

**PRARANCANGAN PABRIK ASAM FORMIAT DARI METIL FORMIAT
DAN AIR DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 40.000 TON/TAHUN**

Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201)

(Skripsi)

Oleh:

HOTNAULI TRI DAMAYANTI MANULLANG

2015041046



JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2026

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK ASAM FORMIAT DARI METIL FORMIAT DAN AIR DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 40.000 TON/TAHUN

Oleh

HOTNAULI TRI DAMAYANTI MANULLANG

Asam formiat merupakan bahan kimia penting yang banyak digunakan dalam industri karet, tekstil, penyamakan kulit, pengawet pakan ternak, serta sebagai *intermediate* dalam industri kimia. Oleh karena itu, prarancangan pabrik asam formiat dilakukan menggunakan bahan baku metil formiat dan air melalui reaksi hidrolisis. Kapasitas produksi pabrik direncanakan 40.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 116 orang dengan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi *line and staff*.

Analisa kelayakan prarancangan pabrik asam formiat sebagai berikut :

Fixed Capital Investment (FCI) = Rp763.310.072.892,436

Working Capital Investment (WCI) = Rp120.522.643.088,279

Total Capital Investment (TCI) = Rp803.484.287.255,196

Break Even Point (BEP) = 53,04 %

Pay Out Time after Taxes (POT)_a = 2,89 tahun

Return on Investment after Taxes (ROI)_a = 36,04 %

Discounted Cash Flow (DCF) = 48,86 %

Shut Down Point (SDP) = 27,93 %

Mempertimbangkan rangkuman di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik *asam formiat* ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai prospek yang baik.

Kata kunci: asam formiat, hidrolisis metil formiat

ABSTRACT

PRELIMINARY PLANT DESIGN OF A FORMIC ACID PLANT FROM METHYL FORMIATE AND WATER WITH A PRODUCTION CAPACITY OF 40,000 TONS/YEAR

By

HOTNAULI TRI DAMAYANTI MANULLANG

Formic acid is an important chemical widely used in the rubber, textile, leather tanning, animal feed preservative, and chemical industries. Therefore, the preliminary design of the formic acid plant is carried out using methyl formiate and water as raw materials through a hydrolysis reaction. The plant's production capacity is planned for 40,000 tons/year with 330 days. The plant is planned to be located in Gresik Regency, East Java. The plant will require 116 workers, formed as a Limited Liability Company (PT) with an organizational structure of line and staff.

Analysis of the feasibility of pre-designing a formic acid plant is as follows:

Fixed Capital Investment (FCI) = IDR 763,310,072,892,436

Working Capital Investment (WCI) = IDR 120,522,643,088,279

Total Capital Investment (TCI) = IDR 803,484,287,255,196

Break Even Point (BEP) = 53.04 %

Pay Out Time after Taxes (POT)_a = 2.89 years

Return on Investment after Taxes (ROI)_a = 36.04 %

Discounted Cash Flow (DCF) = 48.86 %

Shut Down Point (SDP) = 27.93 %

Considering the summary above, it is appropriate to further study the establishment of this formic acid plant, as it is a profitable plant with good prospects.

Key words: formic acid, methyl formic acid hydrolysis

**PRARANCANGAN PABRIK ASAM FORMIAT DARI METIL FORMIAT
DAN AIR DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 40.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor)**

Oleh

**Hotnauli Tri Damayanti Manullang
2015041046**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

Judul Skripsi : PRARANCANGAN PABRIK ASAM FORMIAT
DARI METIL FORMIAT DAN AIR DENGAN
KAPASITAS PRODUKSI 40.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor)

Nama Mahasiswa : *Hotnauli Tri Damayanti Manullang*

No. Pokok Mahasiswa : 2015041046

Jurusan : Teknik Kimia

Pakultas : Teknik



Ketua Jurusan Teknik Kimia

[Signature]

Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T.

Sekretaris : Donny Lesmana, S.T., M.Sc.

Penguji
Bukan Pembimbing : Taharuddin, S.T., M.Sc.
Panca Nugrahini F, S.T., M.T.

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.
NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 14 Januari 2026

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, 28 Januari 2026



Hotnauli Tri Damayanti Manullang
NPM. 2015041046

RIWAYAT HIDUP



Hotnauli Tri Damayanti Manullang, penulis laporan ini dilahirkan di Tebing Tinggi pada tanggal 29 Agustus 2002, putri ketiga dari pasangan Bapak Sabam Ranto Manullang dan Ibu Lasmaida br. Sihombing.

Penulis menyelesaikan di TK Melati, Kota Tebing Tinggi pada tahun 2008, pendidikan Sekolah Dasar di SD 164319 Kota Tebing Tinggi pada tahun 2014, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 3 Kota Tebing Tinggi pada tahun 2017 dan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 3 Kota Tebing Tinggi pada tahun 2020.

Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Pada tahun 2023, penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di PT. PERTAMINA (Persero) *Refinery* Unit III Plaju, Palembang dengan Tugas Khusus "Evaluasi Kinerja *Cooler* 4-11/12/13/14 pada Produk LKD di Unit CDU III" dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Timbul Rejo, Kecamatan Bangun Rejo, Kabupaten Lampung Tengah di tahun 2023. Pada tahun 2024, penulis melakukan penelitian dengan judul "Pengaruh Variasi Rasio Penambahan Gliserol dan *Filler* CaCO_3 Terhadap Karakteristik Cangkang Kapsul Berbasis *Hydroxypropyl Methylcellulose* (HPMC)".

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan, yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) sebagai Staff Departemen Riset pada Periode 2021 dan 2022. Selain itu, penulis menjadi staff MSD di Saintek Universitas Lampung pada Periode 2021, dan menjadi staff Humas di Saintek Universitas Lampung pada Periode 2022.

Sebuah Karya

Kupersembahkan dengan sepenuh hati untuk :

*Allah, Yesus Kristus dan Roh Kudus, atas berkat, Kasih dan
Penyertaan-Nya aku dapat menyelesaikan karyaku ini*

*Kedua Orang Tuaku, terima kasih atas doa, kasih sayang,
semangat, nasehat dan pengorbanannya selama ini*

*Kakak, Abang, Adikku dan Seluruh Keluarga, terima kasih
atas doa, bantuan dan dukungannya selama ini*

*Guru-guru dan Dosen-dosenku, sebagai tanda hormatku,
terima kasih atas ilmu yang telah diberikan*

*Sahabat-Sahabatku, terima kasih atas dukungan, bantuan
dan waktu bersama selama ini*

Dan tak lupa kupersembahkan untuk

Almamaterku tercinta

Universitas Lampung

Motto

*Apapun juga yang kamu perbuat,
perbuatlah dengan segenap hatimu
seperti untuk Tuhan dan
bukan untuk manusia
(Kolose 3:23)*

*Bersukacitalah dalam pengharapan,
sabarlah dalam kesesakan, dan
bertekunlah dalam doa
(Roma 12:12)*

*Janganlah hendaknya kamu kuatir
tentang apapun juga, tetapi nyatakanlah
dalam segala hal keinginanmu
kepada Allah dalam doa dan
permohonan dengan ucapan syukur
(Filipi 4:6)*

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan banyak berkat dan PenyertaanNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Prarancangan Pabrik Asam Formiat dari Metil Formiat dan Air dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun (Tugas Khusus Perancangan Reaktor)”, sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi mahasiswa Program Studi Teknik Kimia untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Universitas Lampung sesuai pada waktu yang telah ditentukan.

Penulis menyadari banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak selama pengerjaan laporan tugas akhir dan seminar tugas akhir. Melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Yuli Darni, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Bapak Donny Lesmana, S.T., M.Sc., selaku dosen Pembimbing Akademik di Universitas Lampung yang telah memberikan banyak dukungan dan nasehat selama perkuliahan.
3. Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya dalam memberikan arahan, bimbingan, dan dukungannya dalam penyelesaian skripsi. Saya ingin mengucapkan terima kasih atas kebaikan, pemahaman, dan kesabaran yang telah diberikan selama proses penulisan ini. Banyak ilmu yang penulis dapatkan, semoga ilmu yang diberikan tersebut dapat berguna dikemudian hari.

