

**PRARANCANGAN PABRIK METIL METAKRILAT ($C_5H_8O_2$)
DARI ASETON SIANOHIRIN (C_4H_7NO), ASAM
SULFAT (H_2SO_4) DAN METANOL (CH_3OH)
KAPASITAS 80.000 TON/TAHUN**

**Tugas Khusus:
(Perancangan Menara Distilasi (MD-303))**

(Skripsi)

Oleh:

DELLA MEIFI LISANDI

1815041007



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

2023

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK METIL METAKRILAT ($C_5H_8O_2$) DARI ASETON SIANOHRIN (C_4H_7NO), ASAM SULFAT (H_2SO_4) DAN METANOL (CH_3OH) KAPASITAS 80.000 TON/TAHUN (Perancangan Menara Distilasi (MD-303))

Oleh

DELLA MEIFI LISANDI

Metil Metakrilat ($C_5H_8O_2$) mempunyai peranan dalam beberapa industri kimia seperti industri pelapis kulit, kosmetik, cat, peralatan rumah tangga, polimer dan lainnya. Untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri yang masih harus diimpor dari luar negeri dan adanya peluang ekspor yang masih terbuka, Kapasitas produksi pabrik direncanakan sebesar 80.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun dan didirikan di Kota Gresik, Jawa Timur. Bentuk perusahaan adalah badan usaha Perseroan Terbatas (PT) menggunakan struktur organisasi *line and staff* dengan jumlah karyawan sebanyak 163 orang.

Analisa ekonomi Prarancangan Pabrik Metil Metakrilat sebagai berikut:

<i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	= Rp745.085.297.981,21
<i>Working Capital Investment</i> (WCI)	= Rp175.314.187.760,29.
<i>Total Capital Investment</i> (TCI)	= Rp920.399.485.741,50
<i>Break Even Point</i> (BEP)	= 39,35%
<i>Shut Down Point</i> (SDP)	= 29,37%
<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.

Kata kunci: Metil Metakrilat, Aseton Sianohrin, Asam Sulfat, Metanol, Ekonomi

ABSTRACT

**MANUFACTURING OF METHYL METHACRYLATE (C₅H₈O₂)
FROM ACETON CYANOHYDRIN (C₄H₇NO), SULFURIC ACID(H₂SO₄)
DAN METHANOL (CH₃OH) CAPACITY 80.000 TON/TAHUN
(Design of Distillation Coloumn (MD-303))**

By

DELLA MEIFI LISANDI

Methyl Methacrylate (C₅H₈O₂) has a role in several chemical industries such as the leather coating industry, cosmetics, paint, household appliances, polymers and others. To meet domestic needs which still have to be imported from abroad and there are still open export opportunities. Production capacity is planned at 80.000 tons/year with 330 working days in a year and will be established in Gresik City, Jawa Timur. The company form is a Limited Liability Company (PT) using a line and staff organizational structure with a total of 163 employees.

An economic analysis of preliminary plant design of Methyl Methacrylate are:

<i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	= Rp745.085.297.981,21
<i>Working Capital Investment (WCI)</i>	= Rp175.314.187.760,29.
<i>Total Capital Investment (TCI)</i>	= Rp920.399.485.741,50
<i>Break Even Point (BEP)</i>	= 39,35%
<i>Shut Down Point (SDP)</i>	= 29,37%
<i>Pay Out Time after Taxes (POT)a</i>	= 1,42 tahun
<i>Return on Investment before Taxes (ROI)b</i>	= 61,28 %
<i>Return on Investment after Taxes (ROI)a</i>	= 49,02 %
<i>Discounted Cash Flow (DCF)</i>	=56,32 %

Based on the above considerations, the establishment of the Methyl Methacrylate factory should be studied further, because it is a profitable factory and has a good prospect.

Key words: Methyl Methacrylate, Acetone Cyanorin, Sulfuric Acid, Methanol, Economics

**PRARANCANGAN PABRIK METIL METAKRILAT (C₅H₈O₂)
DARI ASETON SIANOHRIN (C₄H₇NO), ASAM
SULFAT (H₂SO₄) DAN METANOL (CH₃OH)
KAPASITAS 80.000 TON/TAHUN**

**Tugas Khusus
(Perancangan Menara Distilasi (MD-303))**

**Oleh:
DELLA MEIFI LISANDI
1815041007**

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 (C₅H₈O₂) DARI ASETON
SIANOHIDRIN (C₄H₇NO), ASAM SULFAT
(H₂SO₄) DAN METANOL (CH₃OH)
KAPASITAS 80.000 TON/TAHUN
(Perancangan Menara Distilasi 3 (MD-
303))**

Nama Mahasiswa

: **Della Meifi Lisandi**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1815041007

Program Studi

: Teknik Kimia

Fakultas

: Teknik



Dr. Lillis Hermida, S.T., M.Sc.

NIP. 1969020801997032001

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

NIP. 196809021997022005

2. Ketua Jurusan Teknik Kimia

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Yuli Darni".

Yuli Darni, S.T., M.T.

NIP. 197407122000032001

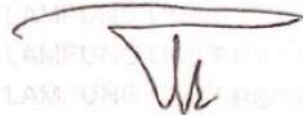
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



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

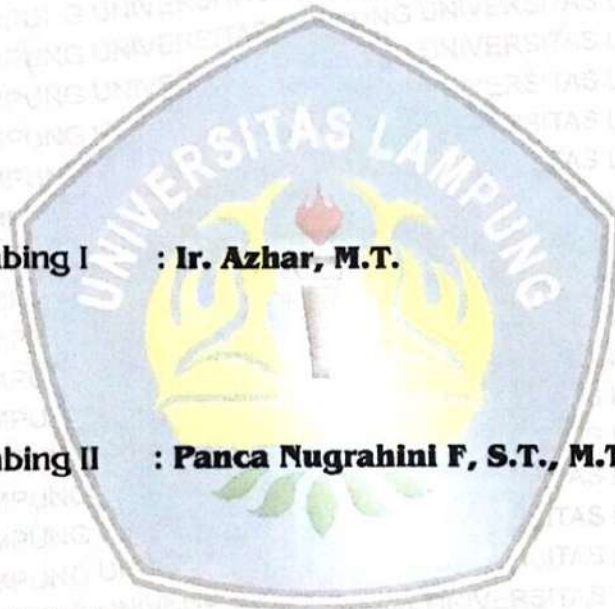
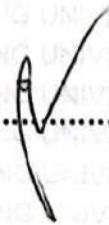


Penguji

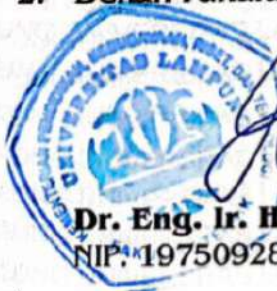
Bukan Pembimbing I : Ir. Azhar, M.T.



Bukan Pembimbing II : Panca Nugrahini F, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S. T., M. Sc. ✓
NIP: 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 30 November 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, 07 Desember 2023



Della Meifi Lisandi

NPM. 1815041007

RIWAYAT HIDUP



Della Meifi Lisandi, penulis laporan skripsi ini dilahirkan di Pringsewu pada tanggal 14 Mei 2000, putri pertama dari Bapak Agus Sugandhi Rahmat dan Ibu Lis Fitriyani. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK 02 YAPINDO pada tahun 2006, pendidikan Sekolah Dasar di SD 02 YAPINDO pada tahun 2012, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Gula Putih Mataram pada tahun 2015 dan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAS Sugar Group pada tahun 2018.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi antara lain sebagai Staff Departemen Media Informasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) Periode 2019 dan Sekretaris Departemen Media Informasi Himatemia FT Unila Periode 2020 serta Staff dari Dinas Komunikasi dan Informasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT Unila) Periode 2020.

