengan 2 tahapan reaksi yaitu reaksi hidrolisis dan reaksi esterifikasi. Reaksi hidrolisis dimulai dengan menghidrolisa aseton sianohidrin dengan asam sulfat (H_2SO_4) berlebih dengan rasio molar (1,3-1,8 mol asam sulfat per mol aseton sianohidrin). Asam sulfat akan berfungsi sebagai reaktan, katalis, dan pelarut dalam reaksi. Jika asam sulfat yang digunakan tidak mencukupi, campuran reaksi menjadi sulit untuk dipompa dan perpindahan panas yang terjadi tidak merata. Hal tersebut dapat mengakibatkan dekomposisi aseton sianohidrin menjadi produk samping berupa aseton sulfonat, formamida sulfat, dan karbon monoksida (Kirk and Othmer, 1995).

Tahapan reaksi hidrolisis berlangsung di dalam reaktor tangki alir berpengaduk pada kondisi operasi $130^{\circ}C$ dengan tekanan 1 atm. Diikuti dengan proses perengkahan termal (*thermal cracking*) singkat pada suhu $125-160^{\circ}C$ dan tekanan 1 atm untuk mengubah produk samping α -hydroxyisobutyramide sulfate menjadi metakrilamid sulfat. Pada proses ini membutuhkan waktu sekitar 1 jam dengan konversi yang dihasilkan 90-98%. Reaksi yang berlangsung di reaktor hidrolisis yaitu sebagai berikut:



Proses selanjutnya, ekstraksi metakrilamid sulfat dengan metanol berlebih di dalam reaktor esterifikasi (reaktor tangki alir berpengaduk) pada kondisi operasi suhu $105^{\circ}C$ dan tekanan 7 atm untuk mendapatkan produk metil

metakrilat dengan produk samping amonium bisulfat (NH_4SO_4). Konversi yang didapat melalui proses esterifikasi sebesar 80-98%. Reaksi yang berlangsung di reaktor esterifikasi yaitu:



Metil metakrilat yang masih mengandung banyak pengotor (*crude methyl methacrylate*) akan melalui proses pemisahan dan proses pemurnian menggunakan kolom distilasi hingga menghasilkan produk dengan kemurnian >99% (Kirk and Othmer, 1995).

2. Pembuatan Metil Metakrilat dari Isobutilena atau Isobutanol

Tahapan pertama untuk membuat metil metakrilat dari Isobutilena dapat dilakukan dengan cara mengoksidasi isobutanol menjadi metakrolein, kemudian tahap kedua adalah mengoksidasi metakrolein menjadi metil metakrilat pada suhu 350°C dan tekanan 1 atm dengan konversi 99% serta selektivitas 86%. Kedua reaksi ini berlangsung dengan bantuan katalis. Katalis yang digunakan berbahan dasar campuran metal kompleks yang terdiri dari beberapa bahan seperti molybdenum, bismuth, besi, dan kobalt. Bahkan beberapa industri menggunakan tambahan seperti nikel, tungsten.

Proses ini dapat menghasilkan selektivitas methacrolein sebesar 85% hingga lebih dari 95%. Sedangkan pada proses oksidasi methacrolein menjadi asam metakrilat, pada umumnya menggunakan katalis yang berbahan asam, seperti tembaga, vanadium, dan metal alkali berat. Selektivitas asam metakrilat yang didapatkan dari proses ini dapat mencapai 85% - 95%. Pada tahapan terakhir, yaitu pembuatan metil metakrilat, katalis yang sering digunakan merupakan katalis asam sulfat. Hasil konversi metil metakrilat yang didapatkan sebesar 75% (Kirk and Othmer, 1995).

3. Pembuatan Metil Metakrilat dari Etilena

Pembuatan metil metakrilat dari etilena melewati 4 tahap yaitu mengkondensasi etilena dengan karbon monoksida dan hidrogen untuk

mendapatkan propanoldehid pada fase gas dengan kondisi operasi 10 atm. Propanoldehid kemudian direaksikan dengan formaldehid untuk mendapatkan metakrolein pada kondisi operasi suhu 160°C dengan konversi 86% (Carbide, 1977). Selanjutnya propionaldehid diraksikan dengan dildehid untuk mendapatkan metakrolein dalam kondisi operasi tekanan 50 atm, 160°C dengan konversi 98% (Duembgen dkk, 1985). Reaksi berjalan pada fase cair. Metakrolein yang terbentuk direaksikan dalam fase gas dengan oksigen pada tekanan 1 atm dan suhu 300°C, sehingga menghasilkan asam metakrilat yang kemudian direaksikan dengan metanol menghasilkan metil metakrilat. Reaksi tahap terakhir tersebut terjadi pada fase cair pada suhu 70°C dan tekanan 1 atm. Reaksi ini akan memberikan konversi sebesar 90% dengan menggunakan katalis berupa logam multi komponen (Shimizu dan Yoshida, 1988; Krik-Orthmer, 1995).

2.2 Pemilihan Proses

Dalam pemilihan proses yang akan digunakan, maka harus mempertimbangkan beberapa faktor yang ditinjau dari aspek ekonomi meliputi biaya bahan baku dan harga produksi serta harga jual produ. Selain itu, juga harus mempertimbangkan dari aspek Termodinamikanya meliputi suhu operasi, tekanan operasi, energi bebas gibbs pembentukan (ΔG°_f) dan panas pembentukan standar (ΔH°_f).

Energi bebas gibbs (ΔG°) merupakan tingkat spontanitas dari suatu reaksi kimia. ΔG° yang bernilai positif (+), maka menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan. Sedangkan ΔG° yang bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan dan hanya sedikit membutuhkan energi. Oleh karena itu, apabila ΔG° dari suatu reaksi semakin kecil atau negatif maka reaksi tersebut akan semakin baik karena reaksi berlangsung secara spontan serta membutuhkan energi yang sedikit juga, begitu pun sebaliknya.

Panas pembentuk standar (ΔH°) merupakan besarnya panas reaksi yang mampu dihasilkan atau dibutuhkan untuk berlangsungnya suatu reaksi kimia. ΔH° dapat bernilai positif (+), yang menunjukkan bahwa reaksi tersebut membutuhkan panas untuk melangsungkan reaksi kimia tersebut (*endoterm*). Sedangkan untuk ΔH° dapat bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi (*eksoterm*).

A. Pembuatan Metil Metakrilat dari Aseton Sianohidrin

1. Tinjauan Ekonomi

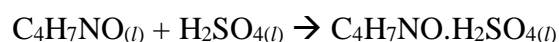
Tinjauan ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui potensi ekonomi (EP) berdasarkan perhitungan ekonomi kasar, pembelian bahan baku dan penjualan sebagai berikut:

Tabel 2.1. Harga Bahan Baku dan Produk (Alibaba,2022)

Komponen	Rumus Molekul	BM (kg/kmol)	Harga (Rp)/kg
Aseton Sianohidrin	C ₄ H ₇ NO	85,11	17.205,54
Asam Sulfat	H ₂ SO ₄	98,08	1032,33
Metakrilat Sulfat	C ₄ H ₇ NO.H ₂ SO ₄	183,178	0
Metanol	CH ₃ OH	32,04	586,55
Metil Metakrilat	C ₃ H ₈ O ₂	100,11	31282,80
Amonium Bisulfat	NH ₄ HSO ₄	115	6.619,57

Reaksi yang terjadi pada proses pembuatan metil metakrilat dari aseton sianohidrin adalah sebagai berikut:

a) Reaksi Hidrolisis



Konversi (X) reaksi pembentukan metil metakrilat dari aseton sianohidrin pada proses ini adalah 98%. Sehingga untuk menentukan harga pembelian dan penjualan dilakukan perhitungan stokiometri sebagai berikut.

	$C_4H_7NO_{(l)}$	$+H_2SO_{4(l)}$	$\rightarrow C_4H_7NO.H_2SO_{4(l)}$
Mula-mula	n_{A0}	n_{B0}	
Bereaksi	$-n_{A0} \cdot X$	$-n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$
Akhir	$n_{A0} \cdot (1 - X)$	$n_{B0} - n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$

Basis perhitungan 1 Kg $C_4H_7NO.H_2SO_{4(l)}$,

$$\text{mol } C_4H_7NO.H_2SO_{4(l)} = \frac{1 \text{ Kg}}{183,178 \text{ Kg/mol}} = \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} = 0,0055 \text{ Kmol}$$

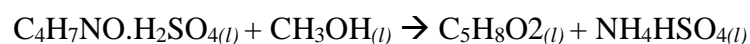
Karena koefisien $C_4H_7NO.H_2SO_{4(l)} = C_4H_7NO_{(l)}$, maka mol $C_4H_7NO.H_2SO_{4(l)}$ yang terbentuk sama dengan mol $C_4H_7NO_{(l)}$, sehingga mol $C_4H_7NO_{(l)}$ umpan masuk reaktor dapat dicari dengan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} \text{mol } C_4H_7NO.H_2SO_{4(l)} &= n_{A0} \cdot X \\ 0,0055 \text{ mol} &= n_{A0} \cdot 0,98 \\ n_{A0} &= \frac{0,0055}{0,98} \\ n_{A0} &= 0,0055 \text{ kmol} \end{aligned}$$

Sehingga :

	$C_4H_7NO_{(l)}$	$+ H_2SO_{4(l)}$	$\rightarrow C_4H_7NO.H_2SO_{4(l)}$
Mula-mula	0,0056 kmol	0,0089 kmol	-
Bereaksi	0,0056 kmol	0,0055 kmol	0,0055 kmol
Akhir	0,0001 kmol	0,0034 kmol	0,0055 kmol

b) Reaksi Esterifikasi



Konversi (X) reaksi pembentukan metil metakrilat dari aseton sianohidrin pada proses ini adalah 97%. Sehingga untuk menentukan pembelian dan penjualan dilakukan perhitungan stokiometri sebagai berikut.

	$C_4H_7NO.H_2SO_{4(l)}$	$+ CH_3OH_{(l)}$	$\rightarrow C_5H_8O_{2(l)}$	$NH_4HSO_{4(l)}$
Mula-mula	n_{A0}	n_{B0}		
Bereaksi	$-n_{A0} \cdot X$	$-n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$
Akhir	$n_{A0} \cdot (1 - X)$	$n_{B0} - n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$

Basis perhitungan 1 Kg $C_5H_8O_{2(l)}$,

$$\text{mol } C_5H_8O_{2(l)} = \frac{1 \text{ Kg}}{100,11 \text{ Kg/mol}} = 0,001 \text{ Kmol}$$

Sehingga:

	$C_4H_7NO.H_2SO_{4(l)}$	$+ CH_3OH_{(l)}$	$\rightarrow C_5H_8O_{2(l)}$	$+NH_4HSO_{4(l)}$
Mula-mula	0,00103 kmol	0,00309 kmol		
Bereaksi	0,001 kmol	0,001 kmol	0,001 kmol	0,001 kmol
Akhir	0,00003 kmol	0,00209 kmol	0,001 kmol	0,001 kmol

Berdasarkan stokiometri pada kedua reaksi diatas, dapat diketahui massa masing-masing reaktan dan produk yang dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Massa reaktan dan produk (aseton sianohidrin)

Komponen	Berat Molekul	Kmol	Kg	Harga (Rp)/kg
C_4H_7NO	85,11	0,011	0,936	17.205,54
H_2SO_4	98,08	0,0178	1.746	1.032,33
CH_3OH	32,04	0,011	0.352	586,55
$C_5H_8O_2$	100,11	0,01	1.001	31.282,80
NH_4HSO_4	115	0,01	1.150	6.619,57