4. Bapak Donny Lesmana, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan dukungan, masukan, serta kritik dan saran yang sangat bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini. Saya ingin mengucapkan terima kasih atas kebaikan, pemahaman, dan kesabaran yang telah diberikan selama proses penulisan ini. Semoga ilmu yang diberikan tersebut dapat berguna dikemudian hari.
5. Bapak Taharuddin, S.T., M.Sc., selaku dosen penguji I yang telah memberikan pengetahuan baru, kritik dan saran dalam proses perkuliahan maupun dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Ibu Panca Nugrahini F, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan pengetahuan baru, kritik dan saran dalam proses perkuliahan maupun dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika di jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung atas semua ilmu dan bantuan yang telah diberikan selama ini.
8. Orang tuaku tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat yang tiada hentinya. Terimakasih atas segala hal yang telah diberikan, cinta kasih, doa, kehangatan, pengorbanan, dan kesabaran dalam mendidik penulis sehingga penulis dimampukan menyelesaikan studi. Terimakasih telah menjadi pendengar segala keluh kesah dan cerita penulis selama berkuliah. Terimakasih sudah selalu mengusahakan yang terbaik untuk penulis dan menjadi alasan bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini hingga memperoleh gelar Sarjana.
9. Kakak, Abang dan Adikku yang selalu memberikan doa, semangat, penghiburan dan terima kasih atas dukungannya dalam segala hal. Terima kasih sudah menguatkan ku meski dari jauh. Dukungan moral kalian adalah kekuatan terbesarku.
10. Ike Junita sebagai partner tugas akhir, penulis mengucapkan terima kasih atas segala dukungan, kerja sama, dan dedikasi yang telah diberikan. Terima

kasih telah bersedia menjadi partner dalam proses penyusunan tugas akhir ini serta berjuang bersama melalui berbagai tahapan yang tidak mudah, penuh tantangan, dan menguras emosi. Proses ini dapat dilalui berkat kebersamaan, ketekunan, serta saling menguatkan satu sama lain.

11. Teman-teman seperjuangan Deva, Jauza, Novita, Putri, dan Salsabila selaku teman yang selalu bersedia menjadi tempat untuk bercerita dan berkeluh kesah, memberikan dukungan, semangat, dan doa.
12. Semua pihak yang membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang namanya tidak bisa saya sebutkan satu persatu.
13. Teman-teman angkatan 2020 yang juga senantiasa saling memberikan bantuan dan dukungan.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan dan semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 28 Januari 2026

Hotnauli Tri Damayanti Manullang

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
COVER DALAM.....	iii
PERSETUJUAN.....	iv
PENGESAHAN.....	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
MOTTO.....	ix
SANWACANA.....	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xxii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Kegunaan Produk	2
1.3 Ketersediaan Bahan Baku.....	4
1.4 Analisis Pasar	4
1.5 Lokasi Pabrik.....	7
II. DESKRIPSI PROSES	11
2.1 Jenis-jenis Proses Pembuatan Asam Formiat.....	11
2.1.1 Berdasarkan Bahan Baku dan Kondisi Proses	11
2.1.2 Berdasarkan Tinjauan Termodinamika	12
2.1.3 Berdasarkan Kelayakan Ekonomi	31
2.2 Pemilihan Proses	41
2.3 Uraian Proses	41

III. SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK.....	44
3.1.1 Spesifikasi Bahan Baku	44
3.1.2 Spesifikasi Produk	45
3.1.3 Spesifikasi Bahan Penunjang	47
IV. NERACA MASSA DAN ENERGI.....	48
4.1 Neraca Massa.....	48
4.2 Neraca Energi	54
V. SPESIFIKASI PERALATAN.....	60
5.1 Spesifikasi Alat Proses.....	60
5.2 Spesifikasi Alat Unit Utilitas.....	90
5.2.1 Unit Penyedia Air.....	90
5.2.2 Unit Penyedia Hot Oil.....	95
5.2.3 Unit Pembangkit dan Pendistribusian Listrik.....	105
5.2.4 Unit Pengolahan Limbah.....	106
VI. UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH....	107
6.1 Unit Penyediaan Air.....	107
6.2 Unit Penyediaan <i>Hot Oil</i>	111
6.3 Unit Pembangkit Tenaga Listrik.....	111
6.4 Unit Penyediaan Bahan Bakar.....	111
6.5 Unit Pengolahan Limbah.....	112
6.6 Unit Laboratorium.....	112
6.7 Instrumentasi dan Pengendalian Proses.....	115
VII. TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK.....	118
7.1 Lokasi Pabrik.....	118
7.2 Tata Letak Pabrik.....	121
7.3 Tata Letak Peralatan Proses.....	124
7.4 Estimasi Area Lingkungan Pabrik.....	126

VIII. MANAJEMEN DAN ORGASISASI.....	128
8.1 <i>Project Master Schedule</i>	128
8.2 Bentuk Perusahaan	130
8.3 Struktur Organisasi Perusahaan....	132
8.4 Tugas dan Wewenang....	135
8.5 Status Karyawan dan Sistem Penggajian.....	141
8.6 Manajemen Produksi.....	150
IX. INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....	153
9.1 Investasi.....	153
9.2 Evaluasi Ekonomi.....	159
9.3 Angsuran Pinjaman.....	162
9.4 <i>Discounted Cash Flow</i> (DCF).....	162
X. KESIMPULAN DAN SARAN... ..	164
10.1 Kesimpulan.....	164
10.2 Saran.....	165

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (NERACA MASSA)

LAMPIRAN B (NERACA ENERGI)

LAMPIRAN C (SPEKSIFIKASI ALAT)

LAMPIRAN D (UTILITAS)

LAMPIRAN E (EKONOMI TEKNIK)

LAMPIRAN F (TUGAS KHUSUS)

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Asam Formiat di Indonesia	4
Tabel 1.2 Pabrik Asam Formiat yang Beroperasi di Dunia	6
Tabel 2.1 Nilai Entalpi Standar (ΔH°) Hidrolisis <i>Formamide</i>	13
Tabel 2.2 Konstanta <i>Heat Capacities</i> (C_p) Hidrolisis <i>Formamide</i>	15
Tabel 2.3 Nilai Energi Bebas Gibbs Hidrolisis <i>Formamide</i>	16
Tabel 2.4 Nilai Entalpi Standar (ΔH°) Sodium Format	20
Tabel 2.5 Konstanta <i>Heat Capacities</i> (C_p) Sodium Format	21
Tabel 2.6 Nilai Energi Bebas Gibbs Sodium Format	22
Tabel 2.7 Nilai Entalpi Standar (ΔH°) Metil Formiat	26
Tabel 2.8 Konstanta <i>Heat Capacities</i> (C_p) Metil Formiat	27
Tabel 2.9 Nilai Energi Bebas Gibbs Metil Formiat	29
Tabel 2.10 Harga Bahan Baku dan Produk Proses Hidrolisis <i>Formamide</i>	32
Tabel 2.11 Harga Bahan Baku dan Produk Proses Sodium Format	35
Tabel 2.12 Harga Bahan Baku dan Produk Proses Metil Formiat	38
Tabel 2.13 Perbandingan Proses Asam Formiat	40

Tabel 4.1 Neraca Massa <i>Mixing Point</i> (MP-101).....	48
Tabel 4.2 Neraca Massa Reaktor (RE-201)....	49
Tabel 4.3 Neraca Massa <i>Distillation Column</i> (DC-301)...	49
Tabel 4.4 Neraca Massa <i>Condenser</i> (CD-301)...	49
Tabel 4.5 Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-301)...	50
Tabel 4.6 Neraca Massa <i>Distillation Column</i> (DC-302)..	50
Tabel 4.7 Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-302)...	51
Tabel 4.8 Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-302)...	51
Tabel 4.9 Neraca Massa <i>Extractive Distillation Column</i> (EDC-301).....	51
Tabel 4.10 Neraca Massa <i>Condenser</i> (CD-303)...	52
Tabel 4.11 Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-303)...	52
Tabel 4.12 Neraca Massa <i>Distillation Column</i> (DC-303)...	52
Tabel 4.13 Neraca Massa <i>Condenser</i> (CD-304)...	53
Tabel 4.14 Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-304)...	53
Tabel 4.15 Neraca Massa <i>Mixing Point</i> (MP-301)....	54
Tabel 4.16 Neraca Energi <i>Mixing Point</i> (MP-101)...	54
Tabel 4.17 Neraca Energi <i>Heater</i> (HE-101)	54
Tabel 4.18 Neraca Energi <i>Heater</i> (HE-102)....	55
Tabel 4.19 Neraca Energi <i>Heater</i> (HE-103)...	55
Tabel 4.20 Neraca Energi Reaktor (RE-201)...	56
Tabel 4.21 Neraca Energi <i>Distillation Column</i> (DC-301)...	56
Tabel 4.22 Neraca Energi <i>Distillation Column</i> (DC-302)...	57
Tabel 4.23 Neraca Energi <i>Distillation Column</i> (EDC-301).....	57