Selain aktif dalam organisasi penulis juga aktif sebagai tim peneliti dengan dosen dan berhasil mendapatkan hibah penelitian dari Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS) dan berkesempatan secara langsung untuk mempresentasikan artikel ilmiah di International Conference SCE 2023 di Kuala Lumpur, Malaysia. Pada tahun 2021, penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PTPN VII Unit Bekri dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja *Continuous Settling Tank* (CST)” dan melakukan penelitian dengan judul “Karakterisasi dan Uji Performansi Adsorben Spent Bleaching Earth (SBE) Tereaktivasi dengan Asam Sulfat Pada Proses Pemucatan *Crude Palm Oil* (CPO)”.

Motto dan Persembahan

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai dari suatu urusan kerjakanlah dengan sungguh – sungguh urusan yang lain, dan hanya kepada Allah kamu berharap”

Q.S Al- Insyirah: 6 –8

“Real knowledge, like everything else of value, is not to be obtained easily. It must be worked for, studied for, thought for, and, more that all, must be prayed for. “

”Dengan sepenuh hati berjalan menuju ke arah yang kau tuju, kemudian akan menemukan apa yang kau mau. Tapi Tuhan lebih tahu, menghentikan langkahmu, memberikan apa yang sekarang kau butuh.” (Muhammad Zona Gufiralla)

“Everything will be passed”

*Dengan mengucapkan syukur kepada Allah SWT,
Kupersembahkan karya kecilku ini kepada:*

*Kedua orang tuaku, Ayah dan Ibuku serta adikku
Terimakasih yang tak terhingga untuk segala bentuk
kasih dan sayang yang hingga detik ini masih
senantiasa tercurah untuk putri tunggalmu ini.*

*Keluarga besarku,
Terimakasih banyak untuk do'a dan dukungan baiknya
selama ini.*

*Sahabat-sahabatku tersayang,
Terimakasih selalu ada dan menemani dengan setulus
hati.*

*Para pengajar sebagai tanda hormatku,
Terimakasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini*

*Serta kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta,
semoga dapat berguna dikemudian hari.*

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Prarancangan Pabrik Metil Metakrilat Dari Asetone Sianohidrin, Asam Sulfat dan Metanol Kapasitas 80.000 Ton/Tahun” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah dan Ibu atas segala cinta, kasih, sayang, do'a, dukungan, kepercayaan, ketulusan dan semangat yang tak henti-hentinya diberikan kepada penulis sampai detik ini. Terimakasih atas do'a dan segala bentuk dukungan baik materi maupun moril yang telah diberikan selama ini.
2. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.
3. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T. selaku Dosen Penanggung Jawab Mata Kuliah Tugas Akhir.
4. Ibu Dr. Lilis Hermida, S. T., M. Sc. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak ilmu, pengarahan, bimbingan, kritik dan saran selama penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan tersebut dapat berguna dikemudian hari.
5. Ibu Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
6. Bapak Ir. Azhar, M.T. selaku Dosen Peguji I dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan saran, kritikan dan juga mengasah logika

untuk mengarahkan ke jalan yang benar dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.

7. Ibu Panca Nungrahini F, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan banyak saran dan kritikan dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
8. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu yang telah diberikan selama masa studi. Semoga dapat menjadi bekal dan acuan untuk terus berkembang di masa depan
9. Para pejuang S.T : Rizki Ramadhani, Wildan Naufal dan Muhammad Fakhrol Fadli Nasution yang selalu ikhlas mendengar keluh kesah dan setia membantu penulis menyelesaikan gelar ini. Semoga segala urusan kalian dipermudah dan bisa secepatnya mendapatkan gelar ini bersama.
10. Teman teman angkatan 2018 terutama Agita dan Titin yang selalu menemani perkuliahan penulis hingga sampai semester terakhir.
11. Semua pihak lainnya yang telah membantu dan mendo'akan kebaikan untuk penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
12. Terakhir: Diriku sendiri, terimakasih sudah berjuang sampai dititik ini dengan segala proses yang gak mudah, but you did it dels! Terimakasih yaa sudah mengusahakan versi terbaik diproses ini! MasyaAllah Tabarakallah.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian dengan yang lebih baik dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin.

Bandar Lampung, 07 Desember 2023

Penulis,

Della Meifi Lisandi

DAFTAR ISI

COVER.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABLE.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Kegunaan Produk.....	2
1.3 Ketersediaan Bahan Baku.....	4
1.5. Tempat dan Lokasi Pabrik	9
II DESKRIPSI PROSES	12
2.1. Jenis- Jenis Proses.....	12
2.2. Pemilihan Proses.....	14
2.3. Uraian Proses	50
III. SPESIFIKASI BAHAN BAKU.....	53
3.1. Spesifikasi Bahan Baku	53
3.2. Spesifikasi Produk	56
IV. NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	57
4.1. Neraca Massa.....	57
4.2. Neraca Panas.....	62
V. SPESIFIKASI ALAT.....	68
5.1. Spesifikasi Alat Proses	68
5.2. Spesifikasi Peralatan Utilitas	111
VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH	153
6.1 Unit Penyediaan air.....	153
6.2 Pengolahan Air	160
6.3 Unit Penyediaan Steam.....	164

6.4	Unit Pembangkit Tenaga Listrik.....	165
6.5	Unit Penyediaan Bahan Bakar	165
6.6	Unit Penyediaan Udara Tekan	165
6.7	Unit Pengolahan Limbah	166
6.8	Unit Laboratorium	166
6.9	Instrumentasi dan Pengendalian Proses.....	169
VII.	TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK.....	172
7.1	Lokasi Pabrik.....	172
7.2	Tata Letak Pabrik.....	174
7.3	Estimasi Area Pabrik	176
7.4	Tata Letak Peralatan Proses.....	178
7.5	Lokasi Pendirian Pabrik.....	180
VIII.	SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI PERUSAHAAN.....	182
8.1	Bentuk Perusahaan.....	182
8.2	Struktur Organisasi Perusahaan	185
8.3	Tugas dan Wewenang.....	188
8.4	Status Karyawan dan Sistem Penggajian.....	194
8.5	Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	195
8.6	Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	197
8.7	Kesejahteraan Karyawan	202
8.8	Cuti	202
8.9	Pakaian Kerja.....	202
8.10	Pengobatan.....	202
8.11	Badan Penyelenggara Jaminan Sosial Kesehatan (BPJS Kesehatan).....	203
IX.	INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI	204
9.1.	<i>Total Capital Investment (TCI)</i>	204
9.2.	<i>Total Production Cost (TPC)</i>	205
9.3.	Evaluasi Ekonomi.....	208
9.4.	Angsuran Pinjaman.....	211
9.5.	<i>Discounted Cash Flow (DCF)</i>	215
X	KESIMPULAN DAN SARAN	216
	DAFTAR PUSTAKA.....	217