- Harga penjualan produk

$$C_5H_8O_2 = 1 \text{ Kg} \times \text{Rp. } 31.282,80 = \text{Rp. } 31.282,80$$

$$\text{Total Harga Penjualan} = \text{Rp. } 31.282,80$$

- Biaya pembelian bahan baku

$$C_4H_7NO = 0,936 \text{ Kg} \times \text{Rp. } 17.205,54 = \text{Rp. } 16.104,48$$

$$H_2SO_4 = 1,746 \text{ Kg} \times \text{Rp. } 1.032,33 = \text{Rp. } 1.802,44$$

$$CH_3OH = 0,352 \text{ Kg} \times \text{Rp. } 586,55 = \text{Rp. } 206,46$$

$$\text{Total harga pembelian} = \text{Rp. } 18.113,38$$

- Keuntungan = Harga penjualan produk – Biaya pembelian bahan baku

$$= \text{Rp. } 31.282,80 - \text{Rp. } 18.113,38$$

$$= \text{Rp. } 13.169,42/\text{Kg produk}$$

Sedangkan persamaan untuk mendapatkan EP dari proses pembuatan metil metakrilat dari aseton sianohidrin ini adalah :

$$\text{EP} = \text{Total harga produk} - \text{Total Harga bahan baku}$$

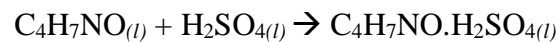
$$\text{EP} = (\text{Harga } \text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2) - (\text{Harga } \text{C}_4\text{H}_7\text{NO} + \text{Harga } \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Harga } \text{CH}_3\text{OH})$$

$$\text{EP} = \text{Rp. } (3.131.408,28) - (1.468.193,46 + 101.250,92 + 18.789,062)/\text{Kmol}$$

$$\text{EP} = \text{Rp. } 1.543.174,84/\text{kmol}$$

2. Tinjauan Termodinamika

- Enthalphi Reaksi (ΔH_r)
 - Reaksi Hidrolisis

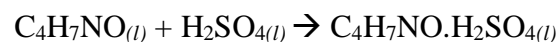


Adapun nilai konstanta A,B,C dan D *heat capacities* (Cp) untuk masing-masing komponen pada reaksi aseton sianohidrin (ACH) dan H₂SO₄ menjadi metakrilimid sulfat adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3. Konstanta Heat Capacities (CP) reaksi 1

Komponen	A	B	C	D
C ₄ H ₇ NO _(l)	123,447	0,721	-1,86.10 ⁻³	2,28.10 ⁻⁶
H ₂ SO _{4(l)}	26,004	0,70337	-1,386.10 ⁻³	1,034.10 ⁻⁶
C ₄ H ₇ NO.H ₂ SO _{4(l)}	-	-	-	-

Berdasarkan tabel 2.3, maka dapat diperoleh besarnya ΔA , ΔB , ΔD dan ΔE untuk pembentukan metakrilamid sulfat sesuai dengan reaksi berikut:



$$\Delta A = \Sigma A \text{ Produk} - \Sigma A \text{ Reaktan}$$

$$= (1 \times 0) - (1 \times 123,447) + (1 \times 26,004)$$

$$= -149,451$$

Dengan menggunakan langkah yang sama, maka diperoleh

$$\Delta B = -1,4244$$

$$\Delta C = 0,00325$$

$$\Delta D = -3,314 \cdot 10^{-6}$$

Tabel 2.4. Nilai Enthalpi Standar (ΔH°) reaksi 1

Komponen	ΔH°_{298} (J/mol)
$C_4H_7NO_{(l)}$	-133.000
$H_2SO_{4(l)}$	-813.989
$C_4H_7NO \cdot H_2SO_{4(l)}$	-920.100

Nilai enthalpi reaksi standar (ΔH°) pada reaksi ini diperoleh cara sebagai berikut :

$$\Delta H_{r^\circ, 298} = \sum \Delta H_{298, \text{produk}} - \sum \Delta H_{298, \text{reaktan}}$$

$$= (1 \times -920.100) - ((1 \times -133.000) + (1 \times -813.989)) \text{ J/mol}$$

$$= -104.781 \text{ J/mol}$$

Untuk mencapai nilai enthalpi reaksi (ΔH_{r°) pada temperatur reaksi 130°C digunakan persamaan berikut :

$$\Delta H_r = \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT$$

$$MCPH = \frac{C_{pH}}{R} = \Delta A + \frac{\Delta B}{2} T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau T_0^2}$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = MCPH \times (T - T_0)$$

$$\tau = \frac{T}{T_0}$$

Dengan :

$$R = 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

$$T = 130^\circ\text{C} (403 \text{ K})$$

Sehingga :

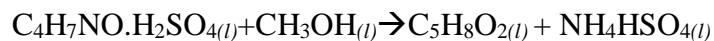
$$\tau = \frac{403 \text{ K}}{298 \text{ K}} = 1,35$$

$$MCPH = -247,276$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = -25.969,94$$

$$\begin{aligned} \Delta H_r &= \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT \\ &= -130.744,94 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

b) Reaksi Esterifikasi

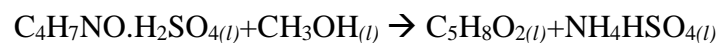


Adapun nilai konstanta A,B,C dan D *heat capacities* (CP) untuk masing-masing komponen pada proses esterifikasi metakrilimid sulfar menjadi MMA adalah sebagai berikut:

Tabel 2.5. Konstanta Heat Capacities (CP) proses esterifikasi metakrilamid sulfat

Komponen	A	B	C	D
$C_4H_7NO.H_2SO_{4(l)}$	-	-	-	-
CH_3OH	40,152	0,3105	$-1,03 \cdot 10^{-3}$	$1,46 \cdot 10^{-6}$
$C_5H_8O_2$	42,365	1,0787	$-3,16 \cdot 10^{-3}$	$3,78 \cdot 10^{-6}$
NH_4HSO_4	-	-	-	-

Berdasarkan tabel 2.5, maka dapat diperoleh besarnya ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD untuk proses esterifikasi metakrilamid sulfat sesuai dengan reaksi berikut :



$$\begin{aligned} \Delta A &= \Sigma A \text{ produk} - \Sigma A \text{ reaktan} \\ &= ((1 \times 40,152) + (1 \times 0)) - ((1 \times 0) + (1 \times 42,365)) \\ &= -2,213 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan langkah yang sama, maka diperoleh

$$\Delta B = -10,447$$

$$\Delta C = 0,002$$

$$\Delta D = 2,32 \cdot 10^{-6}$$

Tabel 2.6. Nilai entalpi standar (ΔH°) proses esterifikasi metakrilamid sulfat

Komponen	ΔH°_{298} (J/mol)
$C_4H_7NO.H_2SO_{4(l)}$	-920.1
CH_3OH	-200.900
$C_5H_8O_2$	-347,360
NH_4HSO_4	-1.042.910

Nilai entalpi reaksi standar (ΔH_r) pada proses ini diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta H_{r,298}^\circ &= \sum \Delta H_{298}^\circ \text{ .produk} - \sum \Delta H_{298}^\circ \text{ .reaktan} \\ &= ((1 \times -1.042.940) + (1 \times -347.360) + (1 \times 920.100)) \text{ J/mol} \\ &= -269.270 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Untuk mencari nilai enthalpi reaksi ΔG_r pada temperatur reaksi 150°C digunakan persamaan berikut :

$$\Delta H_r = \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT$$

$$MCPH = \frac{C_{pH}}{R} = \Delta A + \frac{\Delta B}{2} T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau T_0^2}$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = MCPH \times (T - T_0)$$

$$\tau = \frac{T}{T_0}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

$$T = 150^\circ\text{C} (423 \text{ K})$$

Sehingga :

$$\tau = \frac{423 \text{ K}}{298 \text{ K}} = 1,42$$

$$MCPH = 3.500,11$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = 367.511,62$$

$$\Delta H_r = \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT$$

$$= -636.781,6155 \text{ J/mol}$$

Sehingga dapat diketahui nilai enthalpi reaksi total ($\Delta H_{r,\text{total}}$) pada proses pembuatan metil metakrilat dari aseton sianohidrin sebagai berikut

$$\begin{aligned}\Delta H_{r,298}^{\circ} &= \sum \Delta H_{298}^{\circ} \text{ .produk} - \sum \Delta H_{298}^{\circ} \text{ .reaktan} \\ &= (-130.744,94) + (636.781,6155) \text{ J/mol} \\ &= -767.526,56 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Oleh karena itu, maka diperoleh nilai enthaloi reaksi ΔH_r pada proses pembuatan metil metakrilat dari aseton sianohidrin adalah sebesar $-767.526,56 \text{ J/mol}$. Nilai entalpi (ΔH_r) pada proses ini bernilai negatif, untuk menunjukkan bahwa reaksi ini berlangsung secara eksotermis atau menghasilkan sejumlah panas dalam proses pereaksinya

- Energi bebas gibbs reaksi (ΔG_r)

a) Reaksi Hidrolisis

Adapun energi bebas gibbs standar (ΔG°_{298}) untuk masing-masing komponen pada proses pembentukan metakrilamid sulfat dapat dilihat pada tabel 2.7

Tabel 2.7. Nilai energi bebas gibbs standar reaksi 1

Komponen	$\Delta H^{\circ}_{298} \text{ (J/mol)}$
$\text{C}_4\text{H}_7\text{NO} (l)$	-30.970
$\text{H}_2\text{SO}_4 (l)$	-690.003
$\text{C}_4\text{N}_7\text{NO} \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 (l)$	-832,390

Nilai enthalpi reaksi standar (ΔG_r) pada proses esterifikasi metakrilamid sulfat ini diperoleh dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta G_{r,298} &= \sum \Delta G_{r,298} \text{ produk} - \sum \Delta G_{r,298} \text{ ,reaktan} \\ &= (1 \times -832.390) - (1 \times -30.970) + (1 \times -690.003) \text{ J/mol} \\ &= -111.417 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔG_r pada temperatur reaksi 130°C digunakan persamaan berikut :

$$\Delta G_r = \left(\frac{\Delta H_{r,298}}{R} \right) \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right] RT - \frac{G_{r,298}}{RT}$$

Dengan :

$$R = 8,314 \text{ J/mol.k}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

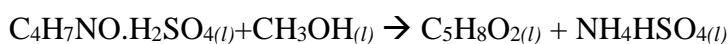
$$T = 130^\circ\text{C} (403\text{K})$$

Sehingga

$$\Delta G_r = \left(\frac{-104.781}{8,314} \right) \left[\frac{1}{403} - \frac{1}{298} \right] 8,314 \times 403 - \frac{-111.417}{8,314 \times 403} \text{ J/mol}$$

$$\Delta G_r = -43,970 \text{ J/mol}$$

b) Reaksi Hidrolisis



Adapun nilai energi bebas Gibbs standar ($\Delta G_{r,298}$) untuk masing-masing komponen pada proses esterifikasi metakrilamid sulfat dilihat pada tabel 2.8

Tabel 2.8. Nilai energi bebas gibbs standar proses esterifikasi metakrilamid sulfat

Komponen	ΔH°_{298} (J/mol)
$\text{C}_4\text{H}_7\text{NO} \cdot \text{H}_2\text{SO}_4(l)$	-832.390
CH_3OH	-162.200
$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	-241.590
NH_4HSO_4	-796.750

Nilai enthlpi reaksi standar (ΔG_r) pada proses esterifikasi metakrilamid sulfat ini diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta G_{r,298} &= \Sigma \Delta G_{r,298} \text{ produk} - \Sigma \Delta G_{r,298} \text{ reaktan} \\ &= (1 \times -796.790) + (1 \times -241.590) - (1 \times -832.390) + (1 \times -162.200) \text{ J/mol} \end{aligned}$$

$$= -43.970 \text{ J/mol}$$

Untuk mencari nilai ΔG_r pada temperatur reaksi 150°C

digunakan persamaan berikut:

$$\Delta G_r = \left(\frac{\Delta H_{r,298}}{R} \right) \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right] RT - \frac{G_{r,298}}{RT}$$

Dengan :

$$R = 8,314 \text{ J/mol.k}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

$$T = 150^\circ\text{C} (423\text{K})$$

Sehingga

$$\Delta G_r = \left(\frac{-269.270}{8,314} \right) \left[\frac{1}{423} - \frac{1}{298} \right] 8,314 \times 423 - \frac{-43.970}{8,314 \times 423} \text{ J/mol}$$

$$\Delta G_r = -36.886,226 \text{ J/mol}$$

Maka nilai energi Gibbs reaksi total :

$$\Delta G_{r,\text{total}} = \Delta G_{r,\text{rx1}} + \Delta G_{r,\text{rx2}}$$

$$= (-112.961,328) + (-36.886,226) \text{ J/mol}$$

$$= -149.847,5547 \text{ J/mol}$$

Setelah dilakukan perhitungan seperti diatas, maka diperoleh nilai energi bebas gibbs reaksi (ΔG_r) sebesar $-149.847,5547 \text{ J/mol}$. Nilai energi bebas gibbs (ΔG_r) pada proses pembuatan metil metakrilat dari aseton sianohidrin ini bernilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi pada proses ini berlangsung secara spontan dan tidak membutuhkan energi dalam proses pereaksinya.