Tabel 4.24 Neraca Energi <i>Mixing Point</i> (MP-301)	58
Tabel 4.25 Neraca Energi <i>Distillation Column</i> (DC-303).....	58
Tabel 4.26 Neraca Energi <i>Cooler</i> (CO-301)	58
Tabel 4.27 Neraca Energi <i>Cooler</i> (CO-302).... ..	59
Tabel 4.28 Neraca Energi <i>Cooler</i> (CO-303).... ..	59
Tabel 4.29 Neraca Energi <i>Cooler</i> (CO-304).... ..	59
Tabel 5.1 Spesifikasi Tangki Metil Formiat (ST-101).....	60
Tabel 5.2 Spesifikasi Tangki Asam Heptanoat (ST-102).....	61
Tabel 5.3 Spesifikasi Tangki Metanol (ST-401)	61
Tabel 5.4 Spesifikasi Tangki Asam Formiat (ST-402).....	62
Tabel 5.6 Spesifikasi Reaktor (RE-201).... ..	63
Tabel 5.7 Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-101)..... ..	63
Tabel 5.8 Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-102).... ..	64
Tabel 5.9 Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-103).... ..	65
Tabel 5.10 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-301)	66
Tabel 5.11 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-302).... ..	67
Tabel 5.12 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-303)	68
Tabel 5.13 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-304)	69
Tabel 5.14 Spesifikasi <i>Distillation Column</i> (DC-301).....	70
Tabel 5.15 Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-301)	71
Tabel 5.16 Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-301)..... ..	71
Tabel 5.17 Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-301).... ..	72
Tabel 5.18 Spesifikasi <i>Distillation Column</i> (DC-302).....	73
Tabel 5.19 Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-302).... ..	73
Tabel 5.20 Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-302).... ..	74
Tabel 5.21 Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-302).....	75

Tabel 5.22 Spesifikasi <i>Extractive Distillation Column</i> (EDC-301).....	75
Tabel 5.23 Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-303)	76
Tabel 5.24 Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-303)....	77
Tabel 5.25 Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-303).....	78
Tabel 5.26 Spesifikasi <i>Distillation Column</i> (DC-303)....	78
Tabel 5.27 Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-304)....	79
Tabel 5.28 Spesifikasi <i>Accumulator</i> (AC-304)....	79
Tabel 5.29 Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-304)....	80
Tabel 5.30 Spesifikasi Pompa (PP– 101)....	81
Tabel 5.31 Spesifikasi Pompa (PP– 102).....	81
Tabel 5.32 Spesifikasi Pompa (PP– 103).....	82
Tabel 5.33 Spesifikasi Pompa (PP– 201)....	83
Tabel 5.34 Spesifikasi Pompa (PP– 301)....	83
Tabel 5.35 Spesifikasi Pompa (PP– 302)....	84
Tabel 5.36 Spesifikasi Pompa (PP– 303)....	85
Tabel 5.37 Spesifikasi Pompa (PP– 304)....	85
Tabel 5.38 Spesifikasi Pompa (PP– 305)....	86
Tabel 5.39 Spesifikasi Pompa (PP– 306)....	87
Tabel 5.40 Spesifikasi Pompa (PP– 307)....	87
Tabel 5.41 Spesifikasi Pompa (PP– 308)....	88
Tabel 5.42 Spesifikasi Pompa (PP– 309) ...	89
Tabel 5.43 Spesifikasi <i>Expansion Valve</i> (EV-201)	90

Tabel 5. 44 Spesifikasi <i>Domestic Water Tank</i> (DWT-501).....	90
Tabel 5. 45 Spesifikasi <i>Hydran Water Tank</i> (HWT-501).....	91
Tabel 5. 46 Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-501)..	92
Tabel 5. 47 Spesifikasi Pompa (PU- 501)...	93
Tabel 5. 48 Spesifikasi Pompa (PU-502)	93
Tabel 5. 49 Spesifikasi Pompa (PU-503)	94
Tabel 5. 50 Spesifikasi <i>Storage Tank Thermal Oil</i> ...	95
Tabel 5. 51 Spesifikasi <i>Storage Tank Return Hot Oil</i> ...	96
Tabel 5. 52 Spesifikasi <i>Thermal Oil Filter</i>	96
Tabel 5. 53 Spesifikasi <i>Thermal Oil Heater</i>	97
Tabel 5. 54 Spesifikasi <i>Blower</i> Udara (BL-601)..	97
Tabel 5. 55 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-601)...	98
Tabel 5. 56 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-602)..	99
Tabel 5. 57 Spesifikasi Pompa (PU-603)..	99
Tabel 5. 58 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-604)...	100
Tabel 5. 59 Spesifikasi Pompa (PU-605)...	101
Tabel 5. 60 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-606) .	101
Tabel 5. 61 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-607)..	102
Tabel 5. 62 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-608)..	103
Tabel 5. 63 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-609).....	103
Tabel 5. 64 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-610)	104
Tabel 5. 65 Spesifikasi Generator Listrik (GS-701)	105
Tabel 5. 66 Spesifikasi Tangki Penyimpanan Bahan Bakar (ST-701).....	105

Tabel 5. 67 Spesifikasi Bak Penampungan Sementara (BP-801).....	106
Tabel 6. 1 Kebutuhan Air Umum.....	108
Tabel 6. 2 Kebutuhan Air Proses.....	108
Tabel 6. 3 Kebutuhan Air Pendingin.....	109
Tabel 6. 4 Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian.....	116
Tabel 6. 5 Pengendalian Variabel Utama Proses.....	117
Tabel 7. 1 Perincian Luas Area Pabrik Asam formiat.....	126
Tabel 8. 1 <i>Project Master Schedule of Asam Formiat Plant</i>	129
Tabel 8. 2 Jadwal Kerja Masing-Masing Regu.....	143
Tabel 8. 3 Perincian Tingkat Pendidikan.....	143
Tabel 8. 4 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses.....	144
Tabel 8. 5 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Utilitas.....	146
Tabel 8. 6 Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	146
Tabel 9. 1 <i>Fixed Capital Investment</i>	154
Tabel 9. 2 <i>Manufacturing Cost</i>	156
Tabel 9. 3 <i>General Expenses</i>	157
Tabel 9. 4 Biaya Administratif.....	157
Tabel 9. 5 <i>Minimum Acceptable Persent Return on Investment</i>	160
Tabel 9. 6 <i>Acceptable Payout Time</i> untuk Tingkat Resiko Pabrik.....	161
Tabel 9. 7 Hasil Uji Kelayakan Ekonomi..	163

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Data Impor Asam Formiat di Indonesia	5
Gambar 1.2 Lokasi Pabrik Asam Formiat	8
Gambar 7. 1 Peta Lokasi Pabrik.....	121
Gambar 7. 2 Tata Letak Pabrik Asam Formiat.....	124
Gambar 7. 3 Tata Letak Alat Proses.....	125
Gambar 8. 1 Struktur Organisasi Perusahaan.....	134
Gambar 9. 1 Grafik Analisa Ekonomi.....	162
Gambar 9. 2 Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i>	163

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mendorong manusia untuk terus berinovasi dalam upaya memenuhi kebutuhan hidup. Salah satu sektor yang mengalami perkembangan pesat adalah industri, khususnya industri kimia. Industri kimia diperlukan karena peran krusial dalam menyediakan berbagai produk yang mendukung kehidupan sehari-hari, baik kebutuhan primer maupun sekunder. Hal ini berdampak pada meningkatnya permintaan terhadap bahan baku, bahan pembantu, dan energi kerja guna menunjang keberlanjutan sektor industri. Namun, Indonesia masih bergantung pada impor bahan baku dan produk, di mana nilai impornya lebih besar dibandingkan dengan ekspor. Ketergantungan ini berakibat pada berkurangnya devisa negara. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor, salah satunya dengan mendirikan industri dalam negeri yang mampu memenuhi kebutuhan domestik.