LAMPIRAN A PERHITUNGAN NERACA MASSA

LAMPIRAN B PERHITUNGAN NERACA ENERGI

LAMPIRAN C PERHITUNGAN SPESIFIKASI ALAT

LAMPIRAN D PERHITUNGAN UTILITAS

LAMPIRAN E PERHITUNGAN EKONOMI DAN EVALUASI EKONOMI

LAMPIRAN F TUGAS KHUSUS

DAFTAR TABEL

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	6
Tabel 1.4. Data Pabrik Metil Metakrilat di Dunia	8
Tabel 1.5. Pemasaran Produk Metil Metakrilat di Indonesia.....	10
Table 2.1. Harga Bahan Baku dan Produk (Alibaba,2022).....	15
Table 2.2. Massa reaktan dan produk (Aseton Sianohidrin).....	17
Table 2.3. Konstanta <i>Heat Capacities</i> (CP) reaksi 1	18
Table 2.4. Nilai Enthalphi Standar (ΔH^0) reaksi 1	19
Table 2.5. Konstanta <i>Heat Capacities</i> (CP) proses esterifikasi metakrilamid sulfat .20	20
Table 2.6. Nilai entalphi standar (ΔH^0) proses esterifikasi metakrilamid sulfat.....	21
Table 2.7. Nilai energi bebas <i>gibbs</i> standar reaksi 1	22
Table 2.8. Nilai energi bebas <i>gibbs</i> standar proses esterifikasi metakrilamid sulfat .23	23
Table 2.9. Data bahan baku dan produk (isobutilen)	25
Table 2.10. Massa reaktan dan produk (Isobutilen).....	26
Table 2.11. Konstanta kapasitas panas (CP) proses isobutilen	27
Table 2.12. Nilai Enthalphi Standar Standar (ΔH^0_{298}) Proses Isobutilen.....	27
Table 2.13. Nilai Energi Bebas <i>Gibbs</i> Standar Proses Isobutilen	32
Table 2.14. Data Bahan Baku dan Produk (Etilen).....	34
Table 2.15. Massa Reaktan dan produk (Etilen).....	35
Table 2.16. <i>Enthalpy</i> Pembentukan	37
Table 2.17. Nilai Entalpy Standar ΔH^0_{298} Proses etilen.....	37
Table 2. 18. Nilai Energi Bebas <i>Gibbs</i> Standar (etilen).....	43
Table 2.19. Pertimbangan Pemilihan Proses.....	47
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 1 (MD-301)	59
Tabel 4.4. Neraca Massa Menara Distilasi 2 (MD-302)	59
Tabel 4.5. Neraca Massa Menara Distilasi 3 (MD-303)	60
Tabel 4.6. Neraca Massa Menara Distilasi 4 (MD-304)	60
Tabel 4.7. Neraca Massa Decanter (DC-301)	61
Tabel 4.8. Neraca Panas <i>Heater</i> 1 (HE-101).....	61
Tabel 4.9. Neraca Panas <i>Heater</i> 2 (HE-102).....	62
Tabel 4.10. Neraca Panas <i>Cooler</i> 1 (HE-101).....	62
Tabel 4.11. Neraca Panas Reaktor Hidrolisis (RE-201)	62
Tabel 4.12. Neraca Panas <i>Heater</i> 3 (HE-201).....	63
Tabel 4.13. Neraca Panas <i>Heater</i> 4 (HE-202).....	63
Tabel 4.14. Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-203).....	64
Tabel 4. 15. Neraca Panas Reaktor Esterefikasi (RE-202)	64
Tabel 4.16. Neraca Panas <i>Cooler</i> 2 (CO-301)	64
Tabel 4.17. Neraca Panas Menara Distilasi 1 (MD-201).....	65
Tabel 4.18. Neraca Panas <i>Cooler</i> 3 (CO-302)	65
Tabel 4.19. Neraca Panas Menara Distilasi 2 (MD-302).....	65
Tabel 4.20. Neraca Panas Menara Distilasi 3 (MD-303).....	65
Tabel 4.21. Neraca Panas Menara Distilasi 4 (MD-304).....	66
Tabel 4.22. Neraca Panas <i>Cooler</i> 4 (CO-303)	66
Tabel 4.23. Neraca Panas <i>Cooler</i> 5 (CO-304)	66
Tabel 4.24. Neraca Panas <i>Cooler</i> 6 (CO-305)	67
Tabel 5.1. Spesifikasi Tangki Penyimpanan (ST-101)	68
Tabel 5.2. Spesifikasi Tangki Penyimpanan (ST-102)	69
Tabel 5.3. Spesifikasi Tangki Penyimpanan (ST-103)	70
Tabel 5.4. Spesifikasi Tangki Penyimpanan (ST-301)	71
Tabel 5.5. Spesifikasi Tangki Penyimpanan (ST-502)	72
Tabel 5.6. Spesifikasi Reaktor (RE-201)	73
Tabel 5.7. Spesifikasi Reaktor (RE-202)	74
Tabel 5.8. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-301)	75
Tabel 5.9. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-301)	76
Tabel 5.10. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-303)	77

Tabel 5.11. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-304)	78
Tabel 5.12. Spesifikasi <i>Condenser</i> 1 (CD-301)	79
Tabel 5. 13. Spesifikasi <i>Condenser</i> 2 (CD-302)	80
Tabel 5. 14. Spesifikasi <i>Condenser</i> 3 (CD-303)	81
Tabel 5.15. Spesifikasi <i>Condenser</i> 4 (CD-304)	82
Tabel 5.16. Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-301)	83
Tabel 5.17. Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-302)	84
Tabel 5.18. Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-303)	85
Tabel 5.19. Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-304)	86
Tabel 5.20. Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-301)	87
Tabel 5.21. Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-302)	87
Tabel 5.22. Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-303)	88
Tabel 5.23. Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-304)	88
Tabel 5. 24 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-101)	89
Tabel 5. 25 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-102)	90
Tabel 5.26 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-201)	91
Tabel 5. 27 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-202)	92
Tabel 5. 28 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-203)	93
Tabel 5. 29 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-201)	93
Tabel 5. 30 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-301)	94
Tabel 5. 31 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-302)	94
Tabel 5. 32 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-303)	95
Tabel 5. 33 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-304)	95
Tabel 5. 34 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-305)	96
Tabel 5.35. Spesifikasi Pompa Proses (PP-101)	96
Tabel 5.36. Spesifikasi Pompa Proses (PP-102)	97
Tabel 5.37. Spesifikasi Pompa Proses (PP-201)	98
Tabel 5.38. Spesifikasi Pompa Proses (PP-202)	99
Tabel 5.39. Spesifikasi Pompa Proses (PP-203)	100
Tabel 5.40. Spesifikasi Pompa Proses (PP-301)	101
Tabel 5.41. Spesifikasi Pompa Proses (PP-302)	102
Tabel 5.42. Spesifikasi Pompa Proses (PP-303)	103

Tabel 5.43. Spesifikasi Pompa Proses (PP-304)	104
Tabel 5.44. Spesifikasi Pompa Proses (PP-305)	105
Tabel 5.45. Spesifikasi Pompa Proses (PP-306)	106
Tabel 5.46. Spesifikasi Pompa Proses (PP-307)	107
Tabel 5.47. Spesifikasi Pompa Proses (PP-308)	108
Tabel 5.48. Spesifikasi Pompa Proses (PP-309)	109
Tabel 5.49 Spesifikasi <i>Decanter</i> (DEC-301).....	110
Tabel 5.50 Spesifikasi Sedimentation Basin (BS – 401)	111
Tabel 5.51 Spesifikasi <i>Dissolving Tank</i> Alum (DT – 401).....	112
Tabel 5.52 Spesifikasi <i>Dissolving Tank</i> NaOH (DT – 402).....	113
Tabel 5.53 Spesifikasi <i>Dissolving Tank</i> Kaporit (DT – 403).....	114
Tabel 5.54 Spesifikasi Clarifier (CL-401)	115
Tabel 5.55 Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-401).....	116
Tabel 5.56 Storage Tank Filtered Water (ST – 401).....	117
Tabel 5.57 Storage Tank Domestic Water (ST – 402).....	118
Tabel 5.58 Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-401)	119
Tabel 5.59 Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB – 401)	119
Tabel 5.60 Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-401)	120
Tabel 5.61 Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-401)	121
Tabel 5.62 Spesifikasi <i>Storage Tank Dispersant</i> (ST-403)	122
Tabel 5.63 Spesifikasi <i>Storage Tank Inhibitor</i> (ST-404).....	122
Tabel 5.64 Spesifikasi <i>Storage Tank Demin Water</i> (ST-405).....	123
Tabel 5.65 Spesifikasi <i>Deaerator</i> (DA-501).....	124
Tabel 5.66 Spesifikasi <i>Storage Tank Hidrazin</i> (ST-502)	125
Tabel 5.67. Spesifikasi <i>Boiler</i> (BO-501)	126
Tabel 5.68 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Bahan Bakar (ST-503)	127
Tabel 5.69 Spesifikasi <i>Blower Steam</i> (BS– 501)	128
Tabel 5.70 Spesifikasi Storage Tank Air Kondensat (ST-501).....	128
Tabel 5.71 Spesifikasi <i>Cyclone</i> (CY-501)	129
Tabel 5.72 Spesifikasi <i>Air Dryer</i> (AD – 501)	129
Tabel 5.73 Spesifikasi Air Compressor (AC-601).....	130
Tabel 5.74 Spesifikasi Blower Udara 1 (BL – 601).....	130