B. Pembuatan Metil Metakrilat dari Isobutilen

1. Tinjauan Ekonomi

Tabel 2.9. Data bahan baku dan produk (isobutilen)

Komponen	Rumus molekul	Berat Molekul	Harga (Rp/Kg)	Harga (Rp/Kmol)
Isobutilen	C ₄ H ₈	56,108	16.390,80	919.655,01
Oksigen	O ₂	32	546.36	11.655,68
Metanol	CH ₃ OH	32,04	7.520,50	240.956,82
Metil Metakrilat	C ₅ H ₈ O ₂	100,11	25.224,72	2.525.246,72
Air	H ₂ O	18	0,00	0,00

Reaksi yang terjadi pada proses pembuatan metil metakrilat dari isobutilen adalah sebagai berikut

a) Reaksi



Konversi (x) reaksi pembentukan metil metakrilat dari isobutilen adalah 90% (krik-othmer, 1995). Sehingga untuk menentukan harga pembelian dan penjualan dilakukan perhitungan stokiometri sebagai berikut.

	CH ₂ =C(CH ₃) ₂	+3/2 O ₂ (g)	+CH ₃ OH (l)	→CH ₂ =C(CH ₃)CO ₂ CH ₃	+H ₂ O
Mula-mula	n_{A0}	n_{B0}	n_{B0}		
Bereaksi	$-n_{A0} \cdot X$	$-n_{A0} \cdot X$	$-n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$
Akhir	$n_{A0} \cdot (1 - X)$	$n_{B0} - n_{A0} \cdot X$	$n_{B0} - n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$

Basis perhitungan:

$$1 \text{ Kg C}_5\text{H}_8\text{O}_2 \text{ terbentuk (c)} = \frac{1 \text{ Kg}}{101,11 \text{ Kg/Kmol}} = 0,01 \text{ Kmol}$$

	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)_2$	$+3/2 \text{ O}_2 (\text{g})$	$+\text{CH}_3\text{OH} (\text{l})$	$\rightarrow \text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CO}_2\text{CH}_3$	$+\text{H}_2\text{O}$
Mula-mula	0,0112 Kmol	0,0167 Kmol	0,01112 Kmol		
Bereaksi	0,01 Kmol	0,015 Kmol	0,01 Kmol	0,01 Kmol	0,02 Kmol
Akhir	0,0012 Kmol	0,0017 Kmol	0,0012 Kmol	0,01 Kmol	0,02 Kmol

Berdasarkan stokiometri reaksi diatas, dapat diketahui masa masing-masing reaktan dan produk yang dapat dilihat pada tabel 2.10

Tabel 2.10. Massa reaktan dan produk (Isobutilen)

Komponen	Berat Molekul	Kmol	Kg	Harga (Rp)/kg
C_4H_8	56,108	0,0112	0,6284	16.390,80
O_2	32	0,0167	0,5344	546,36
CH_3OH	32,04	0,0112	0,3588	7.520,50
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$	100,11	0,01	1,0011	25.224,72
H_2O	18	0,02	0,36	-

- Harga penjualan produk

$$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2 = 1 \text{ Kg} \times \text{Rp. } 25.224,72$$

$$\text{Total harga penjualan} = \text{Rp. } 25.224,72$$

- Biaya pembelian bahan baku

$$\text{C}_4\text{H}_8 = 0,6284 \text{ Kg} \times \text{Rp. } 16.390,80 = \text{Rp. } 10.299,98$$

$$\text{O}_2 = 0,5344 \text{ Kg} \times \text{Rp. } 546,46 = \text{Rp. } 291,97$$

$$\text{CH}_3\text{OH} = 0,36 \text{ Kg} \times \text{Rp. } 7.520,50 = \text{Rp. } 2.707,36$$

$$\text{Total harga} = \text{Rp. } 13.299,33$$

- Keuntungan = Harga penjualan produk – biaya pembelian bahan baku

$$= \text{Rp. } 25.224,72 - \text{Rp. } 13.299,33$$

$$= \text{Rp. } 11.925,39/\text{Kg produk}$$

Sedangkan persamaan untuk mendapatkan EP dari proses pembuatan metil metakrilat dari isobutilen ini adalah :

EP = Total harga produk – Total harga bahan baku (Smith, R., 1995)

EP = (Harga C₃H₈O₂ + Harga H₂O) – (hargaC₄H₈ + Harga O₂ + Harga CH₃OH)

EP = Rp. (2.525.246,72 + 1) – (919.655,01 + 11.655,68 + 240.956,82)/Kmol
= Rp. 1.352.979,21/Kmol

b) Tinjauan Termodinamika

• Enthaply Reaksi (ΔH_r)

Adapun nilai konstanta A,B, C dan D panas spesifik (cp) untuk masing-masing komponen pada proses pembuatan metil metakrilat dari isobutilen adalah sebagai berikut.

Tabel 2.11. Konstanta kapasitas panas (CP) proses isobutilen

Komponen	A	B	C	D
C ₄ H _{8(g)}	24,915	0,20648	5,98.10 ⁻⁵	-1,41.10 ⁻⁷
O _{2(g)}	3,639	0,506.10 ³	-	-0,227.10 ⁻⁷
CH ₃ OH _(l)	40,152	0,3105	-1,03.10 ⁻³	1,46.10 ⁻⁶
C ₄ H ₆ O _(g)	14,506	0,15922	3,11.10 ⁻⁴	1,42.10 ⁻¹⁰
C ₄ H ₆ O _{2(g)}	-28,131	0,54744	-5,388.10 ⁻⁴	2,86.10 ⁻⁷
C ₄ H ₆ O _{2(l)}	99,188	0,4931	-1,23.10 ⁻³	1,56.10 ⁻⁶
C ₅ H ₈ O _{2(l)}	42,365	1,0787	-3,16.10 ⁻³	3,78.10 ⁻⁶
H ₂ O _(l)	8,71	1,25.10 ³	-0,18.10 ⁶	-

Sumber: Yaws, 1996 dan J.S. Smith, 1975.

Tabel 2.12. Nilai enthalphi standar standar (ΔH°_{298}) proses isobutilen

Komponen	A
C ₄ H _{8(g)}	-0.5.10 ³
O _{2(g)}	0
CH ₃ OH _(l)	-200,9.10 ³
C ₄ H ₆ O _(g)	-112.10 ³
C ₄ H ₆ O _{2(g)}	-361,8.10 ³

$C_4H_6O_2(l)$	$-347,36 \cdot 10^3$
$H_2O(l)$	$-285,851 \cdot 10^3$

a) Reaksi 1

Berdasarkan tabel 2.12 Maka dapat diperoleh besaran ΔA , ΔB , ΔC dan ΔD untuk proses pembuatan metil metakrilat dari isotilen, sesuai dengan reaksi berikut



$$\Delta A = \Sigma A \text{ Produk} - \Sigma A \text{ Reaktan}$$

$$\begin{aligned} &= (1 \times 14,506) + (1 \times 8,712) - (1 \times 24,915) + (1 \times 3,639) \\ &= -5,336 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan langkah yang sama, maka dapat diperoleh :

$$\Delta B = 743,953$$

$$\Delta C = -180,000$$

$$\Delta D = 1,6 \cdot 10^{-7}$$

Nilai entalpi reaksi standar (ΔH_r) pada proses pembentukan metakrilat dari isobutilen ini berdasarkan tabel 2.12 diperoleh dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta H_r^{\circ, 298} &= \Sigma \Delta H_{r298} \text{ Produk} - \Sigma \Delta H_{r298} \text{ Reaktan} \\ &= ((-112 \cdot 10^{-3}) + (-285,851 \cdot 10^{-3})) - (0,5 \cdot 10^{-3}) + (0) \text{ J/mol} \\ &= 112.214,149 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai entalpi reaksi (ΔH_r°) pada temperatur reaksi 350°C digunakan persamaan berikut:

$$\Delta H_r = \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT$$

$$MCPH = \frac{C_{pH}}{R} = \Delta A + \frac{\Delta B}{2} T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau T_0^2}$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = MCPH \times (T - T_0)$$

$$\tau = \frac{T}{T_0}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

$$T = 350^\circ\text{C} (623 \text{ K})$$

Sehingga:

$$\tau = \frac{623 \text{ K}}{298 \text{ K}} = 2,09$$

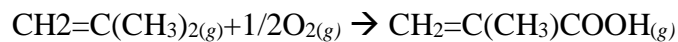
$$MCPH = -39.754.877.359,619$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = -1,29 \times 10^{13}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_r &= \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT \\ &= -12,9 \times 10^9 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

b) Reaksi 2

Berdasarkan tabel 2.12 maka dapat diperoleh besaran ΔA , ΔB , ΔC dan ΔD untuk proses pembuatan metil metakrilat dari isobutilen, sesuai dengan reaksi berikut:



$$\begin{aligned} \Delta A &= \Sigma A \text{ Produk} - \Sigma A \text{ Reaktan} \\ &= (1 \times 28,131 + (1 \times 14,506)) - (1/2 \times 3,639) \\ &= -44,457 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan langkah yang sama, maka dapat diperoleh

$$\Delta B = -252,612$$

$$\Delta C = -0,0008498$$

$$\Delta D = 2,97 \cdot 10^{-6}$$

Nilai enthalpi reaksi standar (ΔH_r°) pada proses pembentukan metil metakrilat dari isobutilen ini berdasarkan tabel 2.12 diperoleh dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta H_{r,298}^\circ &= \Sigma \Delta H_{298} \text{ .produk} - \Sigma \Delta H_{298} \text{ .reaktan} \\ &= (-361,8 \cdot 10^3) + (-112,103) + (0) \text{ J/mol} \\ &= -473.800 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai enthalpi reaksi (ΔH_r°) pada temperatur reaksi 300°C digunakan persamaan berikut:

$$\Delta H_r = \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT$$

$$MCPH = \frac{C_{pH}}{R} = \Delta A + \frac{\Delta B}{2} T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau T_0^2}$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = MCPH \times (T - T_0)$$

$$\tau = \frac{T}{T_0}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

$$T = 300^\circ\text{C} (573 \text{ K})$$

Sehingga:

$$\tau = \frac{573 \text{ K}}{298 \text{ K}} = 1,923$$

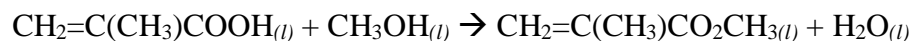
$$MCPH = -110.223,415$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = -30.311.439,26$$

$$\begin{aligned} \Delta H_r &= \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT \\ &= -30.785,239 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

c) Reaksi 3

Berdasarkan tabel 2.12, maka dapat diperoleh besarnya ΔA , ΔB , ΔC dan ΔD untuk proses pembuatan metil metakrilat dari isobutilen, sesuai dengan reaksi berikut:



$$\Delta A = \Sigma A \text{ Produk} - \Sigma A \text{ Reaktan}$$

$$= (1 \times 42,365 + 1 \times 8,712) - (1 \times 40,152) + (1 \times 99,188)$$

$$= -88,263$$

Dengan menggunakan langkah yang sama, maka dapat diperoleh

$$\Delta B = 1.259,983$$

$$\Delta C = -180.000,001$$

$$\Delta D = 1,24 \cdot 10^{-5}$$

Nilai enthalpi reaksi standar (ΔH_r) pada proses pembentukan metil metakrilat dari isobutilen ini berdasarkan tabel 2.12 diperoleh cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta H_r^{\circ},_{298} &= \Sigma \Delta H_{r298} \text{ Produk} - \Sigma \Delta H_{r298} \text{ Reaktan} \\ &= (-347,36 \cdot 10^3) + (-285,851 \cdot 10^3) - (-361,8 \cdot 10^3) + (-200,9 \cdot 10^3) \\ &= 215.054.149 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Untuk mencari nilai entalpi reaksi (ΔH_r°) pada temperatur reaksi 70°C digunakan persamaan berikut:

$$\Delta H_r = \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT$$

$$MCPH = \frac{C_{pH}}{R} = \Delta A + \frac{\Delta B}{2} T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau T_0^2}$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = MCPH \times (T - T_0)$$

$$\tau = \frac{T}{T_0}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$T_0 = 25^{\circ}\text{C} (298 \text{ K})$$

$$T = 70^{\circ}\text{C} (573 \text{ K})$$

Sehingga:

$$\tau = \frac{343 \text{ K}}{298 \text{ K}} = 1,923$$

$$MCPH = -18.519.616.356,183$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = -30.311.439,26$$

$$\begin{aligned}\Delta H_r &= \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT \\ &= -833.382.520,974 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Oleh karena itu, maka diperoleh nilai enthalpi reaksi (ΔH_r) total proses pembuatan metil metakrilat dari isobutilen sebagai berikut

$$\begin{aligned}\Delta H_{r \text{ total}} &= \Delta H_r \text{ rx1} + \Delta H_r \text{ rx2} + \Delta H_r \text{ rx3} \\ &= (-12.920.335.029.662) + (-30.785.239) + (-833.382.520,974) \text{ J/mol}\end{aligned}$$

$$= -13.753.748.335,875 \text{ J/mol}$$

Nilai enthalpi reaksi (ΔH_r) pada proses pembuatan MMA dari isobutilen ini bernilai negatif, yang menunjukkan bahwa reaksi ini berlangsung secara eksotermis atau menghasilkan sejumlah panas dalam proses pereaksinya. Sehingga tidak membutuhkan suplai panas selama proses ini berlangsung

- Energi bebas gibbs reaksi (ΔG°)

Adapun energi bebas gibbs standar (ΔG°_{298}) untuk masing-masing komponen pada proses pembuatan metil metakrilat dari isobutilen dapat dilihat pada tabel 2.13.

Tabel 2.13. Nilai energi bebas gibbs standar proses isobutilen

Komponen	ΔH°_{298} (J/mol)
$C_4H_8(g)$	58.200
$CH_3OH(l)$	-162.200
$C_4H_6O(g)$	-57.600
$C_4H_6O_2(g)$	-281.820
$C_4H_6O_2(l)$	-241.590
$H_2O(l)$	-237.191

a) Reaksi 1



Nilai enthalpi reaksi standar (ΔG_r) pada proses pembentukan metil metakrilat dari isobutilen ini diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta G_{r,298} &= \sum \Delta G_{r,298} \text{ produk} - \sum \Delta G_{r,298} \text{ reaktan} \\ &= (-57.600) + (-237.191) - (58.200) + (0) \text{ J/mol} \\ &= -116.037,191 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔG_r pada temperatur reaksi 150°C digunakan persamaan berikut:

$$\Delta G_r = \left(\frac{\Delta H_{r,298}}{R} \right) \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right] RT - \frac{G_{r,298}}{RT}$$

Dengan :

$$R = 8,314 \text{ J/mol.k}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

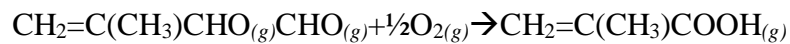
$$T = 350^\circ\text{C} (623\text{K})$$

Sehingga

$$\Delta G_r = \left(\frac{112.214,149}{8,314} \right) \left[\frac{1}{623} - \frac{1}{298} \right] 8,314 \times 623 - \frac{-116.037,191}{8,314 \times 623} \text{ J/mol}$$

$$\Delta G_r = 143.886,7 \text{ J/mol}$$

b) Reaksi 2



Nilai enthalpi reaksi standar (ΔG_r) pada proses pembentukan metil metakrilat dari isobutilen ini diperoleh dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta G_{r,298} &= \Sigma \Delta G_{r,298} \text{ produk} - \Sigma \Delta G_{r,298} \text{ reaktan} \\ &= (-281.820) - (-57.600) + (0) \text{ J/mol} \\ &= -224.220.000 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔG_r pada temperatur reaksi 300°C digunakan persamaan berikut :

$$\Delta G_r = \left(\frac{\Delta H_{r,298}}{R} \right) \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right] RT - \frac{G_{r,298}}{RT}$$

Dengan :

$$R = 8,314 \text{ J/mol.k}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

$$T = 70^\circ\text{C} (343\text{K})$$

Sehingga

$$\begin{aligned} \Delta G_r &= \left(\frac{215.054,149}{8,314} \right) \left[\frac{1}{343} - \frac{1}{298} \right] 8,314 \times 323 \\ &\quad - \frac{-224.220}{8,314 \times 343} \text{ J/mol} \end{aligned}$$

$$\Delta G_r = 55.071,19 \text{ J/mol}$$

Setelah dilakukan perhitungan seperti diatas, maka diperoleh nilai energi bebas gibbs reaksi total ($\Delta G_{r,\text{total}}$) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta G_{r,\text{total}} &= (143.886,7) + (-224.220) + (55.071,19) \text{ J/mol} \\ &= -321.654,391 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Nilai energi bebas gibbs (ΔG_r) pada proses pembuatan metil metakrilat dari isobutilen ini bernilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi pada proses ini berlangsung secara spontan dan tidak membutuhkan energi dalam proses preaksinya.

C. Pembuatan Metil Metakrilat dari Etilen

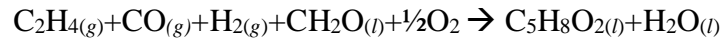
a. Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui potensi ekonomi (EP) berdasarkan perhitungan ekonomi kasar, pembelian bahan baku, dan penjualan produk sebagai berikut :

Tabel 2.14. Data Bahan Baku dan Produk (Etilen)

Komponen	Rumus molekul	Berat Molekul	Harga (Rp/Kg)	Harga (Rp/Kmol)
Etilen	C ₂ H ₄	28,054	20.826,7796	58.4274
Karbon Monoksida	CO	28,01	8.255,4	231.233,754
Hidrogen	H ₂	2	47.803,78	95.607,56
Formaldehid	CH ₂ O	30,026	13.658	410.095,108
Oksigen	O ₂	32	546,36	34.967,04
Metanol	CH ₃ OH	32,04	7.520,50	240.956,82
Metil Metakrilat	C ₅ H ₈ O ₂	100,11	25.224,72	2.525.246,72
Air	H ₂ O	18		

Reaksi yang terjadi pada proses pembuatan metil metakrilat dari etilen adalah sebagai berikut:



Konversi (X) reaksi pembentukan metil metakrilat dari etilen pada reaksi ini adalah 86%. Sehingga untuk menentukan harga pembelian dan penjualan dilakukan perhitungan stokiometri sebagai berikut:

	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$	$+\text{CO}(\text{g})$	$+\text{H}_2(\text{g})$	$\text{CH}_2\text{O}(\text{l})$	$+\frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$	$+\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$	$\rightarrow\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2(\text{l})$	$+\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
Mula-mula	n_{A0}	n_{A0}	n_{A0}	n_{A0}	n_{A0}	n_{A0}		
Bereaksi	$-n_{A0.X}$	$-n_{A0.X}$	$-n_{A0.X}$	$-n_{A0.X}$	$-n_{A0.X}$	$-n_{A0.X}$	$n_{A0.X}$	$n_{A0.X}$
Akhir	$n_{A0.(1-x)}$	$n_{A0.(1-x)}$	$n_{A0.(1-x)}$	$n_{A0.(1-x)}$	$n_{A0.(1-x)}$	$n_{A0.(1-x)}$	$n_{A0.X}$	$n_{A0.X}$

Basis perhitungan:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Kg C}_5\text{H}_8\text{O}_2 \text{ terbentuk (c)} &= \frac{1 \text{ Kg}}{101,11 \text{ Kg/Kmol}} \\ &= 0,01 \text{ Kmol} \end{aligned}$$

	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$	$+\text{CO}(\text{g})$	$+\text{H}_2(\text{g})$	$\text{CH}_2\text{O}(\text{l})$	$+\frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$	$+\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$	$\rightarrow\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2(\text{l})$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
Mula-mula	0,013	0,013	0,013	0,013	0,00067	0,013	-	-
Bereaksi	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	0,01	0,01	0,01
Akhir	0,003	0,003	0,003	0,003	0,0017	0,003	0,01	0,01

Berdasarkan stokiometri reaksi diatas, dapat diketahui masa masing-masing reaktan dan produk yang dapat dilihat pada tabel 2.15

Tabel 2.15. Massa Reaktan dan produk (Etilen)

Komponen	Berat Molekul	Kmol	Kg	Harga (Rp)/kg
C_2H_4	28,054	0,013	0,365	20.826,7796
CO	28,01	0,013	0,364	8.225,4
H_2	2	0,013	0,026	47.803,78
CH_2O	30,026	0,013	0,390	13.658
O_2	32	0,0067	0,214	546,36
CH_3OH	32,04	0,013	0,417	7.520,50
$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	100,11	0,01	1,00	25.224,72
H_2O	10	0,01	0,180	

- Harga penjualan produk

$C_5H_8O_2$	= 1 Kg x Rp. 25.224,72	= Rp. 25.224,72
Total harga penjualan		= Rp. 25.224,72

- Biaya pembelian bahan baku

C_2H_4	= 0,365 Kg x Rp.20.826,8	= Rp.7.595,57
CO	= 0,365 Kg x Rp.8.255,4	= Rp.3.004,96
H_2	= 0,026 Kg x Rp. 47.803,78	= Rp.1.242,89
CH_2O	= 0,39 Kg x Rp. 13.658	= Rp.5.331,23
O_2	= 0,214 Kg x Rp. 546,36	= Rp.117,14
CH_3OH	= 0,417 Kg x Rp. 7.520	= Rp.3.132,44
Total harga pembelian		= Rp.20.415,23

- Keuntungan = Harga Penjualan Produk – Biaya Pembelian Bahan baku

	= Rp. 25.224,72 – Rp. 20.415,23
	= Rp. 4.809,49 /Kg produk

Sedangkan persamaan untuk mendapatkan EP dari proses ini adalah

$$EP = \text{Total Harga Produk} - \text{Total Harga Bahan Baku}$$

$$EP = (\text{Harga } C_5H_8O_2 + \text{Harga } H_2O) - (\text{Harga } C_2H_4 + \text{Harga CO} + \text{Harga } H_2 + \text{Harga } CH_2O + \text{Harga } O_2 + \text{Harga } CH_3OH)$$

$$EP = \text{Rp. } (2.525.246,72) - (584.274,47 + 231.233,754 + 95.607,56 + 410.095,11 + 34.967,04 + 240.956,82)/\text{Kmol}$$

$$EP = \text{Rp. } 928.111,966/\text{Kmol.}$$

b. Tinjauan Termodinamika

- Entalpy Reaksi (ΔH_r)

Adapun nilai konstanta A,B, C dan D panas spesifik (C_p) dan entalpy pembentukan standar ΔH°_{298} untuk masing-masing komponen pada proses pembuatan metil metakrilat dari etilen adalah sebagai berikut:

Tabel 2.16. Enthalpy Pembentukan

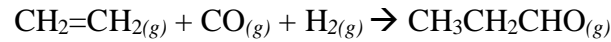
Komponen	A	B	C	D
$C_2H_4(g)$	32,083	-0,01483	$2,477 \cdot 10^{-4}$	$6,827 \cdot 10^{-11}$
$CO(g)$	29,556	-0,00658	$2,013 \cdot 10^{-5}$	$2,2617 \cdot 10^{-12}$
$H_2(g)$	3,25	422	-	$8,3 \cdot 10^{-7}$
$C_3H_6O(g)$	58,911	0,00484	$3,351 \cdot 10^{-4}$	$3,051 \cdot 10^{-7}$
$C_3H_6O(l)$	0,8162	$-2,74 \cdot 10^{-3}$	$3,77 \cdot 10^{-6}$	-
$CH_2O(l)$	0,3986	$-1,54 \cdot 10^{-3}$	$3,03 \cdot 10^{-6}$	-
$C_4H_6O(l)$	0,3841	$-1,15 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	-
$C_4H_6O(g)$	14,506	0,15922	$3,11 \cdot 10^{-4}$	$1,42 \cdot 10^{-10}$
$O_2(g)$	3,64	506	-	$-2,27 \cdot 10^{-7}$
$C_4H_6O_2(g)$	-28,131	0,54744	$-5,388 \cdot 10^{-4}$	$2,86 \cdot 10^{-7}$
$C_4H_6O_2(l)$	99,188	0,4931	$-1,23 \cdot 10^{-3}$	$1,56 \cdot 10^{-6}$
$CH_3OH(l)$	40,152	0,3105	$-1,03 \cdot 10^{-3}$	$1,46 \cdot 10^{-5}$
$C_5H_8O_2(l)$	42,365	1,0787	$-3,16 \cdot 10^{-3}$	$3,78 \cdot 10^{-6}$
$H_2O(l)$	8,712	$1,25 \cdot 10^3$	$-0,18 \cdot 10^6$	

Tabel 2.17. Nilai Entalpy Standar ΔH^0_{298} Proses etilen

Komponen	A
$C_2H_4(g)$	52300
$CO(g)$	-110500
$H_2(g)$	0
$C_3H_6O(l)$	-186.000
$CH_2O(l)$	-115.900
$C_4H_6O(l)$	-112.000
$O_2(g)$	0
$C_4H_6O_2(g)$	-316.800
$CH_3OH(l)$	-201.170
$C_5H_8O_2(l)$	-347.360
$H_2O(l)$	-285.851

a) Reaksi 1

Berdasarkan tabel 2.17, maka dapat diperoleh bersamanya ΔA , ΔB , ΔC dan ΔD untuk proses pembuatan metil metakrilat dari etilen, sesuai dengan reaksi berikut :



$$\Delta A = \Sigma A \text{ Produk} - \Sigma A \text{ Reaktan}$$

$$= (1 \times 58,911) + (1 \times 3,25) - (1 \times 29,556) + (1 \times 32,083)$$

$$= -5,978$$

Dengan menggunakan langkah yang sama, maka dapat diperoleh :

$$\Delta B = -421,974$$

$$\Delta C = 0,0000673$$

$$\Delta D = -0,000000523$$

Nilai entalphi reaksi standar (ΔH_r°) pada proses pembentukan metakrilat dari etilen ini berdasarkan tabel 2.17 diperoleh dengan cara sebagai berikut :

$$\Delta H_{r,298}^\circ = \Sigma \Delta H_{r,298} \text{ Produk} - \Sigma \Delta H_{r,298} \text{ Reaktan}$$

$$= ((-186.000) - ((0) + (-110.500) + (52.300))) \text{ J/mol}$$

$$= -127.800 \text{ J/mol}$$

Untuk mencari nilai entalphi reaksi (ΔH_r°) pada temperetur reaksi 160°C digunakan persamaan berikut:

$$\Delta H_r = \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT$$

$$\text{MCPH} = \frac{C_{pH}}{R} = \Delta A + \frac{\Delta B}{2} T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau T_0^2}$$

$$\text{ICPH} = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = \text{MCPH} \times (T - T_0)$$

$$\tau = \frac{T}{T_0}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

$$T = 160^\circ\text{C} (433 \text{ K})$$

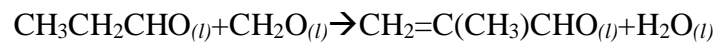
Sehingga:

$$\tau = \frac{433 \text{ K}}{298 \text{ K}} = 1,453$$

$$\begin{aligned}
 MCPH &= -154.228,295 \\
 ICPH &= \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = -50.124.195,82 \\
 \Delta H_r &= \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT \\
 &= -127.800 + (8,3145 \times -50.124.195,82) \\
 &= -50.251.995,82 \text{ J/mol}
 \end{aligned}$$

b) Reaksi 2

Berdasarkan Tabel 2.17, maka dapat diperoleh besarnya ΔA , ΔB , ΔC dan ΔD untuk proses pembuatan metil metakrilat dari etilen dengan reaksi berikut:



$$\begin{aligned}
 \Delta A &= \Sigma A \text{ Produk} - \Sigma A \text{ Reaktan} \\
 &= (1 \times 0,384) + (1 \times 8,712) - (1 \times 0,816) + (1 \times 0,399) \\
 &= -7,881
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan langkah yang sama

$$\Delta B = 1.250,003$$

$$\Delta C = -179.999,998$$

$$\Delta D = 0$$

Nilai entalphi reaksi standar (ΔH_r°) pada proses pembentukan metakrilat dari etilen ini berdasarkan tabel 2.17 diperoleh dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \Delta H_r^\circ, 298 &= \Sigma \Delta H_{r298} \text{ Produk} - \Sigma \Delta H_{r298} \text{ Reaktan} \\
 &= ((-112.000) + (285.581)) - ((-186.000) + (-115.900)) \text{ J/mol} \\
 &= -99.951.000 \text{ J/mol}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai entalphi reaksi (ΔH_r°) pada temperetur reaksi 160°C digunakan persamaan berikut:

$$\Delta H_r = \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT$$

$$MCPH = \frac{C_{PH}}{R} = \Delta A + \frac{\Delta B}{2} T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau T_0^2}$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = MCPH \times (T - T_0)$$

$$\tau = \frac{T}{T_0}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

$$T = 160^\circ\text{C} (433 \text{ K})$$

Sehingga:

$$\tau = \frac{433 \text{ K}}{298 \text{ K}} = 1,453$$

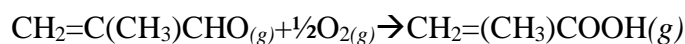
$$MCPH = -24.319.612.973,697$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = -50.124.195,82$$

$$\begin{aligned} \Delta H_r &= \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT \\ &= -99.951.000 + (8,3145 \times -50.124.195,82) \\ &= -6.687,769.886,218 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

c. Reaksi 3

Berdasarkan Tabel 2.17, maka dapat diperoleh besarnya ΔA , ΔB , ΔC dan ΔD untuk proses pembuatan metil metakrilat dari etilen dengan reaksi berikut:



$$\begin{aligned} \Delta H_{r,298}^0 &= \sum \Delta H_{r298} \text{ Produk} - \sum \Delta H_{r298} \text{ Reaktan} \\ &= ((1 \times -28,131)) - ((1 \times 14,506) + (0,5 \times 3,64)) \text{ J/mol} \\ &= -44,457 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan langkah yang sama, maka dapat diperoleh

:

$$\Delta B = 1.250,003$$

$$\Delta C = -179.999,998$$

$$\Delta D = 0$$

Nilai entalpi reaksi standar (ΔH_r^0) pada proses pembentukan metakrilat dari etilen ini berdasarkan tabel 2.xx diperoleh dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta H_{r,298}^0 &= \sum \Delta H_{r298} \text{ Produk} - \sum \Delta H_{r298} \text{ Reaktan} \\ &= ((-361.800) + (0,5 \times 0)) - (1 \times 112.000) \text{ J/mol} \end{aligned}$$

$$= -249.800\text{J/mol}$$

Untuk mencari nilai entalpi reaksi (ΔH_r°) pada temperatur reaksi 300°C digunakan persamaan berikut:

$$\Delta H_r = \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT$$

$$MCPH = \frac{C_{pH}}{R} = \Delta A + \frac{\Delta B}{2} T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau T_0^2}$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = MCPH \times (T - T_0)$$

$$\tau = \frac{T}{T_0}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

$$T = 300^\circ\text{C} (573 \text{ K})$$

Sehingga:

$$\tau = \frac{573\text{K}}{298 \text{ K}} = 1,923$$

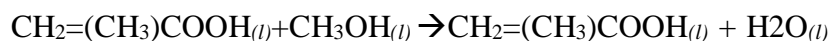
$$MCPH = -110.223,416$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = -4.960.053,719$$

$$\begin{aligned} \Delta H_r &= \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT \\ &= -249.800 + (8,3145 \times -4.960.053,719) \\ &= -5.209.854,72\text{J/mol} \end{aligned}$$

d. Reaksi 4

Berdasarkan Tabel 2.17, maka dapat diperoleh besarnya ΔA , ΔB , ΔC dan ΔD untuk proses pembuatan metil metakrilat dari etilen dengan reaksi berikut:



$$\begin{aligned} \Delta H_{r^\circ, 298} &= \sum \Delta H_{r298} \text{ Produk} - \sum \Delta H_{r298} \text{ Reaktan} \\ &= ((1 \times -42,365) + (1 \times 8,712)) - ((1 \times 40,152) \\ &\quad + (1 \times 99,918))\text{J/mol} \\ &= -5,978 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan langkah yang sama, maka dapat diperoleh :

$$\Delta B = 1.250,003$$

$$\Delta C = -180.000,001$$

$$\Delta D = -0,0000124$$

Nilai entalphi reaksi standar (ΔH_r°) pada proses pembentukan metakrilat dari etilen ini berdasarkan tabel 2.17 diperoleh dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta H_r^\circ,_{298} &= \Sigma \Delta H_{r298} \text{ Produk} - \Sigma \Delta H_{r298} \text{ Reaktan} \\ &= ((-357.360)+(285.581)) - (201.170) + (-361.800) \text{ J/mol} \\ &= -70.241.000 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Untuk mencari nilai entalphi reaksi (ΔH_r°) pada temperetur reaksi 70°C digunakan persamaan berikut:

$$\Delta H_r = \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT$$

$$MCPH = \frac{C_{pH}}{R} = \Delta A + \frac{\Delta B}{2} T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau T_0^2}$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = MCPH \times (T - T_0)$$

$$\tau = \frac{T}{T_0}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

$$T = 70^\circ\text{C} (343 \text{ K})$$

Sehingga:

$$\tau = \frac{343\text{K}}{298 \text{ K}} = 1,151$$

$$MCPH = -18.519.616.356,183$$

$$ICPH = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} dT = -8,33 \times 10^{13}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_r &= \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT \\ &= -70.241.000 + (8,3145 \times -18.519.616.356,183) \\ &= -833.382.806.269 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

- Energi bebas gibbs reaksi (ΔG_r)

Adapun nilai energi bebas gibbs standar (ΔG_r°) untuk masing masing komponen pada proses pembuatan metil metakrilat dari etilen dapat dilihat pada tabel 2.18

Tabel 2. 18. Nilai energi bebas gibbs standar (etilen)

Komponen	ΔH°_{298} (J/mol)
$C_2H_4(g)$	68.120.00
$CO(g)$	-137.200
$H_2(g)$	0
$C_3H_6O(g)$	-124.200
$CH_2O(l)$	-109.910
$C_4H_6O(l)$	-57.600
$O_2(g)$	0
$C_4H_6O_2(g)$	-281.820
$CH_3OH(l)$	-162.510
$C_5H_8O_2(l)$	-241.600
$H_2O(l)$	-237.191

a) Reaksi 1

Adapun energi reaksi standar (ΔG_r°) pada proses pembentukan metil metakrilat dari etilen pada reaksi pertama diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta G_{r,298} &= \Sigma \Delta G_{r,298} \text{ produk} - \Sigma \Delta G_{r,298} \text{ reaktan} \\ &= (-124.200) + (-68.120.000) - (-37.200) + (0) \text{ J/mol} \\ &= -68.107.000 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔG_r pada temperatur reaksi 160°C digunakan persamaan berikut:

$$\Delta G_r = \left(\frac{\Delta H_{r,298}}{R} \right) \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right] RT - \frac{G_{r,298}}{RT}$$