Salah satu industri kimia yang memiliki peran penting adalah industri pembuatan asam formiat. Asam formiat (HCOOH) merupakan senyawa karboksilat paling sederhana dan dikenal sebagai asam semut karena secara alami ditemukan dalam tubuh semut merah. Senyawa ini banyak digunakan sebagai bahan intermediat dalam berbagai industri, termasuk industri karet, tekstil, farmasi, pembersih, dan kosmetik. Di Indonesia, asam formiat banyak dimanfaatkan dalam industri lateks, mengingat Indonesia merupakan produsen karet alam terbesar kedua di dunia setelah Malaysia (Maulana, 2015). Dalam industri ini, asam formiat berfungsi sebagai koagulan untuk menggumpalkan karet dan lateks, menghasilkan produk dengan tingkat kekenyalan yang sangat baik. Proses penggumpalan dilakukan dengan cara sederhana, yakni menambahkan asam formiat sebanyak 1–2% ke

dalam lateks (Sintas, 2018). Selain itu, asam formiat juga berperan sebagai pengatur pH dalam proses pewarnaan pada industri tekstil serta digunakan dalam penyamakan kulit (Kirk & Othmer, 1994). Di industri farmasi, senyawa ini dimanfaatkan sebagai zat desinfektan.

Sementara itu, metanol merupakan salah satu dalam kelompok senyawa alkohol, juga memiliki beragam aplikasi industri, termasuk dalam produksi *plywood*, tekstil, resin sintesis, serta pengolahan formaldehida (Kirk & Othmer, 1994). Di Indonesia, 80% pembeli metanol (*technical grade*) adalah industri formaldehida yang memproduksi perekat untuk *plywood* serta industri pengolahan kayu lainnya (Sinatria, 2014).

Saat ini, kebutuhan asam formiat dalam negeri dipenuhi oleh PT Sintas Kurama Perdana, yang berlokasi di Kawasan Industri Kujang Cikampek, dengan kapasitas produksi sebesar 11.000 ton per tahun, serta melalui impor dari luar negeri. Asam formiat yang beredar di pasaran umumnya memiliki kadar kemurnian 85% (berat). Namun, kapasitas produksi yang tersedia masih belum mencukupi kebutuhan domestik, sehingga Indonesia masih bergantung pada impor untuk memenuhi permintaan pasar. Selain itu, Indonesia hanya memiliki satu pabrik metanol, yaitu Kaltim Methanol Industri, yang berlokasi di Bontang, Kalimantan Timur.

Oleh karena itu, pendirian pabrik asam formiat di Indonesia menjadi langkah strategis untuk mengurangi ketergantungan impor. Pabrik ini dirancang untuk memproduksi asam formiat dengan kemurnian 85%wt sebagai produk utama serta metanol dengan kemurnian 98%wt sebagai produk samping. Selain memenuhi kebutuhan dalam negeri, keberadaan pabrik ini juga berpotensi menciptakan lapangan kerja bagi masyarakat di sekitar kawasan industri serta mendorong pertumbuhan industri baru yang memanfaatkan asam formiat sebagai bahan baku.

1.2 Kegunaan Produk

Penggunaan asam formiat secara umum dalam beberapa bidang adalah sebagai berikut:

1. Industri Tekstil

Asam formiat merupakan salah satu zat yang digunakan sebagai bahan dalam proses pencelupan warna pada tekstil, karena pada zat ini memiliki banyak fungsi yang berguna untuk mengatur pH pada proses pemutihan, pencelupan atau pewarnaan. Keunggulan asam formiat sebagai bahan celupan tekstil adalah warnanya cerah, hal tersebut karena ukuran partikel asam formiat relatif kecil sehingga kelarutannya makin tinggi, akibatnya pencelupannya menjadi mudah rata, tetapi akan tahan pada saat proses pencucian (Wildan, 2012).

2. Industri Pakan Ternak

Asam formiat ditambahkan ke dalam pakan ternak untuk menghambat pertumbuhan bakteri, dekontaminasi *raw material* pada pakan ternak (Kirk and Othmer, 1994).

3. Industri Lateks

Asam formiat pada industri lateks digunakan sebagai bahan penggumpal (koagulan). Apabila pada proses penggumpalan getah karet tidak dikoagulasi dengan bahan yang tepat, maka akan sangat mempengaruhi kualitas bahan karet itu sendiri. Jumlah asam yang dibutuhkan tergantung dari kadar karet kering lateks, yakni untuk asam formiat sebanyak 0,04% per kg karet kering (Teguh Y, 2012).

4. Industri Kulit

Asam formiat digunakan dalam proses penyamakan (*tanning*), yaitu sebagai bahan pembersih zat kapur dan pengatur pH pada saat pencelupan. Asam formiat dapat menurunkan nilai pH kulit pada proses pikel (proses awal pengawetan kulit). Gugus asam yang terdapat pada asam formiat akan masuk ke dalam kulit dan berfungsi sebagai lapisan pada proses penyamakan (*tanning*). Penggunaan asam formiat menghasilkan kulit yang lebih halus (Gumilar, J. dkk., 2010).

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama dalam proses pembuatan asam formiat adalah metil formiat dan air. Metil formiat yang digunakan dalam produksi masih harus diimpor, karena hingga saat ini belum ada perusahaan di Indonesia yang memproduksi senyawa tersebut. Metil formiat akan diperoleh dari PT Shandong Acid Technology Co.Ltd. sebuah perusahaan asal China. Adapun bahan baku air akan diambil dari *Java Integrated Industrial and Ports Estate* (JIPE), Kabupaten Gresik, Jawa Timur.

1.4 Analisis Pasar

Langkah yang digunakan untuk mengetahui besarnya minat pasar terhadap suatu produk adalah dengan menggunakan analisis pasar. Analisis pasar meliputi data impor, data kebutuhan luar negeri, dan data produksi asam formiat.

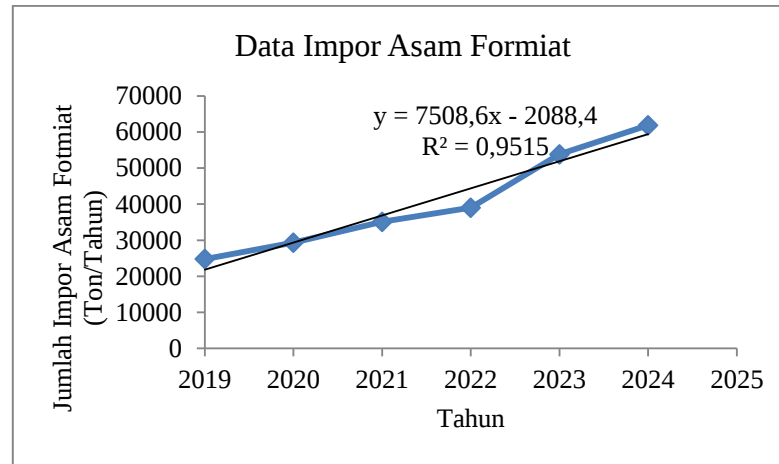
1. Data Impor

Besarnya kapasitas pabrik salah satunya ditentukan berdasarkan data impor untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Berikut ini data impor asam formiat di Indonesia pada beberapa tahun terakhir. Berdasarkan data dari (Badan Pusat Statistik, 2025), Indonesia memiliki kebutuhan impor asam formiat yang dapat dilihat pada Tabel 1.1 sebagai berikut:

Tabel 1.1 Data Impor Asam Formiat di Indonesia

Tahun Ke-	Tahun	Volume Impor (Ton)
1	2019	24.761
2	2020	29.320
3	2021	35.085
4	2022	38.615
5	2023	53.781
6	2024	61.863

Sumber : (Badan Pusat Statistik, 2025)



Gambar 1.1 Grafik Data Impor Asam Formiat di Indonesia

Berdasarkan data-data yang sudah diplotkan pada Gambar 1.1 dilakukan pendekatan menggunakan regresi linier, $y = ax + b$.