Tabel 5.75 Spesifikasi Blower Udara 2 (BL – 602).....	130
Tabel 5.76 Spesifikasi Blower Udara 3 (BL – 603).....	131
Tabel 5.77 Spesifikasi Blower Udara 4 (BL – 604).....	131
Tabel 5.78 Spesifikasi Generator Listrik (GS-701)	131
Tabel 5.79 Spesifikasi Bak Penampung Limbah Cair (PL-801).....	132
Tabel 5.80 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 401)	132
Tabel 5. 1 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 402)	133
Tabel 5.82 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 403)	133
Tabel 5.83. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 404)	134
Tabel 5.84 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 405)	134
Tabel 5.85 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 406)	135
Tabel 5.86 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 407)	135
Tabel 5.87 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 408)	136
Tabel 5.88 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 409)	137
Tabel 5.89 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 410)	138
Tabel 5.90 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 411)	138
Tabel 5.91 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 412)	139
Tabel 5.92 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 413)	139
Tabel 5.93 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 414)	140
Tabel 5.94 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 415)	140
Tabel 5.95 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 416)	141
Tabel 5.96 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-501).....	141
Tabel 5.97 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-502).....	142
Tabel 5.98 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-503).....	143
Tabel 5.99 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-504).....	144
Table 6.1. Kebutuhan Air Umum.....	154
Table 6.2. Kebutuhan Air Pendingin.....	155
Table 6.3. Persyaratan Kualitas Air Pendingin	155
Table 6.4. Kebutuhan Air Pembangkit Steam.....	158
Table 6.5. Karakteristik Sungai Bengawan Solo	160
Table 6.6. Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian	171
Table 6.7. Pengendalian Variabel Utama Proses	171

Tabel 7.1. Perincian Luas Area Pabrik.....	177
Tabel 8.1. Jadwal Kerja Masing-Masing Regu	196
Tabel 8.2. Perincian Tingkat Pendidikan	197
Tabel 8.3. Jumlah Operator Alat Proses	199
Tabel 8.4. Jumlah Operator Alat Utilitas	199
Tabel 8.5. Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	200
Tabel 9.1. <i>Fixed Capital Investment</i>	204
Tabel 9.2. <i>Manufacturing Cost</i>	206
Tabel 9.3. <i>General Expenses</i>	207
Tabel 9.4. Daftar Gaji Karyawan	207
Tabel 9.5. Minimum Acceptable Percent Return on Investment.....	209
Tabel 9.6. <i>Acceptable Payout Time</i> untuk Tingkat Risiko Pabrik	210
Tabel 9.7. <i>Discounted Cash Flow</i>	212
Tabel 9.8. Hasil Uji Kelayakan Ekonomi	215

DAFTAR GAMBAR

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 <i>Cooling Water System</i>	157
Gambar 7.1 Tata Letak Pabrik	168
Gambar 7.3. Tata Letak Peralatan Proses	179
Gambar 7.4. Peta Kabupaten Gresik (Pemerintah Kabupaten Gresik, 2023)	180
Gambar 7.5. Peta Lokasi Pabrik (Google Earth, 2022).....	180
Gambar 8.1. Struktur Organisasi Perusahaan	187
Gambar 9.1. Grafik Analisis Ekonomi.....	211
Gambar 9.2. <i>Kurva Cummulative Cash Flow</i>	215

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 penanganan dan pemrosesan 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 prostesis 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 rantai, 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	Lokasi
1.	Aseton Sianohidrin	Hangzhou Meite Industry Co.,	China
2.	Methanol	PT. Kaltim Methanol Industri	Kalimantan Timur
3.	Asam Sulfat	PT. Petrokimia Gresik	Gresik, Jawa Timur

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.

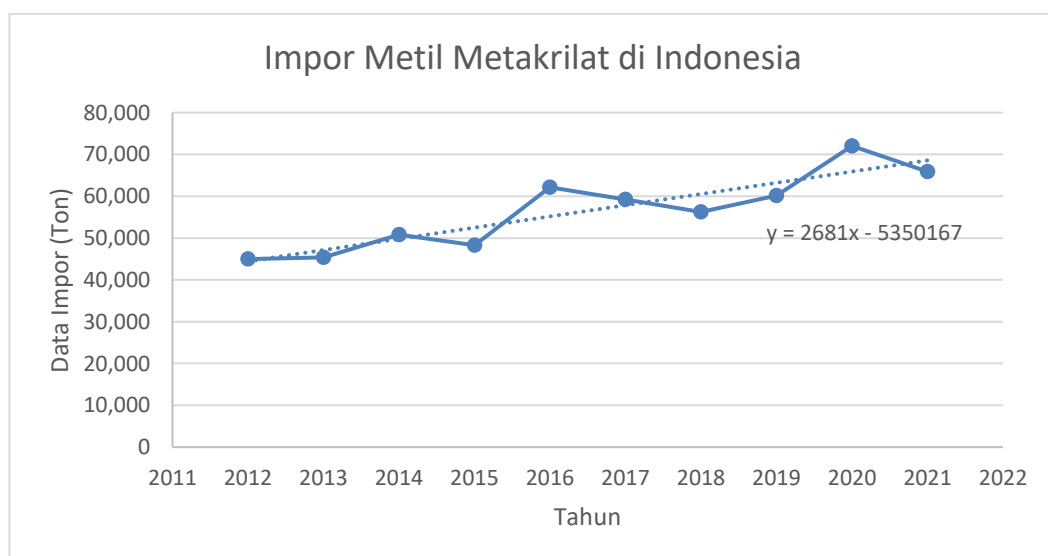
A. Data Impor Metil Metakrilat di Indonesia

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:

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

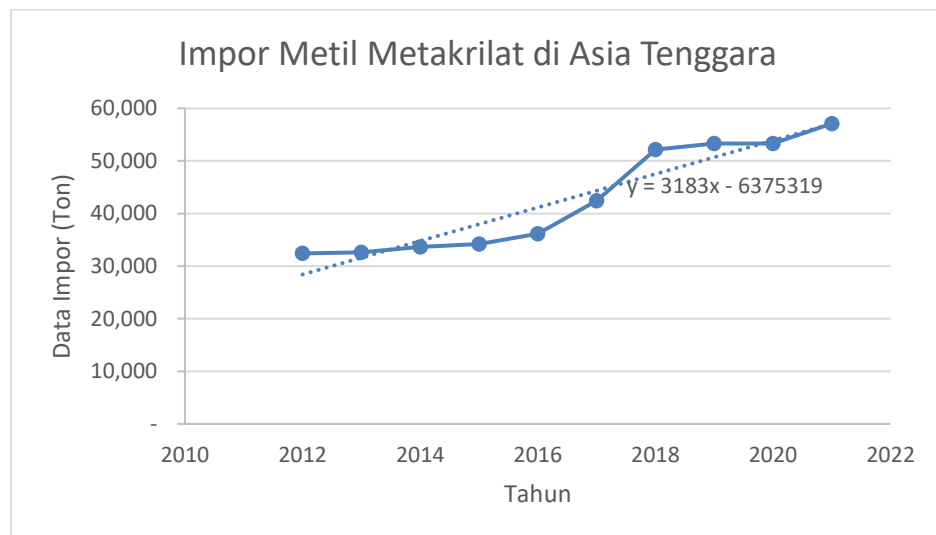
$$y = 2.681(2027) + 5.350.167$$

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

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 1.3.