Dengan :

$$R = 8,314 \text{ J/mol.k}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

$$T = 160^{\circ}\text{C} (358\text{K})$$

Sehingga

$$\Delta G_r = \left(\frac{-127.800}{8,314} \right) \left[\frac{1}{533} - \frac{1}{298} \right] 8,314 \times 533 - \frac{-137.291}{8,314 \times 533} \text{ J/mol}$$

$$\Delta G_r = 150.697 \text{ J/mol}$$

b) Reaksi 2

Adapun energi reaksi standar (ΔG_r°) pada proses pembentukan metil metakrilat dari etilen pada reaksi pertama diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta G_{r,298} &= \Sigma \Delta G_{r,298} \text{ produk} - \Sigma \Delta G_{r,298} \text{ reaktan} \\ &= ((-237.191) + (-57.600)) - (-109.910) + (24.200) \text{ J/mol} \\ &= -176.272.809 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔG_r pada temperatur reaksi 160°C digunakan persamaan berikut:

$$\Delta G_r = \left(\frac{\Delta H_{r,298}}{R} \right) \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right] RT - \frac{G_{r,298}}{RT}$$

Dengan :

$$R = 8,314 \text{ J/mol.k}$$

$$T_0 = 25^{\circ}\text{C} (298 \text{ K})$$

$$T = 160^{\circ}\text{C} (358\text{K})$$

Sehingga

$$\Delta G_r = \left(\frac{-95.951.00}{8,314} \right) \left[\frac{1}{358} - \frac{1}{298} \right] 8,314 \times 533 - \frac{-176.272.809}{8,314 \times 533} \text{ J/mol}$$

$$\Delta G_r = 105.478 \text{ J/mol}$$

c) Reaksi 3

Adapun energi reaksi standar (ΔG_r°) pada proses pembentukan metil metakrilat dari etilen pada reaksi pertama diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta G_{r,298} &= \Sigma \Delta G_{r,298} \text{ produk} - \Sigma \Delta G_{r,298} \text{ reaktan} \\ &= (-361.800) - ((-112.000) + (0)) \text{ J/mol} \\ &= -249.800.00 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔG_r pada temperatur reaksi 160°C digunakan persamaan berikut:

$$\Delta G_r = \left(\frac{\Delta H_{r,298}}{R} \right) \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right] RT - \frac{G_{r,298}}{RT}$$

Dengan :

$$R = 8,314 \text{ J/mol.k}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298\text{K})$$

$$T = 160^\circ\text{C} (573\text{K})$$

Sehingga

$$\Delta G_r = \left(\frac{-249.800}{8,314} \right) \left[\frac{1}{573} - \frac{1}{298} \right] 8,314 \times 573 - \frac{-249.800}{8,314 \times 573} \text{ J/mol}$$

$$\Delta G_r = -63.963,7 \text{ J/mol}$$

d) Reaksi 4

Adapun energi reaksi standar (ΔG_r°) pada proses pembentukan metil metakrilat dari etilen pada reaksi pertama diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta G_{r,298} &= \Sigma \Delta G_{r,298} \text{ produk} - \Sigma \Delta G_{r,298} \text{ reaktan} \\ &= ((-241,6) + (-237,191)) - ((-281,820) + (-162,51)) \text{ J/mol} \\ &= -281.503,719 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔG_r pada temperatur reaksi 160°C digunakan persamaan berikut:

$$\Delta G_r = \left(\frac{\Delta H_{r,298}}{R} \right) \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right] RT - \frac{G_{r,298}}{RT}$$

Dengan :

$$R = 8,314 \text{ J/mol.k}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

$$T = 160^\circ\text{C} (358\text{K})$$

Sehingga

$$\Delta G_r = \left(\frac{-70.241.000}{8,314} \right) \left[\frac{1}{358} - \frac{1}{298} \right] 8,314 \times 343 - \frac{-281.503}{8,314 \times 343} \text{ J/mol}$$

$$\Delta G_r = -18.109,2 \text{ J/mol}$$

Setelah dilakukan perhitungan seperti diatas, maka diperoleh nilai energi bebas gibbs reaksi total ($\Delta G_{r,total}$) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta G_{r,total} &= -150.697 + (-105.478) + (-63.963,3) + (-18.109,2) \text{ J/mol} \\ &= -338.247,698 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Nilai energi bebas gibbs (ΔG_r) pada proses pembuatan metil metakrilat dari etilen ini bernilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi pada proses ini berlangsung secara spontan dan tidak membutuhkan energi dalam

Tabel 2.19. Pertimbangan Pemilihan Proses

Faktor	Aseton Sianohidrin	Isobutilena/Isobutanol	Etilena
Tahapan Proses	1. Hidrolisis 2. Esterifikasi	1. Oksidasi dua tahap 2. Esterifikasi	1. Kondensasi 4 tahap
Alat Proses	Lebih Sederhana	Lebih Rumit	Lebih Rumit
Kondisi Operasi	1. Reaktor 1 : 80-160C, 1 atm 2. Reaktor 2 : 100-150C, 7 atm	1. Reaktor 1: 300-400C, 1-2 atm 2. Reaktor 2: 270-350C, 1-10 atm	Reaktor 1 : 30-450C, 6,8-350 atm
Katalis	Cair	Padat	Padat
Konversi	80-98%	30-75%	68-75%
Jenis Reaktor	RATB	PFR,RATB	PFR,RATB
Harga Bahan	Aseton Sianohidrin \$1,11/kg	Isobutilena : \$3,1/kg	Etilen : \$1,035/kg
Kelebihan	• Suhu operasi berlangsung pada 80-160°C	• Bahan baku murah	• Bahan baku utama murah

Kekurangan	<p>(Kirk and Othmer, 1995)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Konversi metil metakrilat yang tinggi. (European Patent, 1999) • Bahan baku murah 	<p>dan mudah didapatkan.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suplai bahan baku seperti isobutilena dan t-butyl alkohol (TBA) terbatas. (European Patent, 1999) 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Memiliki produk samping berupa amonium bisulfat (Nagai, 2001) 	<ul style="list-style-type: none"> • Katalis sulit diperoleh • Melibatkan banyak reaksi samping sehingga dapat menurunkan <i>yield</i> metil metakrilat. • Biaya pemurnian tinggi. (European Patent, 1996) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sedikit informasi mengenai kondisi operasi proses

Berdasarkan uraian pada tabel diatas maka prarancangan pabrik metil metakrilat ini menggunakan bahan baku berupa aseton sianohidrin. Dalam prosesnya diperlukan bantuan katalis dan pelarut. Pelarut yang digunakan adalah metanol yang digunakan untuk mengubah asam metakrilat yang dihasilkan menjadi metil metakrilat..Adapun kesimpulan dari pertimbangan diatas diantaranya yaitu:

1. Menghasilkan konversi paling tinggi yaitu 90–98%.

2. Kondisi operasi tidak sulit dicapai sehingga tidak memerlukan perlakuan awal yang rumit dan energi yang besar
3. Katalis mudah didapatkan serta berfungsi sebagai pelarut dan reaktan sehingga tidak perlu adanya *pre-treatment* sebelum digunakan.

2.2 Uraian Proses

Proses pembuatan metil metakrilat dari aseton sianohidrin dan metanol dapat dilakukan dengan beberapa tahapan berikut:

2.1.1 Tahap Penyimpanan Bahan Baku

Aseton sianohidrin, asam sulfat, heksana, dan metanol memiliki fasa cair yang disimpan dalam tangki penyimpanan terpisah sebelum masuk ke dalam proses. Tangki penyimpanan dijaga pada suhu lingkungan ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) dan tekanan 1 atm agar bahan baku tidak mudah terbakar. Tangki harus tertutup rapat di tempat yang kering dan berventilasi baik.

2.1.1.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Pada tahap ini bahan baku berupa aseton sianohidri, asam sulfat, heksana, dan metanol disiapkan agar sesuai dengan kondisi operasi yang digunakan dalam reaktor dan distilasi

- Persiapan Aseton Sianohidrin (ACH)

Aseton sianohidrin 98,5% disimpan pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm didalam tangki penyimpanan. Pada kondisi tersebut, aseton sianohidrin berada dalam fase cair karena memiliki titik didih pada suhu $189,85^{\circ}\text{C}$ dan tekanan 1 atm. Aseton sianohidrin dipanaskan menggunakan *heater* hingga suhu 130°C , dan dialirkan menuju reaktor hidrolisis.

- Persiapan Asam Sulfat

Asam sulfat 98,5% disimpan pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm didalam tangki penyimpanan. Asam sulfat dipanaskan hingga suhu 130°C . Selanjutnya dialirkan menuju reaktor hidrolisis dengan menggunakan pompa.

- Persiapan Metanol

Metanol 99,85% disimpan dalam fase cair pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm di tangki penyimpanan. Metanol dipanaskan hingga suhu 150°C dan tekanan dinaikkan sampai 7 atm sesuai dengan kondisi operasi reaktor. Setelah itu dialirkan menuju reaktor esterifikasi menggunakan pompa.

2.1.2. Tahapan Reaksi

- Tahap Pembentukan Metakrilamid Sulfat

Dalam reaktor hidrolisis, aseton sianohidrin dan asam sulfat direaksikan dengan perbandingan mol 1:1,6. Reaktor yang digunakan adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) yang berlangsung pada fase reaksi cair-cair. Kondisi operasi berlangsung antara suhu 130°C pada tekanan 1 atm. Apabila suhu operasi kurang dari 90°C akan meningkatkan terbentuknya produk samping berupa turunan senyawa *α-hydroxyisobutyramide*, sehingga kemurnian metil metakrilat yang dihasilkan akan menurun. Oleh karena itu, untuk meminimalkan terbentuknya produk samping bahan direaksikan pada kondisi operasi 90- 130°C dan tekanan 1 atm.

Pada reaksi ini aseton sianohidrin dan asam sulfat berfungsi sebagai reaktan. Reaksi yang terjadi merupakan reaksi eksotermis, oleh karena itu reaktor dipasang *coil* pendingin agar reaksi tetap dijaga pada batas suhu operasi. Produk dari reaktor berupa metakrilamid sulfat, sisa aseton sianohidrin, sisa asam sulfat, dan air yang kemudian dialirkan menuju reaktor esterifikasi untuk direaksikan dengan metanol.

- Tahap pembentukan metil metakrilat

Metakrilamid sulfat dari Reaktor direaksikan dengan metanol untuk menghasilkan metil metakrilat. Tahap proses esterifikasi berlangsung pada suhu 150°C dan tekanan 7 atm pada fasa cair. Reaksi yang terjadi dalam reaktor esterifikasi bersifat eksotermis, maka reaktor yang

digunakan adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) yang dilengkapi *coil* pendingin. Proses reaksi berjalan dengan baik jika campuran bahan baku dan reaktan bercampur secara homogen dengan adanya pengadukan (*mixing*). Produk dari reaktor ini adalah metil metakrilat, ammonium bisulfat, sisa metakrilamid sulfat, sisa metanol, sisa aseton sianohidrin, sisa asam sulfat, dan air. Hasil tersebut dialirkan menuju tahap pemisahan dan pemurnian produk.

2.1.3. Tahap Pemisahan dan Pemurnian Produk

Hasil keluaran atau produk reaktor esterifikasi (R-202) dialirkan menuju menara distilasi 1 (MD-301) untuk dipisahkan dari asam-asamnya. Menara distilasi 1 ini beroperasi pada suhu 100°C tekanan 1 atm, sehingga hasil keluaran reaktor perlu diturunkan tekanannya dengan menggunakan expansion valve sampai kondisi operasi menara distilasi 1. Hasil atas (*light product*) berupa metil metakrilat, aseton sianohidrin, metakrilamid sulfat, metanol dan air dengan suhu 101,547°C dan tekanan 1 atm. Hasil bawah (*heavy product*) terdiri dari amonium bisulfat, asam sulfat, dan sedikit aseton sianohidrin dengan suhu 244,195°C dan tekanan 1 atm. Hasil bawah akan diproses untuk memisahkan asam sulfat dan amonium bisulfat dengan menara distilasi 4 (MD-304), sedangkan hasil atas akan diumpankan ke menara distilasi 2 (MD-302) pada suhu 83°C dan tekanan 1 atm.