Dimana:

y : Kebutuhan Impor Asam Formiat (Ton/Tahun)

x : Tahun ke (11)

Dari Gambar 1.1 diperoleh persamaan berikut:

$$y = 7508,6x - 2088,4$$

Untuk pendirian pabrik pada tahun 2030 (tahun ke-11) diperkirakan kebutuhan impor asam formiat mencapai:

$$y = 7508,6x - 2088,4$$

$$y = 7508,6(11) - 2088,4$$

$$y = 80.502,6 \text{ Ton /Tahun}$$

Sehingga dapat diperkirakan bahwa kebutuhan impor asam formiat Indonesia pada tahun 2030 adalah sebesar 80.502,6 Ton/Tahun.

2. Data Produksi Dunia

Di Indonesia sudah ada pabrik yang memproduksi asam formiat yaitu PT. Sintas Kurama Perdana dengan kapasitas produksi 11.000 ton/tahun (Sintas, 2018). Berikut beberapa data kapasitas produksi pabrik asam formiat di dunia dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Pabrik Asam Formiat yang Beroperasi di Dunia

Produsen	Kapasitas (ton/tahun)	Lokasi
BASF	250.000	United States
Feicheng Acid Chemical	100.000	Feicheng, China
Gujarat Narmada	19.720	Bharuch, India
Jinan Petrochemical	20.000	Shandong, China
Liaocheng Luxi Formic Acid Chemical	200.000	Shandong, China
Mudanjiang Fengda Chemicals	200.000	Heilongjiang, China
Perstorp	40.000	Stenungsund, Swedia
PT. Sintas Kurama Perdana	11.000	Cikampek, Indonesia
Rashtriya Chemical	11.000	Thal, India
Shandong Acid Technology Co.Ltd.	200.000	Feicheng, China
Shanxi Yuanping	20.000	Yuanping, China
Wuhan Ruisunny Chemical	30.000	Wuhan, China

Sumber : (Aligoli, Nazmi and Consultants, 2006)

3. Kapasitas Produksi Pabrik

Berdasarkan data-data yang telah dijelaskan diatas, maka kapasitas pabrik ditentukan berdasarkan data impor dalam negeri dan kapasitas produksi pabrik dalam negeri. Berdasarkan kepada Undang-Undang No. 5 Tahun 1999 tentang Perjanjian yang Dilarang Bab IV Bagian Pertama Monopoli Pasal 17 Ayat 2 yang menyatakan bahwa pelaku usaha diduga atau dianggap melakukan

penguasaan atas produksi dan atau pemasaran barang dan atau jasa jika pelaku usaha menguasai lebih dari 50% pangsa pasar. Sehingga, kapasitas produksi asam formiat ditetapkan sebesar 50% dari total kebutuhan di Indonesia.

Berdasarkan dari berbagai pertimbangan di atas, prarancangan pabrik asam formiat ini dipilih dengan kapasitas sebesar 40.000 ton/tahun dan pabrik mulai beroperasi pada tahun 2030. Kapasitas prarancangan ini ditetapkan dengan alasan sebagai berikut:

1. Sasaran utama untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri sehingga mengurangi impor asam formiat dari negara lain dan mampu mengeksport asam formiat sehingga menambah devisa negara.
2. Memicu berdirinya industri lain yang memiliki bahan baku asam formiat.
3. Membuka lapangan pekerjaan baru sehingga dapat mengurangi jumlah pengangguran.

1.5 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan faktor penting dalam menunjang keberhasilan suatu industri. Kesalahan dalam menentukan lokasi dapat mengakibatkan tingginya biaya produksi, sehingga menurunkan efisiensi dan daya saing perusahaan. Oleh karena itu, keputusan mengenai lokasi pabrik harus dipertimbangkan secara matang agar dapat memaksimalkan keuntungan. Secara geografis, lokasi pabrik sangat berpengaruh terhadap perkembangan operasional, baik saat proses produksi berlangsung maupun untuk keberlanjutan bisnis di masa depan. Faktor-faktor utama yang perlu diperhatikan dalam memilih lokasi meliputi ketersediaan bahan baku, akses ke pasar, infrastruktur transportasi, serta aspek pendukung lainnya. Selain itu, perhitungan biaya yang dikeluarkan untuk pendistribusian dan produksi minimal serta pertimbangan budaya dan sosiologi masyarakat sekitar pabrik yang akan dibangun pun merupakan aspek-aspek yang harus dipertimbangkan untuk menentukan lokasi pabrik (Peters & Timmerhaus,

1991). Semua aspek tersebut berperan dalam memastikan kelancaran operasional serta keberlangsungan pabrik dalam jangka panjang.



Gambar 1.2 Lokasi Pabrik Asam Formiat

Sumber: (www.maps.google.com)

Berikut ini adalah pertimbangan dalam memilih lokasi pabrik:

1. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama berupa metil formiat yang diperoleh dari Shandong Acid Technology Co.Ltd., China. Guna mendapatkan kemudahan dalam menyediakan bahan baku maka lokasi pabrik diusahakan dekat dengan pelabuhan. Letak pabrik ini cukup lebih ekonomis dikarenakan dekat dengan Pelabuhan JIPE, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik. Sedangkan air diperoleh dari *Java Integrated Industrial and Ports Estate* (JIPE), Kabupaten Gresik, Jawa Timur.

2. Pemasaran Produk

Pemilihan lokasi pabrik di Kawasan Industri Gresik didasarkan pada posisi strategis Jawa Timur sebagai salah satu pusat industri utama di Indonesia.

Prioritas perusahaan adalah pasar domestik, dengan harapan keberadaan konsumen di sekitar kawasan dapat meningkatkan keuntungan melalui pengurangan biaya transportasi dan optimalisasi penjualan. Beberapa industri di Kawasan Industri Gresik, Jawa Timur yang memanfaatkan produk asam formiat, diantaranya yaitu industri farmasi (PT Hisamitsu Pharma Indonesia (Salonpas), PT. Coronet Crown), industri tekstil (PT. Lotus Indah Tekstil), industri karet (PT. Karet Ngagel Surabaya Wira Jatim, PTPN XII Kebun Pancursari), industri makanan ternak (PT Haida Agriculture Indonesia, PT Charoen Pokphand Indonesia, PT. Arta Citra Terpadu Feedmill). Selain itu asam formiat juga akan dipasarkan ke industri-industri tekstil yang sebagian besar berada di daerah Jawa Barat

3. Transportasi

Ketersediaan sarana transportasi sangat mempengaruhi pendistribusian produk dan bahan baku baik melalui jalur darat maupun jalur laut. Kawasan Industri Gresik merupakan salah satu kawasan industri yang memiliki akses memadai seperti pintu tol, pelabuhan, dan jalan raya yang dapat digunakan sebagai sarana pendistribusian ke dalam negeri maupun luar negeri.

4. Utilitas

Utilitas yang diperlukan pada pabrik ini antara lain air, bahan bakar dan listrik. Dalam menjalankan suatu proses di sebuah pabrik, dibutuhkan air yang digunakan sebagai air proses, air yang dibutuhkan untuk karyawan pabrik dan masyarakat sekitar pabrik, air *hidran* serta air pendingin. Oleh sebab itu, pabrik harus berada di daerah dekat dengan sumber air. Untuk memenuhi kebutuhan air tersebut diambil dari sumber air yang dekat dengan lokasi pabrik, yaitu *Java Integrated Industrial and Ports Estate* (JIPE) yang menyediakan pasokan air sebesar 4000 m³/hari (*East Java Investival Info*, 2020). Sedangkan untuk sumber listrik pabrik dapat disuplai dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan juga melalui produksi sendiri menggunakan generator yang digerakkan oleh turbin.

5. Ketersediaan Tenaga Kerja

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

6. Karakteristik Lokasi

Gresik merupakan salah satu kawasan industri utama di Indonesia yang masih memiliki lahan luas dengan tanah yang relatif datar. Selain itu, harga tanah yang masih terjangkau memberikan keuntungan tersendiri bagi perusahaan yang ingin mendirikan pabrik. Ketersediaan lahan kosong di kawasan ini juga memungkinkan ekspansi industri di masa depan, menjadikannya lokasi yang strategis untuk pertumbuhan sektor perindustrian.