Gambar 1. 2 Grafik Kebutuhan Metil Metakrilat di Asia Tenggara Tahun 2012-2021

Tabel 1.4. 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. 3 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 mengekspor 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 550.00 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. 4. 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. DESKRIPSI 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:

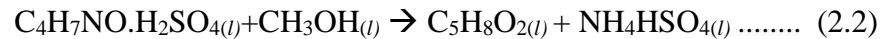
1. Pembuatan Metil Metakrilat dari Aseton Sianohidrin

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°C dan tekanan 7 atm untuk mendapatkan produk metil metakrilat dengan produk samping amonium bisulfat (NH₄SO₄). 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

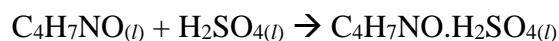
Tinjauan ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui potensi ekonomi (EP) berdasarkan perhitungan ekonomi kasar, pembelian bahan baku dan penjualan sebagai berikut:

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 $C_4H_7NO.H_2SO_{4(l)}$,

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

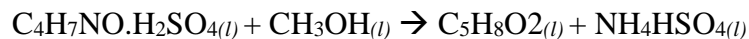
Karena koefisien $C_4H_7NO.H_2SO_{4(l)} = C_4H_7NO_{(l)}$, maka mol $C_4H_7NO.H_2SO_{4(l)}$ yang terbentuk sama dengan mol $C_4H_7NO_{(l)}$, sehingga mol $C_4H_7NO_{(l)}$ umpan masuk reaktor dapat dicari dengan perhitungan berikut:

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{CH}_3\text{OH} &= 0,352 \text{ Kg} \times \text{Rp. } 586,55 && = \text{Rp } 206,46 \\ \text{Total harga pembelian} &&& = \text{Rp. } 18.113,38 \end{aligned}$$

- Keuntungan = Harga penjualan produk – Biaya pembelian bahan baku

$$\begin{aligned} &= \text{Rp. } 31.282,80 - \text{Rp. } 18.113,38 \\ &= \text{Rp. } 13.169,42/\text{Kg produk} \end{aligned}$$

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

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

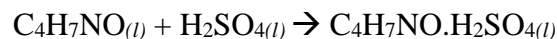
$$\text{EP} = (\text{Harga C}_5\text{H}_8\text{O}_2) - (\text{Harga C}_4\text{H}_7\text{NO} + \text{Harga H}_2\text{SO}_4 + \text{Harga CH}_3\text{OH})$$

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

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

2. Tinjauan Termodinamika

- Enthalphi Reaksi (ΔH_r)
 - Reaksi Hidrolisis



Adapun nilai konstanta A,B,C dan D *heat capacities* (C_p) untuk masing-masing komponen pada reaksi aseton sianohidrin (ACH) dan H_2SO_4 menjadi metakrilimid sulfat adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3 Konstanta *Heat Capacities* (C_p) reaksi 1

Komponen	A	B	C	D
$\text{C}_4\text{H}_7\text{NO}_{(l)}$	123,447	0,721	$-1,86 \cdot 10^{-3}$	$2,28 \cdot 10^{-6}$
$\text{H}_2\text{SO}_{4(l)}$	26,004	0,70337	$-1,386 \cdot 10^{-3}$	$1,034 \cdot 10^{-6}$
$\text{C}_4\text{H}_7\text{NO} \cdot \text{H}_2\text{SO}_{4(l)}$	-	-	-	-

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

$$\begin{aligned} \text{C}_4\text{H}_7\text{NO}_{(l)} + \text{H}_2\text{SO}_{4(l)} &\rightarrow \text{C}_4\text{H}_7\text{NO}.\text{H}_2\text{SO}_{4(l)} \\ \Delta A &= \Sigma A \text{ Produk} - \Sigma A \text{ Reaktan} \\ &= (1 \times 0) - (1 \times 123,447) + (1 \times 26,004) \\ &= -149,451 \end{aligned}$$

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 Enthalphi Standar (ΔH°) reaksi 1

Komponen	ΔH°_{298} (J/mol)
$\text{C}_4\text{H}_7\text{NO}_{(l)}$	-133.000
$\text{H}_2\text{SO}_{4(l)}$	-813.989
$\text{C}_4\text{H}_7\text{NO}.\text{H}_2\text{SO}_{4(l)}$	-920.100

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

$$\begin{aligned} \Delta H_{r^\circ, 298} &= \Sigma \Delta H_{298} \text{ .produk} - \Sigma \Delta H_{298} \text{ .reaktan} \\ &= (1 \times -920.100) - ((1 \times -133.000) + (1 \times -813.989)) \text{ J/mol} \\ &= -104.781 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

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 :

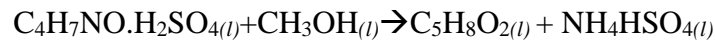
$$\tau = \frac{403 \text{ K}}{298 \text{ K}} = 1,35$$

$$MCPH = -247,276$$

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

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

b) Reaksi Esterifikasi

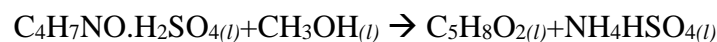


Adapun nilai konstanta A,B,C dan D *heat capacities* (CP) untuk masing-masing komponen pada proses esterifikasi metakrilimid sulfar menjadi MMA adalah sebagai berikut:

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

Komponen	A	B	C	D
$\text{C}_4\text{H}_7\text{NO} \cdot \text{H}_2\text{SO}_{4(l)}$	-	-	-	-
CH_3OH	40,152	0,3105	$-1,03 \cdot 10^{-3}$	$1,46 \cdot 10^{-6}$
$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	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)
$C_4H_7NO \cdot H_2SO_4(l)$	-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:

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

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 :

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

$$MCPH = 3.500,11$$

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

$$\begin{aligned} \Delta H_r &= \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p dT \\ &= -636.781,6155 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \Delta H_{r,298}^0 &= \sum \Delta H_{298}^0 \text{ .produk} - \sum \Delta H_{298}^0 \text{ .reaktan} \\ &= (-130.744,94) + (636.781,6155) \text{ J/mol} \\ &= -767.526,56 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Oleh karena itu, maka diperoleh nilai enthalpi reaksi ΔH_r pada proses pembuatan metil metakrilat dari aseton sianohidrin adalah sebesar $-767.526,56 \text{ J/mol}$. Nilai enthalpi (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^0_{298}) untuk masing-masing komponen pada proses pembentukan metakrilamit sulfat dapat dilihat pada tabel 2.7

Tabel 2.7 Nilai energi bebas gibbs standar reaksi 1

Komponen	$\Delta H^0_{298} \text{ (J/mol)}$
$C_4H_7NO (l)$	-30.970
$H_2SO_4 (l)$	-690.003
$C_4N_7NO.H_2SO_4 (l)$	-832,390