Pada menara distilasi 4 (MD-04), amonium bisulfat, asam sulfat, dan sedikit aseton sianohidrin dipisahkan sebagai hasil atas dengan suhu 225,086°C dan tekanan 1 atm. Hasil bawah berupa asam sulfat dan sedikit amonium bisulfat dengan suhu 273,295°C dan tekanan 1 atm di-recycle menuju reaktor hidrolisis (R-201). Pada menara distilasi 2 (MD-02), metanol dan sedikit air dipisahkan sebagai hasil atas dengan suhu 65,38°C dan tekanan 1 atm dan di-recycle kembali sebagai umpan reaktor esterifikasi (R-02). Hasil bawah berupa metil metakrilat, aseton

sianohidrin, metakrilamid sulfat, air, dan sedikit metanol diumpangkan ke menara distilasi 3 (MD-03) pada suhu 101,251°C tekanan 1 atm.

Pada menara distilasi 3 (MD-03) sebagai hasil bawah diperoleh aseton sianohidrin dan metakrilamid sulfat dengan suhu 153,85°C dan tekanan 1 atm. Aseton sianohidrin dan metakrilamid sulfat dibuang ke unit pengolahan limbah. Hasil atas berupa metil metakrilat, air, dan metanol dengan suhu 100°C dan tekanan 1 atm yang kemudian diturunkan suhu 35°C dan tekanan 1 atm untuk diumpangkan ke dekanter (DC-01). Di dekanter, metil metakrilat dan metanol dipisahkan. Hasil produk yang berupa metil metakrilat dimasukkan ke tangka penyimpanan produk.

2.1.4. Tahap Penyimpanan Produk

Hasil produk berupa metil metakrilat dengan kemurnian 99,9% dimasukkan ke tangki penyimpanan produk. Suhu tangki dijaga pada 30°C dan tekanan atmosfer. Sedangkan, produk samping berupa ammonium bisulfat disimpan pada tangki penyimpanan produk dengan suhu dijaga pada 30°C dan tekanan atmosfer.

III. SPESIFIKASI BAHAN BAKU

3.1. Spesifikasi Bahan Baku

a. Aseton Sianohidrin

➤ Sifat Fisis

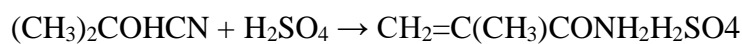
- Rumus kimia : C₄H₇NO
- Bentuk : Cair
- Densitas (25°C) : 928 kg/m³
- Berat molekul : 85,106 g/mol
- Titik didih (P=1 atm) : 189,85°C
- Titik lebur (P=1 atm) : -20°C
- Temperatur kritis : 373,85°C
- Tekanan kritis : 41,9 atm
- Viskositas : 0,59 cP
- Warna : Tidak berwarna
- Kemurnian : Minimal 98% berat aseton sianohidrin
- Impuritas : Maksimal 2% berat air
- Harga : US\$ 1,10/kg

(Yaws,

1999)

➤ Sifat Kimia

1. Jika bereaksi dengan asam sulfat membentuk metakrilamid sulfat. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



(Kirk dan Othmer, 1995) (Ullman's, 1989)

b. Asam Sulfat

➤ Sifat Fisis

- Rumus kimia : H_2SO_4
- Bentuk : Cair
- Densitas (25°C) : 1833 kg/m^3
- Berat molekul : $98,079 \text{ g/mol}$
- Titik didih ($P=1 \text{ atm}$) : $336,85^\circ\text{C}$
- Titik lebur ($P=1 \text{ atm}$) : $10,31^\circ\text{C}$
- Temperatur kritis : $651,85^\circ\text{C}$
- Tekanan kritis : $63,16 \text{ atm}$
- Viskositas : 26.7 cP (20°C)
- Warna : Tidak berwarna
- Kemurnian : Minimal 98% berat aseton sianohidrin
- Impuritas : Maksimal 2% berat air
- Harga : US\$ 0,066/kg

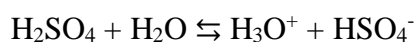
(Yaws, 1999)

➤ Sifat Kimia

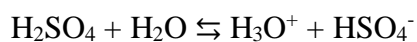
1. Merupakan asam kuat.
2. Bersifat higroskopis, yaitu memiliki kemampuan untuk menyerap molekul air dari lingkungan baik melalui absorpsi atau adsorpsi.
3. Asam sulfat murni sangat kecil sekali untuk terionkan.



Kecilnya asam sulfat yang terionkan menyebabkan konduktivitas termal asam sulfat mempunyai harga rendah pada kemurnian 100%. Jika asam sulfat murni dilarutkan dalam air, disosiasi akan terjadi sangat cepat.



Dengan terjadinya disosiasi ini maka konduktivitasnya akan naik sangat cepat, dan pada kandungan air yang tinggi disosiasi kedua akan terjadi.



(Kirk dan Othmer, 1995) (Perry, 1999)

c. Metanol**➤ Sifat Fisis**

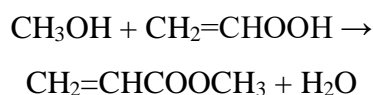
- Rumus kimia : CH₃OH
- Bentuk : Cair
- Densitas (30°C) : 782 kg/m³
- Berat molekul : 32,042 g/mol
- Titik didih (P=1 atm) : 64,75°C
- Titik lebur (P=1 atm) : -97°C
- Temperatur kritis : 240°C
- Tekanan kritis : 78,5 atm
- Viskositas : 0,544 cP
- Warna : Tidak berwarna
- Kemurnian : Minimal 85% berat metanol
- Impuritas : Maksimal 15% berat air
- Harga : US\$ 0,369/kg

(Perry, 1999)

➤ Sifat Kimia

Metanol merupakan alkohol alifatik dengan rumus molekul CH₃OH yang reaktivitasnya ditentukan oleh gugus hidroksinya. Reaksi dengan methanol terjadi melalui pemecahan gugus C–O dan ikatan –H. Reaksi metanol yang penting dalam industri yaitu:

1. Reaksi dengan asam akrilat membentuk metil akrilat:



(Ullmann's, 1989)

2. Reaksi dehidrogenasi metanol akan menghasilkan formaldehid



3.2. Spesifikasi Produk

a. Metil Metakrilat

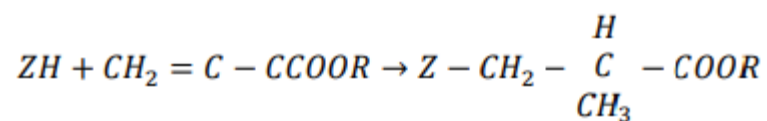
➤ Sifat Fisika :

- Rumus kimia : $C_5H_8O_2$
- Bentuk : Cair
- Densitas (30°C) : 931,76 kg/m³
- Berat molekul : 100,12 g/mol
- Titik didih (P=1 atm) : 101°C
- Titik lebur (P=1 atm) : -48°C
- Temperatur kritis : 290,85°C
- Tekanan kritis : 36,28 atm
- Viskositas : 0,53 cP
- Warna : Tidak berwarna
- Kemurnian : Minimal 99% berat metil metakrilat
- Impuritas : Maksimal 1%
- Harga : US\$ 2,40/kg

(Bauer, 2011) (Kirk dan Othmer, 1995)

➤ Sifat Kimia

Reaksi adisi pada ikatan rangkap karbon Penambahan hidrogen sianida, hidrogen halida, hidrogen sulfida, merkaptan, alkil amina, alkohol, fenol atau fosfin akan menghasilkan β yang tersubstitusi menjadi α -metil propionat.



b. Amonium Bisulfat**➤ Sifat Fisika :**

- Rumus kimia : NH_4HSO_4
- Bentuk : Cair
- Densitas : 1780 kg/m^3
- Berat molekul : $115,11 \text{ g/mol}$
- Titik didih : 490°C
- Titik lebur : -30°C
- Warna : Tidak berwarna
- Harga : US\$ 1,30/kg

(www.pubchem.ncbi.nlm.nih.gov)

X. KESIMPULAN DAN SARAN

10.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Metil Metakrilat dari Aseton Sianohidrin dan Metanol dengan kapasitas 80.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut :

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak adalah 49,02%.
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak adalah 1,42 tahun
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 39,35 % dimana syarat umum pabrik di Indonesia adalah 30 – 60 % kapasitas produksi. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 29,70%, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR) sebesar 56,32%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang yaitu 10,159% sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini dari pada ke bank.

10.2 SARAN

Pabrik Metil Metakrilat dari Aseton Sianohidrin dan Metanol dengan kapasitas 80.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut baik dari segi proses maupun ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adu, I. K., Sugiyama, H., Fischer, U., & Hungerbühler, K. (2008). *Comparison of methods for assessing environmental, health and safety (EHS) hazards in early phases of chemical process design*. *Process Safety and Environmental Protection*, 86(2), 77–93. doi:10.1016/j.psep.2007.10.005
- Anonymous. 2018. *Perencanaan Jaringan Pipa Transmisi dan Distribusi Air Minum*. (Modul Proyeksi). Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia (BPSDM) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). DKI Jakarta. 16 hlm.
- Anonymous. 2019. *Screw Conveyors for Bulk Materials Fifth Edition*. (Rekomendasi). Conveyor Equipment Manufacturers Association. Florida. 163 hlm.
- Anonim. (2022). Spesifikasi Amonium Bisulfat (NH_4HSO_4) www.pubchem.ncbi.nlm.nih.gov (Diakses pada Rabu, 11 Agustus 2022)
- Anonim. (2022). Pabrik Metanol Terbesar di Indonesia. <https://voi.id/ekonomi/38674/sojitz-bangun-pabrik-methanol-terbesar-di-indonesia-rp71-triliun> (Diakses pada Selasa, 31 Agustus 2022)
- Anonim. (2022). Kapasitas Produksi PT *Arindo Pacific Chemical*. <https://apc.co.id/> (Diakses pada Selasa, 31 Agustus 2022)
- Anonim. (2022). Kapasitas Produksi PT Propan Raya Industrial Coating Chemicals. <https://www.propanraya.com/id/company-data> (Diakses pada Selasa, 31 Agustus 2022)
- Anonim. (2022). Kapasitas Produksi PT SHCP Indonesia <https://www.shcp.com.sg/home.html>. (Diakses pada Selasa, 31 Agustus 2022)
- Anonim. (2020). Kapasitas Produksi PT Avia Avian <https://www.kontan.co.id>. (Diakses pada Selasa, 31 Agustus 2022)

- Anonim. (2017). Nippon Paint Capai Produksi 250.000 ton per Tahun Untuk Indonesia. <https://www.LensaIndonesia.com>. (Diakses pada Selasa, 31 Agustus 2022).
- Anonim. (2012). *polymethyl methacrylate chemical compound* <https://www.britannica.com/science/polymethyl-methacrylate> (Diakses pada Minggu, 12 September 2022)
- Anonim. (2018). *Global Methyl Methacrylate (MMA) Markets 2016-2024* <https://www.globenewswire.com/newsrelease/2018/02/20/1361664/0/en/GlobalMethyl-Methacrylate-MMA-Markets-2016-2024.html> (Diakses pada 30 September 2022)
- Anonymous. 2020. *Stainless Steel 316 dan Kegunaannya dalam Industri Kelautan*. https://www.indo-makmur.com/blog/blog_detail/stainless-steel-316-dan-kegunaannya-dalam-industri-kelautan#. Diakses pada 6 Mei 2023.
- Anonymous, 2021. *Safety Data Sheet alpha-Alumina, 99.5%*. (Lembar Data Keselamatan Bahan). Strem Chemicals, Inc. Massachusetts. 8 hlm.
- Anusavice, K.J., Shen, C. & Rawls, H.R. (2013). *Phillips' Science of Dental Material*. 11 ed. Elsevier Saunders
- Aries, R. S., Newton, R. D. 1955. *Chemical Engineering Cost Estimation*. McGraw-Hill Book Company. New-York. 263 hlm.
- Atkins, P., Paula, J. D. 2006. *Atkins' Physical Chemistry 8th Edition*. W. H. Freeman and Company. New York. 1053 hlm.
- Bank Indonesia. 2022. *Informasi Kurs JISDOR*. <https://www.bi.go.id/id/statistik/informasi-kurs/jisdor/default.aspx>. Diakses pada 21 November 2022.
- Bauer, W. (2011). *Methacrylic Acid and Derivatives*. In Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA (Ed.), *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (p. a16_441.pub2). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. https://doi.org/10.1002/14356007.a16_441.pub2