7. Perizinan

Sebagai kawasan industri terbuka bagi investor asing, Gresik mendapat dukungan penuh dari pemerintah dalam hal kemudahan perizinan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 71 Tahun 2021 tentang Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Gresik, pemerintah telah mengatur berbagai aspek terkait pembangunan dan operasional pabrik, termasuk perizinan usaha, skema pembiayaan, serta insentif bagi industri yang berinvestasi di wilayah tersebut. Kebijakan ini bertujuan untuk menarik lebih banyak investor dan mempercepat pertumbuhan ekonomi di kawasan industri Gresik.

II. DESKRIPSI PROSES

2.1 Jenis-jenis Proses Pembuatan Asam Formiat

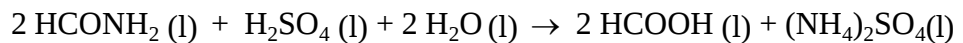
Ada beberapa pilihan dalam proses pembuatan asam formiat sebagai berikut.

2.1.1 Berdasarkan Bahan Baku dan Kondisi Proses

2.1.1.1 Reaksi Hidrolisis *Formamide*

Pada proses ini digunakan asam sulfat untuk proses hidrolisis *formamide* menjadi asam formiat dan amonium sulfat.

Reaksi yang terjadi:



Proses hidrolisis *formamide* menggunakan asam sulfat 68–74%. Reaksi ini berjalan pada reaktor alir tangki berpengaduk pada temperatur 85°C (US Patent 6,713,649). Produk keluaran reaktor berupa *hot slurry* amonium sulfat dan asam formiat kemudian masuk ke *rotary kiln*. Disini asam formiat diuapkan dan selanjutnya masuk ke kolom distilasi, sedangkan amonium sulfat di *blow down* dan kemudian dikeringkan. *Yield* asam formiat yang dihasilkan pada proses ini 90% terhadap *formamide* (Ulmann, 2005).

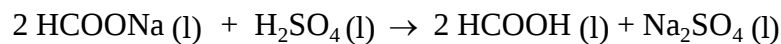
2.1.1.2 Asam Formiat dari Sodium Formiat

Sodium hidroksida dengan kemurnian 97–98% dan karbon monoksida diumpankan ke dalam reaktor yang dilengkapi pengaduk pada bagian

bawah dan *packed* pada bagian atas reaktor. Reaksi ini berjalan pada temperatur 180°C dan tekanan 14–17 atm.

Produk hasil reaksi berupa asam formiat dan sodium sulfat dipisahkan menggunakan kolom distilasi kemudian akan dihasilkan produk asam formiat dengan kemurnian 85–90%. *Yield* asam formiat terhadap sodium formiat adalah 95% (Patel, 2018).

Reaksi yang terjadi:



2.1.1.3 Hidrolisis Metil Formiat

Metil formiat dihidrolisis menghasilkan asam formiat dan metanol. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Reaksi hidrolisa ini berlangsung pada reaktor jenis *plug flow* pada tekanan 8–18 atm dan suhu 80–110°C (US Patent 6,713,649). Apabila rasio antara metil formiat dan air yang digunakan adalah 1 : 1, maka konversi yang dapat dicapai sebesar 30%, apabila rasio metil formiat dan air yang digunakan 1 : 6 maka konversi maksimal yang dapat dicapai sebesar 60% (Ulmann, 2005).

Reaksi yang terjadi merupakan reaksi autokatalik dengan menggunakan asam formiat sebagai katalis. Pada kondisi ini (tekanan 8–18 atm) semua reaktan berada dalam satu fasa, dalam hal ini yang diinginkan adalah fasa cair. Suhu 100°C digunakan untuk memperbesar konversi kesetimbangan dan laju reaksinya agar dapat berlangsung secara ekonomis (Ulmann, 2005). *Yield* asam formiat terhadap metil formiat adalah 98% (Mc. Ketta, 1983).

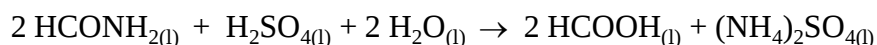
2.1.2 Berdasarkan Tinjauan Termodinamika

Pemilihan proses berdasarkan kelayakan termodinamika dapat dilihat

dari nilai perubahan entalpi (ΔH) dan perubahan *gibbs free energy* (ΔG). ΔH menunjukkan panas reaksi yang dihasilkan selama proses berlangsungnya reaksi kimia. Besar atau kecil nilai ΔH tersebut menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan maupun dihasilkan. ΔH bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut membutuhkan panas untuk berlangsungnya reaksi sehingga semakin besar ΔH maka semakin besar juga energi yang dibutuhkan (endotermis). Sedangkan ΔH bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi (eksotermis). Sedangkan ΔG° menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia. Jika ΔG° bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga dibutuhkan energi tambahan dari luar. Sedangkan ΔG° bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan dan hanya membutuhkan sedikit energi. Oleh karena itu semakin kecil atau negatif ΔG° maka reaksi tersebut akan semakin baik karena untuk berlangsung spontan energi yang dibutuhkan semakin kecil. Nilai ΔH dan ΔG reaksi dari kedua proses dapat dihitung sebagai berikut:

2.1.2.1 Proses Hidrolisis *Formamide*

Reaksi yang berlangsung:



Berikut data entalpi pembentukan standar (ΔH°_f) pada keadaan standar ($T=298 \text{ K}$) dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Nilai Enthalpi Pembentukan Standar ΔH°_f (298K) dari Proses Hidrolisis *Formamide* pada Suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	ΔH°_f 298K (kJ/mol)
CH_3NO	-186,19
H_2SO_4	-735,13

Tabel 2.1 Nilai Enthalpi Pembentukan Standar ΔH_f° (298K) dari Proses Hidrolisis *Formamide* pada Suhu 25°C (298,15 K) (Lanjutan)

Komponen	ΔH_f° 298K (kJ/mol)
H ₂ O	-241,8
HCOOH	-378,61
(NH ₄) ₂ SO ₄	-693,54

Sumber: (Yaws, 1999)

Sehingga nilai enthalpi reaksi ialah :

$$\begin{aligned}
 \Delta H_r^\circ 298K &= \sum \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \sum \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\
 &= [(2 \times (\Delta H_f^\circ \text{ HCOOH}) + (\Delta H_f^\circ (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4))] - [(2 \times (\Delta H_f^\circ \text{ HCONH}_2) + (\Delta H_f^\circ \text{ H}_2\text{SO}_4) + (2 \times \Delta H_f^\circ \text{ H}_2\text{O})] \\
 &= (-1.450,76 \text{ kJ/mol}) - (-1591,11 \text{ kJ/mol}) \\
 &= 140,35 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung ΔH_r° pada suhu tertentu menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta H_0^\circ = \Delta H_0^\circ + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT &= (\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) \\
 &\quad + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{T T_0} \right)
 \end{aligned}$$

Maka nilai ΔH° adalah:

$$\Delta H^{\circ} = \Delta H_0^{\circ} + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{T T_0} \right) \right]$$

(Smith, *et al.*, 2001)

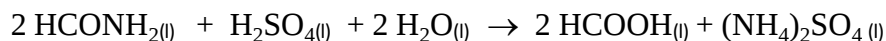
Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Konstanta *Heat Capacities* (C_p) Reaksi dengan *Formamide*

Senyawa	A	B	C	D
HCONH ₂	36,786	0,51348	-1,1422 x 10 ⁻³	1,0480 x 10 ⁻⁶
H ₂ SO ₄	26,004	0,70337	-1,3856 x 10 ⁻³	1,0342 x 10 ⁻⁶
H ₂ O	92,053	-3,9953 x 10 ⁻²	-2,1103 x 10 ⁻⁴	5,3469 x 10 ⁻⁷
HCOOH	-16,110	0,87229	-2,3665 x 10 ⁻³	2,4454 x 10 ⁻⁶
(NH ₄) ₂ SO ₄	20,1	0,846	-4,07 x 10 ⁻³	6,61 x 10 ⁻⁶

Sumber: (Yaws, 1999)