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

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

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 :

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

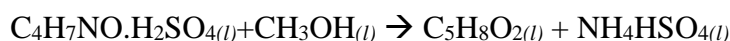
$$T_0 = 25^\circ\text{C} (298 \text{ K})$$

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

Sehingga

$$\begin{aligned}\Delta G_r &= \left(\frac{-104.781}{8,314} \right) \left[\frac{1}{403} - \frac{1}{298} \right] 8,314 \times 403 - \frac{-111.417}{8,314 \times 403} \text{ J/mol} \\ \Delta G_r &= -43,970 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\Delta G_{r,298} &= \sum \Delta G_{r,298} \text{ produk} - \sum \Delta G_{r,298} \text{ reaktan} \\ &= (1 \times -796.790) + (1 \times -241.590) - (1 \times -832.390) + (1 \times -162.200) \text{ J/mol} \\ &= -43.970 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

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 :

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

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

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

Sehingga

$$\begin{aligned}\Delta G_r &= \left(\frac{-269.270}{8,314} \right) \left[\frac{1}{423} - \frac{1}{298} \right] 8,314 \times 423 - \frac{-43.970}{8,314 \times 423} \text{ J/mol} \\ \Delta G_r &= -36.886,226 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Maka nilai energi Gibbs reaksi total :

$$\begin{aligned}\Delta G_{r,\text{total}} &= \Delta G_{r,\text{rx1}} + \Delta G_{r,\text{rx2}} \\ &= (-112.961,328) + (-36.886,226) \text{ J/mol} \\ &= -149.847,5547 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan seperti diatas, maka diperoleh nilai energi bebas gibbs reaksi (ΔG_r) sebesar -149.847,5547 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:

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

	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	0,0112 Kmol	0,0167 Kmol	0,0112 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	Iarga (Rp)/kg
C ₄ H ₈	56,108	,0112	0,6284	16.390,80
O ₂	32	,0167	0,5344	546,36
CH ₃ OH	32,04	,0112	0,3588	7.520,50
C ₃ H ₈ O ₂	100,11	0,01	1,0011	25.224,72
H ₂ O	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 :

$$\text{EP} = \text{Total harga produk} - \text{Total harga bahan baku (Smith, R., 1995)}$$

$$\text{EP} = (\text{Harga C}_3\text{H}_8\text{O}_2 + \text{Harga H}_2\text{O}) - (\text{harga C}_4\text{H}_8 + \text{Harga O}_2 + \text{Harga CH}_3\text{OH})$$

$$\text{EP} = \text{Rp. } (2.525.246,72 + 1) - (919.655,01 + 11.655,68 + 240.956,82)/\text{Kmol}$$

$$= \text{Rp. } 1.352.979,21/\text{Kmol}$$

b) Tinjauan Termodinamika

- Enthalpy Reaksi (ΔH_r)

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

Tabel 2.11 Konstanta *heat capacities* (CP) proses isobutilen

Komponen	A	B	C	D
$C_4H_8(g)$	24,915	0,20648	$5,98 \cdot 10^{-5}$	$-1,41 \cdot 10^{-7}$
$O_2(g)$	3,639	$0,506 \cdot 10^3$	-	$-0,227 \cdot 10^{-7}$
$CH_3OH(l)$	40,152	0,3105	$-1,03 \cdot 10^{-3}$	$1,46 \cdot 10^{-6}$
$C_4H_6O(g)$	14,506	0,15922	$3,11 \cdot 10^{-4}$	$1,42 \cdot 10^{-10}$
$C_4H_6O_2(g)$	-28,131	0,54744	$-5,388 \cdot 10^{-4}$	$2,86 \cdot 10^{-7}$
$C_4H_6O_2(l)$	99,188	0,4931	$-1,23 \cdot 10^{-3}$	$1,56 \cdot 10^{-6}$
$C_5H_8O_2(l)$	42,365	1,0787	$-3,16 \cdot 10^{-3}$	$3,78 \cdot 10^{-6}$
$H_2O(l)$	8,71	$1,25 \cdot 10^3$	$-0,18 \cdot 10^6$	-

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

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

Komponen	A
$C_4H_8(g)$	$-0,5 \cdot 10^3$
$O_2(g)$	0
$CH_3OH(l)$	$-200,9 \cdot 10^3$
$C_4H_6O(g)$	$-112 \cdot 10^3$
$C_4H_6O_2(g)$	$-361,8 \cdot 10^3$
$C_4H_6O_2(l)$	$-347,36 \cdot 10^3$
$H_2O(l)$	$-285,851 \cdot 10^3$

a) Reaksi 1

Berdasarkan tabel 2.xx Maka dapat diperoleh besaran ΔA , ΔB , ΔC dan ΔD untuk proses pembuatan metil metakrilat dari isotilen, sesuai dengan reaksi berikut



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

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.xx 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:

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

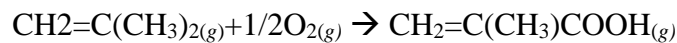
$$MCPH = -39.754.877.359,619$$

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

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

b) Reaksi 2

Berdasarkan tabel 2.xx, 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.xx diperoleh dengan cara sebagai berikut :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Sehingga:

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

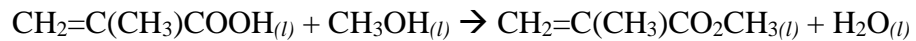
$$MCPH = -110.223,415$$

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

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

c) Reaksi 3

Berdasarkan tabel 2.11, 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 :

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

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

$$\begin{aligned}\Delta H_{r \text{ total}} &= \Delta H_r \text{ rx1} + \Delta H_r \text{ rx2} + \Delta H_r \text{ rx3} \\ &= (-12.920.335.029.662) + (-30.785.239) + (-833.382.520,974) \text{ J/mol} \\ &= -13.753.748.335,875 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

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 :

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

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

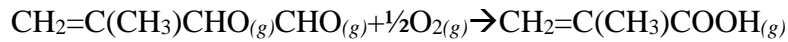
$$T = 350^{\circ}\text{C} (623\text{K})$$

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

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

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

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

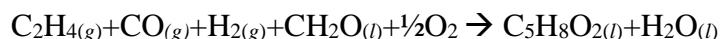
a. Tinjauan Ekonomi

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

	$C_2H_4(g)$	$+CO(g)$	$+H_2(g)$	$CH_2O(l)$	$+1/2O_2(g)$	$CH_3OH(l)$	$C_5H_8O_2(l)$	$+H_2O(l)$
lula- mula	n_{A0}	n_{A0}	n_{A0}	n_{A0}	n_{A0}	n_{A0}		
reaksi	$-n_{A0.X}$	$-n_{A0.X}$	$n_{A0.X}$	$-n_{A0.X}$	$-n_{A0.X}$	$-n_{A0.X}$	$n_{A0.X}$	$n_{A0.X}$
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:

$$1 \text{ Kg } C_5H_8O_2 \text{ terbentuk (c)} = \frac{1 \text{ Kg}}{101,11 \text{ Kg/Kmol}}$$

$$= 0,01 \text{ Kmol}$$

	$C_2H_4(g)$	$CO(g)$	$H_2(g)$	$CH_2O(l)$	$O_2(g)$	$CH_3OH(l)$	$C_5H_8O_2(l)$	$H_2O(l)$
lula- mula	0,013	0,013	0,013	0,013	0,00067	0,013	-	-
reaksi	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
$C_5H_8O_2$	100,11	0,01	1,00	25.224,72
H_2O	10	0,01	0,180	

- Harga penjualan produk

$$C_5H_8O_2 = 1 \text{ Kg} \times \text{Rp. } 25.224,72 = \text{Rp. } 25.224,72$$