- Bergman, Y. 2008. *Development and Production of Smokeless Military Propellants in France, 1884-1918*. (Disertasi). Tel-Aviv University. Tel Aviv. 316 hlm.
- Branan, C. R. 2005. *Rules Of Thumb For Chemical Engineers A Manual of Quick, Accurate Solutions to Everyday Process Engineering Problems Fourth Edition*. Gulf Professional Publishing. Massachusetts. 479 hlm.
- Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J., Ratnayaka, D. D. 2017. *Twort's Water Supply Seventh Edition*. Butterworth-Heinemann. Oxford. 932 hlm.
- Brown, G. G. 1950. *Unit Operations*. CBS Publishers & Distributors. New Delhi. 611 hlm.
- Brownell, L. E., Young, E. H. 1959. *Process Equipment Design*. John Wiley & Sons, Inc. New York. 408 hlm.
- Coulson, J. M., Richardson, F. F., Sinnott, R. K. 1983. *Chemical Engineering; Vol. 6: An Introduction to Chemical engineering Design*. Pergamon Press. Oxford. 838 hlm.
- Coulson, J. M., Richardson, J. F., Backhurst, J. R., Harker, J. H. 1999. *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Volume 1 Sixth Edition Fluid Flow, Heat Transfer and Mass Transfer*. Butterworth-Heinemann. Oxford. 895 hlm.
- Dean, J. A. 1999. *Lange's Handbook of Chemistry Fifteenth Edition*. McGraw-Hill, Inc. Chicago. 1562 hlm.
- Department of The Army. 1984. *Military Explosive*. (Pedoman Teknis). Department of The Army. Washington, D.C. 355 hlm.
- Eng, Grinberg, and Lin. (2014). *A Green & Clean Process for the Production of Methacrylic Acid and Methacrolein from Biofuel*. USA: EverNu Technology, LLC.
- European Patent, EP 0206 230 A2. (1986). *Methyl Methacrylate Production*
- European Patent, EP 0941 984 A2. (1999). *Method of Producing a Methyl Methacrylate*

- European Patent, EP 0406 676 B1. (1996). *Process for Producing Methyl Methacrylate*
- Fogler, H. S. 2020. *Elements of Chemical Reaction Engineering Sixth Edition*. Pearson Education, Inc. New York. 1983 hlm.
- Foust, A. S., Wenzel, L. A., Clump, C. W., Maus, L., Andersen, L. B. 1980. *Principles of Unit Operation Second Edition*. John Wiley & Sons, Inc. Toronto. 768 hlm.
- Geankolpis, C. J. 1993. *Transport Process and Unit Operation Third Edition*. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey. 921 hlm.
- Green, D. W., Perry, R. H. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th Edition*. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York. 2735 hlm.
- Haynes, W. M. 2014. *CRC Handbook of Chemistry and Physics 95th Edition 2014-2015*. CRC Press. Florida. 2666 hlm.
- Hesse, H. C., Rushton, J. H. 1945. *Process Equipment Design*. D. Van Nostrand Co., Inc. New York. 580 hlm.
- Himmelblau, D. M., Riggs, J. B. 2012. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering Eight Edition*. Pearson Education, Inc. Michigan. 857 hlm.
- Ismail, F. A. 2009. Studi kuat tekan beton campuran 1 : 2 : 3 berdasarkan lokasi pengambilan agregat di Sumatera Barat. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 5 (2): 1-12.
- Joshi, M. V. 1976. *Process Equipment Design*. The Macmillan Company of India Limited. New Delhi. 532 hlm.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill Book Company, Inc. Singapore. 871 hlm.
- Kirk, R.E. and Othmer, D.F. (1978). *Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd ed*. New York: John Wiley and Sons Inc.

- Kirk, R.E. and Othmer, D.F. (1995). *Encyclopedia of Chemical Technology, 4th ed.* New York: John Wiley and Sons Inc.
- Lane, L. B. 1925. Freezing points of glycerol and its aqueous solutions. *Ind. Eng. Chem.* 17 (9): 924.
- Lide, D. R. 2007. *CRC Handbook of Chemistry and Physics 88th Edition 2007-*.
- Lu, K.-T., Luo, K.-M., Yeh, T.-F. & Lin, P.-C. 2008. The kinetic parameters and safe operating conditions of nitroglycerine manufacture in the CSTR of biazzii process. *Process Safety and Environmental Protection.* 86 (1): 37-47.
- MacBean, C. 2010. *The Pesticide Manual 15th Edition.* British Crop Protection Council. Hampshire.
- Matches. 2014. *Matches' Process Equipment Cost Estimates.* <http://www.matche.com/equipcost/Default.html>. Diakses pada 28 Oktober 2022.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriott, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering Fifth Edition.* McGraw-Hill, Inc. Singapore. 1130 hlm.
- Megyesy, E. F. 2001. *Pressure Vessel Handbook Twelfth Edition.* Pressure Vessel Handbook Publishing, Inc. Oklahoma. 499 hlm.
- Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2017. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, *Solus Per Aqua*, dan Pemandian Umum. Kementerian Kesehatan. DKI Jakarta.
- Metcalf, L., Eddy, H. P., Tchobanoglous, G. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse Vol. 4.* McGraw-Hill. New York.
- Muller, H. 2012. Sulfuric Acid and Sulfur Trioxide. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.* Ullmann, F. (eds). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim. 35: 141-211.

- National Oceanic and Atmospheric Administration. 2022. *Sulfuric Acid*.
<https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/5193>. Diakses pada 24 Februari 2022.
- Nauman, E. B. 2002. *Chemical Reactor Design, Optimization, and Scale Up*. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York. 599 hlm.
- O'Neil, M. J. 2001. *The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals 13th Edition*. Merck and Co., Inc. New Jersey. 1185 hlm.
- Perry, R. H., Green, D. W., Maloney, J. O. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook Seventh Edition*. McGraw-Hill. New York. 2433.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers Fourth Edition*. McGraw-Hill, Inc. Singapore. 910 hlm.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., West, R. E. 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers Fifth Edition*. McGraw-Hill. New York. 988 hlm.
- Powell, S. T. 1954. *Water Conditioning for Industry First Edition*. McGraw-Hill Book Company. New York. 548 hlm.
- Presiden Republik Indonesia. 1999. Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1999 tentang Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat.
- .
- Qasim, S. R., Zhu, G. 2018. *Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples Volume 1 Principles and Basic Treatment*. CRC Press. Florida.1161 hlm.
- Rahmandani, I., Hendrawan, D. I., Astono, W. 2021. Penilaian kualitas air di Sungai Cisadane dilihat dari parameter BOD dan DO. *Jurnal Bhuwana*. 1 (2): 147-154.
- Rase, H. F. 1977. *Chemical Reactor Design for Process Plants, Volume 1 Principles & Techniques*. John Wiley and Sons Canada Ltd. Toronto. 755 hlm.

- Rishipal Glass & Chemicals Pvt. Ltd. 2022. *Powder Dense Soda Ash, 50 Kg*.
<https://www.indiamart.com/proddetail/dense-soda-ash-19892493230.html>.
Diakses pada 17 September 2022.
- Rosarina, D., Laksanawati, E. K. 2018. Studi kualitas air Sungai Cisadane Kota Tangerang ditinjau dari parameter fisika. *Jurnal Redoks*. 3(2): 38-43.
- Sari, P. D. R. 2022. *Kapasitas Produksi Gliserin PT Cisadane Raya Chemicals*. (Wawancara). Ditanyakan pada 10 Februari 2022.
- Shammas, N. K., Wang, L. K. 2007. Gravity Thickening. In: *Biosolids Treatment Processes. Handbook of Environmental Engineering*. Wang, L. K., Shammas, N. K., Hung, Y. -T. (eds). Humana Press. New Jersey. 6: 45-69.
- Siahaan, R., Indrawan, A., Soedharma, D., Prasetyo, L. B. 2011. Kualitas air Sungai Cisadane, Jawa Barat – Banten. *Jurnal Ilmiah Sains*. 11(2): 268-273.
- Sinnot, R. K. 2005. *Chemical Engineering Design Coulson and Richardson's Chemical Engineering Series Volume 6 Fourth Edition*. Elsevier Butterworth-Heinemann. Oxford. 1038 hlm.
- Sinnot, R., Towler, G. 2020. *Chemical Engineering Design Coulson and Richardson's Chemical Engineering Series Sixth Edition*. Butterworth-Heinemann. Oxford. 1262 hlm.
- Smith, J. M., Ness, H. C. V., Abbott, M. M. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics Sixth Edition in SI Units*. McGraw-Hill. New York. 731 hlm.
- Sugiarto, D. S. 2000. *Metode Statistika untuk Bisnis dan Ekonomi*. Gramedia Pustaka Utama. DKI Jakarta.
- Tata Chemicals Ltd. 2021. *Dense Soda Ash*.
<https://www.tatachemicals.com/Asia/Products/Basic-chemistry/Soda-ash/dense-soda-ash>. Diakses pada 14 Februari 2022.

- Thiemann, M., Scheibler, E., Wiegand, K. W., 2012. Nitric Acid, Nitrous Acid, and Nitrogen Oxides. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Ullmann, F. (eds). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim. 24: 177-225.
- Thieme, C. 2012. Sodium Carbonates. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Ullmann, F. (eds). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim. 33: 299-317.
- Toko Indojava Kimia. 2022. *Calcium Chloride 1 Zak*. <https://www.tokopedia.com/ptariman/calcium-chloride-1-zak>. Diakses pada 11 November 2022.
- Tuwati, A. M. A., Fan, M., Bentley, M. A. 2010. Reaction kinetic model for a recent co-produced water treatment technology. *Journal of Environmental Sciences*. 23(3): 360–365.
- Twort, A. C., Ratnayaka, D. D., Brandt, M. J. 2000. *Water Supply 5th Edition*. Butterworth-Heinemann. Oxford. 676 hlm.
- UN Comtrade Database. 2022. *Trade Statistics*. <https://comtrade.un.org/data/>. Diakses pada 9 Januari 2022.
- Ulrich, G. D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley & Sons, Inc. Toronto. 470 hlm.
- Ullman, Fritz. (1989). *Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vol 3. New York: John Wiley and Sons Inc
- Urbanski, T. 1965. *Chemistry and Technology of Explosives Vol. II*. PWN-Polish Scientific Publishers. Warszawa. 517 hlm.
- United States Patent, US 3,821,286. (1974). *Process For The Production Of Methyl Methacrylate*

- Valves Instrument Plus Ltd. 2021. *Density Of Liquid Water From 0°C to 100°C*.
https://www.vip-ltd.co.uk/Expansion/Density_Of_Water_Tables.pdf.
Diakses pada 1 Mei 2022.
- Vilbrandt, F. C., Dryden, C. E. 1959 *Chemical Engineering Plant Design Fourth Edition*. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokyo. 532 hlm.
- Wagiman. 2020. *Gudang, Pengemasan dan Cara Penyimpanan*. (Bahan Ajar Kuliah). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 26 hlm.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. Butterworth-Heinemann. Massachusetts. 755 hlm.
- Wilson, T. E. 2005. *Clarifier Design Second Edition*. Water Environment Federation (WEF) Press. Virginia. 704 hlm.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Mc-Graw-Hill. New York. 779 hlm.
- Zaidar, E. 2003. *Nitrogliserin Dapat Digunakan sebagai Bahan Peledak*. (Bahan

Contents