Berdasarkan Tabel 2.2, maka dapat diperoleh nilai ΔA , ΔB , ΔC dan ΔD untuk pembentukan asam formiat sesuai dengan reaksi yaitu:



Dimana:

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

$$T = 85^{\circ}\text{C} = 358,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^{\circ}\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\Delta H^{\circ}_{298} = \Delta H^{\circ} = 140,35 \text{ kJ/mol}$$

Maka diperoleh nilai:

$$\begin{aligned} \Delta A &= [A \times (2\text{HCOOH} + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)] - [A \times (2 \text{HCONH}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + (2 \text{H}_2\text{O}))] \\ &= -12,12 - 283,682 \\ &= -295,802 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk menentukan ΔA , didapatkan nilai ΔB , ΔC , dan ΔD sebagai berikut:

$$\Delta B = 0,940156$$

$$\Delta C = -0,004$$

$$\Delta D = 7,301 \times 10^{-6}$$

Selanjutnya, nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD disubstitusi pada rumus ΔH° , sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \Delta H_0^\circ \\ &+ R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) \right. \\ &\quad \left. + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{T \times T_0} \right) \right] \\ \Delta H^\circ &= 140,35 + 8,314 \left[-295,802(358,15 - 298,15) + \right. \\ &\quad \left. \frac{0,940156}{2}(358,15^2 - 298,15^2) + \frac{-0,004}{3}(358,15^3 - \right. \\ &\quad \left. 298,15^3) + 7,301 \times 10^{-6} \left(\frac{358,15 - 298,15}{358,15 \times 298,15} \right) \right] \\ \Delta H^\circ &= -247.278,55 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Oleh karena itu, maka diperoleh nilai enthalpi reaksi ΔH° pada proses pembuatan asam formiat dengan hidrolisis *formamide* adalah sebesar -247.278,55 kJ/mol. Nilai enthalpi reaksi (ΔH_r) pada proses ini bernilai negatif, yang menunjukkan bahwa reaksi ini berlangsung secara eksotermis atau menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi. Adapun nilai energi bebas Gibbs (ΔG_f°), untuk masing-masing senyawa pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Nilai Energi Bebas Gibbs (ΔG_f°) pada Proses Hidrolisis *Formamide* (T = 298 K)

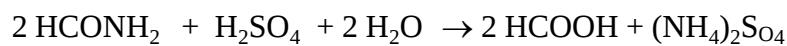
Senyawa	ΔG_{298K}° (kJ/mol)
HCONH ₂	-141,04
H ₂ SO ₄	-653,47
H ₂ O	-228,6

Tabel 2.3 Nilai Energi Bebas Gibbs (ΔG°) pada Proses Hidrolisis
Formamide (T = 298 K) (Lanjutan)

Senyawa	ΔG_{298K} (kJ/mol)
HCOOH	-351
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	-596,52

Sumber : (Yaws, 1999)

Reaksi:



Sehingga nilai energi bebas ialah:

$$\begin{aligned} \Delta G_{298K} &= \sum \Delta G_f \text{ produk} - \sum \Delta G_f \text{ reaktan} \\ &= [(2 \times (\Delta G^\circ_f \text{HCOOH}) + (\Delta G^\circ_f (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4))] - [(2 \times (\Delta G^\circ_f \text{HCONH}_2) + (\Delta G^\circ_f \text{H}_2\text{SO}_4) + (2 \times \Delta G^\circ_f \text{H}_2\text{O}))] \\ &= (-1298,52 \text{ kJ/mol}) - (-1392,75 \text{ kJ/mol}) \\ &= 94,23 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk menghitung ΔG° pada suhu kondisi operasi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta G^\circ = \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} \frac{dT}{T}$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT &= (\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \\ &\quad \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} \frac{dT}{T}$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} \frac{dT}{T} = \Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0)$$

Maka nilai ΔG° adalah :

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ = & \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) \\
 & + R \left[(\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) \right. \\
 & \left. + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] \\
 & - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} \right. \\
 & \left. + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right] \\
 & \text{(Smith, et al., 2001)}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔG° , sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ = & \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) \\
 & + R \left[(\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) \right. \\
 & \left. + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] \\
 & - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right]
 \end{aligned}$$

$$\Delta G^\circ$$

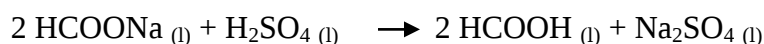
$$\begin{aligned}
&= 94,23 - \frac{358,15}{298,15} (140,35 - 94,23) \\
&+ 8,314 \left[(-295,802 (358,15 - 298,15) \right. \\
&+ \frac{0,940156}{2} (358,15^2 - 298,15^2) \\
&+ \frac{-0,004}{3} (358,15^3 - 298,15^3) + 7,301 \\
&\times 10^{-6} \left(\frac{358,15 - 298,15}{358,15 \times 298,15} \right) \left. \right] - 8,314 \\
&\times 358,15 \left[-295,802 \ln \frac{358,15}{298,15} \right. \\
&+ \left[0,940156 \right. \\
&+ \left(-0,004 \right. \\
&+ \frac{7,301 \times 10^{-6}}{298,15^2 \times 358,15^2} \left(\frac{358,15 + 298,15}{2} \right) \left. \right] (358,15 \\
&- 298,15) \left. \right]
\end{aligned}$$

$$\Delta G^\circ = 296.602,8 \text{ kJ/mol}$$

Diperoleh nilai ΔG° suhu reaksi pada reaksi proses hidrolisis *formimade* sebesar 296.602,8 kJ/mol yang menunjukkan reaksi tidak dapat berlangsung secara spontan yaitu reaksi yang menyerap energi dari sekitarnya (Allison dkk., 2018). Apabila nilai ΔG semakin (+) atau semakin besar reaksi membutuhkan energi yang besar untuk berjalan.

2.1.2.2 Proses dengan Sodium Formiat

Reaksi yang berlangsung:



Berikut data entalpi pembentukan standar (ΔH°_f) pada keadaan standar ($T=298\text{ K}$) dapat dilihat pada Tabel 2.4 sebagai berikut:

Tabel 2.4 Nilai Entalpi Pembentukan Standar (ΔH°_f) pada Proses dengan Sodium Formiat pada Suhu 25°C ($298,15\text{ K}$)

Komponen	$\Delta H^\circ_f\text{ }298\text{K (kJ/mol)}$
HCOONa	-666,5
H ₂ SO ₄	-735,13
HCOOH	-378,61
Na ₂ SO ₄	-1387,1

(Sumber: Yaws, 1999)

Sehingga nilai entalpi reaksi ialah :

$$\begin{aligned}
 \Delta H^\circ_r\text{ }298\text{K} &= \sum \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \sum \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} \\
 &= [(2 \times (\Delta H^\circ_f \text{ HCOOH}) + (\Delta H^\circ_f (\text{Na}_2\text{SO}_4)))] - [(2 \times (\Delta H^\circ_f \text{ HCOONa}) + (\Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{SO}_4))] \\
 &= (-2.144,32 \text{ kJ/mol}) - (-2068,13 \text{ kJ/mol}) \\
 &= -76,19 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung ΔH° pada suhu tertentu menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta H^\circ_0 = \Delta H^\circ_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_P}{R} dT$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_P}{R} dT$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_P}{R} dT &= (\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \\
 &\quad \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right)
 \end{aligned}$$

Maka nilai ΔH° adalah:

$$\Delta H^\circ = \Delta H_0^\circ + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{T T_0} \right) \right]$$

(Smith, *et al.*, 2001)

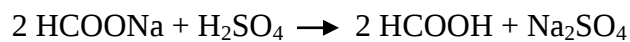
Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5 Konstanta *Heat Capacities* (C_p) Reaksi dengan Proses Menggunakan Sodium Formiat

Senyawa	A	B	C	D
HCOONa	95,016	$-3,11 \times 10^{-2}$	$9,68 \times 10^{-7}$	$5,51 \times 10^{-9}$
H ₂ SO ₄	26,004	0,70337	$-1,3856 \times 10^{-3}$	$1,0342 \times 10^{-6}$
HCOOH	-16,110	0,87229	$-2,3665 \times 10^{-3}$	$2,4454 \times 10^{-6}$
Na ₂ SO ₄	233,515	$-9,5276 \times 10^{-3}$	$-3,4665 \times 10^{-5}$	$1,5771 \times 10^{-8}$