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

- 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

$$= \text{Rp. } 25.224,72 - \text{Rp. } 20.415,23$$

$$= \text{Rp. } 4.809,49 / \text{Kg produk}$$

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 Enthalty Pembentukan

Komponen	A	B	C	D
$C_2H_4(g)$	32,083	-0,01483	$2,477.10^{-4}$	$6,827.10^{-11}$
$CO(g)$	29,556	-0,00658	$2,013.10^{-5}$	$2,2617.10^{-12}$
$H_2(g)$	3,25	422	-	$8,3.10^{-7}$
$C_3H_6O(g)$	58,911	0,00484	$3,351.10^{-4}$	$3,051.10^{-7}$
$C_3H_6O(l)$	0,8162	$-2,74.10^{-3}$	$3,77.10^{-6}$	-
$CH_2O(l)$	0,3986	$-1,54.10^{-3}$	$3,03.10^{-6}$	-
$C_4H_6O(l)$	0,3841	$-1,15.10^{-3}$	$1,8.10^{-3}$	-
$C_4H_6O(g)$	14,506	0,15922	$3,11.10^{-4}$	$1,42.10^{-10}$
$O_2(g)$	3,64	506	-	$-2,27.10^{-7}$
$C_4H_6O_2(g)$	-28,131	0,54744	$-5,388.10^{-4}$	$2,86.10^{-7}$
$C_4H_6O_2(l)$	99,188	0,4931	$-1,23.10^{-3}$	$1,56.10^{-6}$
$CH_3OH(l)$	40,152	0,3105	$-1,03.10^{-3}$	$1,46.10^{-5}$
$C_5H_8O_2(l)$	42,365	1,0787	$-3,16.10^{-3}$	$3,78.10^{-6}$
$H_2O(l)$	8,712	$1,25.10^3$	$-0,18.10^6$	

Tabel 2.17 Nilai Entalpy Standar ΔH°_{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 2.16, maka dapat diperoleh bersamanya ΔA , ΔB , ΔC dan ΔD untuk proses pembuatan metil metakrilat dari etilen, sesuai dengan reaksi berikut :

$$\begin{aligned} \text{CH}_2=\text{CH}_{2(g)} + \text{CO}_{(g)} + \text{H}_{2(g)} &\rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}_{(g)} \\ \Delta A &= \Sigma A \text{ Produk} - \Sigma A \text{ Reaktan} \\ &= (1 \times 58,911) + (1 \times 3,25) - (1 \times 29,556) + (1 \times 32,083) \\ &= -5,978 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan langkah yang sama, maka dapat diperoleh :

$$\begin{aligned} \Delta B &= -421,974 \\ \Delta C &= 0,0000673 \\ \Delta D &= -0,000000523 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \Delta H_{r,298}^\circ &= \Sigma \Delta H_{r298} \text{ Produk} - \Sigma \Delta H_{r298} \text{ Reaktan} \\ &= ((-186.000) - ((0) + (-110.500) + (52.300))) \text{ J/mol} \\ &= -127.800 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai entalpi reaksi (ΔH_r°) pada temperatur reaksi 160°C digunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \Delta H_r &= \Delta H_{298} + R \int_{T_0}^T C_p \, dT \\ \text{MCPH} &= \frac{C_{pH}}{R} = \Delta A + \frac{\Delta B}{2} T_0 (\tau + 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^2 (\tau^2 + \tau + 1) + \frac{\Delta D}{\tau T_0^2} \\ \text{ICPH} &= \int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} \, dT = \text{MCPH} \times (T - T_0) \\ \tau &= \frac{T}{T_0} \end{aligned}$$

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

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

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

Sehingga:

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

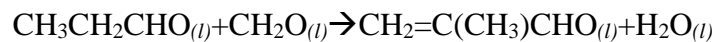
$$MCPH = -154.228,295$$

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

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

b) Reaksi 2

Berdasarkan Tabel 2.16, maka dapat diperoleh besarnya ΔA , ΔB , ΔC dan ΔD untuk proses pembuatan metil metakrilat dari etilen dengan reaksi berikut:



$$\Delta A$$

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

$$= (1 \times 0,384) + (1 \times 8,712) - (1 \times 0,816) + (1 \times 0,399)$$

$$= -7,881$$

Dengan menggunakan langkah yang sama

$$\Delta B = 1.250,003$$

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

$$\Delta D = 0$$

Nilai entalpi reaksi standar (ΔH_r°) pada proses pembentukan metakrilat dari etilen ini berdasarkan tabel 2.xx 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 entalpi reaksi (ΔH_r°) pada temperatur 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:

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

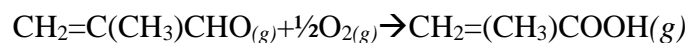
$$MCPH = -24.319.612.973,697$$

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

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

c. Reaksi 3

Berdasarkan Tabel 2.xx, maka dapat diperoleh besarnya ΔA , ΔB , ΔC dan ΔD untuk proses pembuatan metil metakrilat dari etilen dengan reaksi berikut:



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

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°) pada proses pembentukan metakrilat dari etilen ini berdasarkan tabel 2.xx diperoleh dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta H_{r,298}^\circ &= \sum \Delta H_{r298} \text{ Produk} - \sum \Delta H_{r298} \text{ Reaktan} \\ &= ((-361.800)+(0,5 \times 0))-(1 \times 112.000)\text{J/mol} \\ &= -249.800\text{J/mol}\end{aligned}$$

Untuk mencari nilai entalpi reaksi(ΔH_r°) pada temperetur 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.xx, maka dapat diperoleh besarnya ΔA , ΔB , ΔC dan ΔD untuk proses pembuatan metil metakrilat dari etilen dengan reaksi berikut:

$$\begin{aligned} \text{CH}_2=(\text{CH}_3)\text{COOH}_{(l)}+\text{CH}_3\text{OH}_{(l)} &\rightarrow \text{CH}_2=(\text{CH}_3)\text{COOH}_{(l)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \\ \Delta H_r^{\circ},_{298} &= \sum \Delta H_{r298} \text{ Produk} - \sum \Delta H_{r298} \text{ Reaktan} \\ &= ((1 \times -42,365) + (1 \times 8,712)) - ((1 \times 40,152) \\ &\quad + (1 \times 99,918)) \text{ J/mol} \\ &= -5,978 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan langkah yang sama, maka dapat diperoleh :

$$\begin{aligned} \Delta B &= 1.250,003 \\ \Delta C &= -180.000,001 \\ \Delta D &= -0,0000124 \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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)
$\text{C}_2\text{H}_4(g)$	68.120.00
$\text{CO}(g)$	-137.200
$\text{H}_2(g)$	0
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}(g)$	-124.200
$\text{CH}_2\text{O}(l)$	-109.910
$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}(l)$	-57.600
$\text{O}_2(g)$	0
$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2(g)$	-281.820
$\text{CH}_3\text{OH}(l)$	-162.510
$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2(l)$	-241.600
$\text{H}_2\text{O}(l)$	-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:

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

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

$$\Delta G_r = \left(\frac{-249.800}{8,314} \right) \left[\frac{1}{573} - \frac{1}{298} \right] 8,314 \times 533 - \frac{-249.800}{8,314 \times 573} \text{ J/mol}$$

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

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

$$\begin{aligned}\Delta G_r &= \left(\frac{-70.241.000}{8,314} \right) \left[\frac{1}{358} - \frac{1}{298} \right] 8,314 \times 343 - \frac{-281.503}{8,314 \times 343} \text{ J/mol} \\ \Delta G_r &= -18.109,2 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

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

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

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

Table 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	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu operasi berlangsung pada 80-160°C (Kirk and Othmer, 1995) • Konversi metil metakrilat yang tinggi. (European Patent, 1999) • Bahan baku murah 	<ul style="list-style-type: none"> • Bahan baku murah 	<ul style="list-style-type: none"> • Bahan baku utama murah dan mudah didapatkan.
Kekurangan	<ul style="list-style-type: none"> • Memiliki produk samping berupa amonium bisulfat (Nagai, 2001) 	<ul style="list-style-type: none"> • Suplai bahan baku seperti isobutilena dan t-butil alkohol (TBA) terbatas. (European Patent, 1999) 	<ul style="list-style-type: none"> • Katalis sulit diperoleh • Sedikit informasi mengenai kondisi operasi proses

- Katalis sulit diperoleh
- Melibatkan banyak reaksi samping sehingga dapat menurunkan *yield* metil metakrilat.
- Biaya pemurnian tinggi. (European Patent, 1996)

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.

2.3. Uraian Proses

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

2.3.1. 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.

2.3.2. 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.

2.3.3. 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.

2.3.4. 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 diumpankan 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 diumpankan ke dekanter (DC-01). Di dekanter, metil metakrilat dan metanol dipisahkan. Hasil produk yang berupa metil metakrilat dimasukkan ke tangka penyimpanan produk.

2.3.5. 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

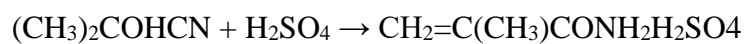
- Rumus kimia : C₄H₇NO
- Bentuk : Cair
- Densitas (25°C) : 928 kg/m³
- Berat molekul : 85,106 g/mol
- Titik didih (P=1 atm) : 189,85°C
- Titik lebur (P=1 atm) : -20°C
- Temperatur kritis : 373,85°C
- Tekanan kritis : 41,9 atm
- Viskositas : 0,59 cP
- Warna : Tidak berwarna
- Kemurnian : Minimal 98% berat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

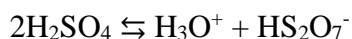
- Rumus kimia : H₂SO₄
- Bentuk : Cair

- Densitas (25°C) : 1833 kg/m³
- Berat molekul : 98,079 g/mol
- Titik didih (P=1 atm) : 336,85°C
- Titik lebur (P=1 atm) : 10,31°C
- Temperatur kritis : 651,85°C
- Tekanan kritis : 63,16 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

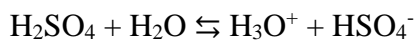
(Yaws, 1999)

➤ Sifat Kimia

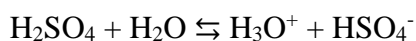
1. Merupakan asam kuat.
2. Bersifat higroskopis, yaitu memiliki kemampuan untuk menyerap molekul air dari lingkungan baik melalui absorpsi atau adsorpsi.
3. Asam sulfat murni sangat kecil sekali untuk terionkan.



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

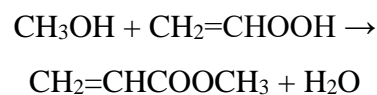
- Rumus kimia : CH₃OH
- Bentuk : Cair
- Densitas (30°C) : 782 kg/m³
- Berat molekul : 32,042 g/mol
- Titik didih (P=1 atm) : 64,75°C
- Titik lebur (P=1 atm) : -97°C
- Temperatur kritis : 240°C
- Tekanan kritis : 78,5 atm
- Viskositas : 0,544 cP
- Warna : Tidak berwarna
- Kemurnian : Minimal 85% berat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

b. Amonium Bisulfat

- Rumus kimia : NH_4HSO_4
- Bentuk : Cair
- Densitas : 1780 kg/m³
- Berat molekul : 115,11 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

A. 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 memproduksi 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.

B. 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
- Anonim. (2022). Spesifikasi Amonium Bisulfat (NH₄HSO₄) 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)
- Anusavice, K.J., Shen, C. & Rawls, H.R. (2013). Phillips' Science of Dental Material. 11 ed. Elsevier Saunders.
- Aries, Robert S., and Robert D. Newton. (1955). Chemical Engineering Cost Estimation. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc. 155
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2022). Kebutuhan Metil Metakrilat di Indonesia. <https://www.bps.go.id/> (Diakses pada Rabu, 11 Agustus 2022)
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2022). Harga Asam Sulfat, Metanol, dan Etilen. <https://www.bps.go.id/> (Diakses pada Kamis, 9 September 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
- Brownell, L.E. and Young, E.H. (1959). Process Equipment Design, 1st Edition. New York: John Wiley and Sons Inc.

Combe, E. C. (1992). Notes On Dental Material. 6th ed. Edinburg: Churchill Livingstone, pp 26–161.

Coulson, J.M., and Richardson, J.F. (2005). Chemical Engineering, Vol 6. New York: Pergamon Internasional Library.

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

Felder, R. M., Rousseau, R. W., & Bullard, L. G. (2016). Elementary Principles of Chemical Processes (4th edition). USA: John Wiley & Sons, Inc.

Harjanti, N., Setiyawati, E., & Winarni, D. R. A. (2009). Kosmetika Kuku: Antara Keindahan dan Keamanan. 21(1), 6.

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.

Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2020). Sektor Industri Masih Jadi Andalan PDB Nasional. <https://kemenperin.go.id/>. (Diakses pada Rabu, 25 Agustus 2022)

Kern, D. Q. (1983). *Process Heat Transfer*. New York: McGraw Hill Book Co.

Ludwig, Ernest E. (1994). *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants*, 3rd Edition. Texas: Gulf Publishing Company Houston.

Mcketta, John J. (1984). *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*. New York: Marchell Dekker Inc. 156

Machfoedz, Mas'ud. (1989). *Akuntansi Manajemen*. Buku 1 Edisi 4. Yogyakarta: BPFE

Nagai, K. (2001). New developments in the production of methyl methacrylate. *Applied Catalysis A: General*, 221(1–2), 367–377. [https://doi.org/10.1016/S0926-860X\(01\)00810-9](https://doi.org/10.1016/S0926-860X(01)00810-9)

Perry, R.H., and Green, D. (1999). *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, 7th ed. New York: , McGraw-Hill Book Company.

Purwanto, Djoko. (2003). *Komunikasi Bisnis*, Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga.

Rase, Howard F. (1981). *Chemical Reactor Design for Process Plant*, 3rd edition. Tokyo: McGraw Hill International Book Company.

Salkind, M., Riddle, E. H., & Keefer, R. W. (1959). Acrylates Methacrylates. *Raw Materials, Intermediates, Plant Integration. Industrial & Engineering Chemistry*, 51(10), 1232–1238. <https://doi.org/10.1021/ie50598a021>

- Silla, Harry., 2003, "Chemical Process Engineering Design and Economics", Marcel Dekker, Inc., New York. Tang,
- Yiting. (2019). Tiga Negara Pengimpor Teratas Metil Metakrilat <https://www.icis.com/explore/resources/news/2019/01/28/10311616/china-smma-imports-jump-by-56-month-on-month-in-december/> (Diakses pada Senin, 6 September 2022)
- Towler, Gavin., and Sinnott, Ray. (2008). Chemical Engineering Design. California: Elsevier Inc.
- Ullman, Fritz. (1989). Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol 3. New York: John Wiley and Sons Inc.
- United States Patent, US 3,821,286. (1974). PROCESS FOR THE PRODUCTION OF METHYL METHACRYLATE
- Walas, S.M. (1990). "Chemical Process Equipment". Butterworth, United States of America.
- Yaws, C. L. (1999). Chemical Properties Handbook. New York: McGraw-Hill Book Co