Sumber: (Yaws, 1999)

Reaksi:



Dimana:

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

$$T = 180^\circ\text{C} = 453,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\Delta H_{298}^\circ = \Delta H^\circ = -76,19 \text{ kJ/mol}$$

Maka diperoleh nilai:

$$\begin{aligned} \Delta A &= [A \times (2\text{HCOOH} + (\text{Na}_2\text{SO}_4))] - [A \times (2\text{HCOONa} + \text{H}_2\text{SO}_4)] \\ &= 201,295 - 216,036 \\ &= -14,741 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk menentukan ΔA , didapatkan nilai ΔB , ΔC , dan ΔD sebagai berikut:

$$\Delta B = 1,093$$

$$\Delta C = -0,003$$

$$\Delta D = 3,861 \times 10^{-6}$$

Selanjutnya, nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD disubstitusi pada rumus ΔH° , sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \Delta H_0^\circ + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \right. \\ &\quad \left. \Delta D \left(\frac{T - T_0}{T \times T_0} \right) \right] \\ \Delta H^\circ &= -76,19 + 8,314 \left[-14,741(453,15 - 298,15) + \right. \\ &\quad \left. \frac{1,093}{2}(453,15 - 298,15^2) + \frac{-0,003}{3}(453,15 - 298,15^3) + \right. \\ &\quad \left. 3,861 \times 10^{-6} \left(\frac{453,15 - 298,15}{453,15 \times 298,15} \right) \right] \\ \Delta H^\circ &= -113.640,74 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

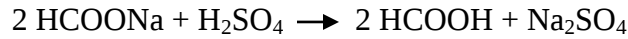
Oleh karena itu, maka diperoleh nilai enthalpi reaksi ΔH° pada proses pembuatan asam formiat dengan sodium formiat adalah sebesar -113.640,74 kJ/mol. Nilai entalpi reaksi (ΔH_r) pada proses ini bernilai negatif, yang menunjukkan bahwa reaksi ini berlangsung secara eksotermis atau menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi. Adapun nilai energi bebas Gibbs (ΔG_f°), untuk masing-masing senyawa pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut:

Tabel 2.6 Nilai Energi Bebas Gibbs (ΔG_f°) Pada Proses Sodium Formiat (T = 298 K)

Senyawa	$\Delta G_{298K} \text{ (kJ/mol)}$
HCOONa	-599,98
H ₂ SO ₄	-653,47
HCOOH	-351
Na ₂ SO ₄	1270,2

Sumber : (Yaws, 1999)

Reaksi:



Sehingga nilai energi bebas ialah:

$$\begin{aligned}\Delta G_{298K} &= [(2 \times (\Delta G^\circ_f \text{HCOOH}) + (\Delta G^\circ_f \text{Na}_2\text{SO}_4))] - [(2 \times (\Delta G^\circ_f \text{HCOONa}) + (\Delta G^\circ_f \text{H}_2\text{SO}_4))] \\ &= (568,2 \text{ kJ/mol}) - (-1.853,43 \text{ kJ/mol}) \\ &= 2.421,63 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Untuk menghitung ΔG° pada suhu kondisi operasi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ_0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H^\circ_0 - \Delta G^\circ_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_P}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_P}{R} \frac{dT}{T}$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_P}{R} dT$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_P}{R} dT &= (\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) \\ &\quad + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right))\end{aligned}$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_P}{R} \frac{dT}{T}$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_P}{R} \frac{dT}{T} &= \Delta A \ln \frac{T}{T_0} \\ &\quad + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0)\end{aligned}$$

Maka nilai ΔG° adalah:

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ = & \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) \\ & + R \left[(\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) \right. \\ & \left. + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] \\ & - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} \right. \\ & \left. + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right]\end{aligned}$$

(Smith, *et al.*, 2001)

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔG° , sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ = & \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) \\ & + R \left[(\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) \right. \\ & \left. + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] \\ & - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right]\end{aligned}$$

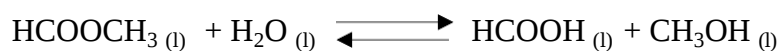
$$\begin{aligned}
\Delta G^\circ = & 2.421,63 - \frac{453,15}{298,15} (-76,19 - 2.421,63) \\
& + 8,314 \left[(-14,741 (453,15 - 298,15) \right. \\
& + \frac{1,093}{2} (453,15^2 - 298,15^2) + \frac{-0,003}{3} (453,15^3 - 298,15^3) \\
& + 3,861 \times 10^{-6} \left(\frac{453,15 - 298,15}{453,15 \times 298,15} \right) \left. \right] - 8,314 \\
& \times 453,15 \left[-14,741 \ln \frac{453,15}{298,15} \left[1,093 \right. \right. \\
& + \left(-0,003 \right. \\
& + \left. \frac{3,861 \times 10^{-6}}{298,15^2 \times 453,15^2} \right) \left(\frac{453,15 + 298,15}{2} \right) \left. \right] (453,15 \\
& \left. - 298,15) \right]
\end{aligned}$$

$$\Delta G^\circ = 167.598,097 \text{ kJ/mol}$$

Diperoleh nilai ΔG° suhu reaksi pada reaksi proses sodium formiat sebesar 167.598,097 kJ/mol yang menunjukkan reaksi tidak dapat berlangsung secara spontan yaitu reaksi yang menyerap energi dari sekitarnya (Allison dkk., 2018). Apabila nilai ΔG semakin (+) atau semakin besar reaksi membutuhkan energi yang besar untuk berjalan.

2.1.2.3 Proses Hidrolisis Metil Formiat

Reaksi yang berlangsung:



Berikut data entalpi pembentukan standar (ΔH°_f) pada keadaan standar (T=298 K) dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2.7 Nilai Entalpi Pembentukan Standar (ΔH_f°) pada Proses Hidrolisis Metil Formiat pada Suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	$\Delta H_{f, 298K}^\circ$ (kJ/mol)
HCOOCH ₃	-386,10
H ₂ O	-285,83
HCOOH	-425,09
CH ₃ OH	-239,50

Sumber: (Yaws, 1999)

Sehingga nilai enthalpi reaksi ialah :

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{r, 298K}^\circ &= \sum \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \sum \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\
 &= [(\Delta H_f^\circ \text{ HCOOH}) + (\Delta H_f^\circ \text{ (CH}_3\text{OH)})] - [(2 \times (\Delta H_f^\circ \text{ HCOOCH}_3) + (\Delta H_f^\circ \text{ H}_2\text{O})] \\
 &= (-579,78 \text{ kJ/mol}) - (-591,58 \text{ kJ/mol}) \\
 &= 11,8 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung ΔH° pada suhu tertentu menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta H_0^\circ = \Delta H_0^\circ + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT &= (\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) \\
 &\quad + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right)
 \end{aligned}$$

Maka nilai ΔH° adalah:

$$\Delta H^\circ = \Delta H_0^\circ + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3} (T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right]$$

(Smith, *et al.*, 2001)

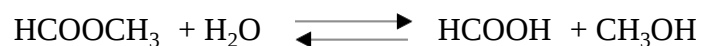
Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada tabel 2.8 berikut:

Tabel 2.8 Konstanta *Heat Capacities* (C_p) Reaksi Hidrolisis Metil Formiat

Senyawa	A	B	C	D
HCOOCH ₃	42,381	0,57064	-1,9727 x 10 ⁻³	2,8945 x 10 ⁻⁶
H ₂ O	92,053	-3,9953 x 10 ⁻²	-2,1103 x 10 ⁻⁴	5,3469 x 10 ⁻⁷
HCOOH	-16,110	0,87229	-2,3665 x 10 ⁻³	2,4454 x 10 ⁻⁶
CH ₃ OH	40,152	0,31046	-1,0291 x 10 ⁻³	1,4598 x 10 ⁻⁶

Sumber: (Yaws, 1999)

Reaksi:



Dimana:

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

$$T = 100^\circ\text{C} = 373,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\Delta H^\circ_{298} = \Delta H^\circ = 11,8 \text{ kJ/mol}$$

Maka diperoleh nilai:

$$\begin{aligned} \Delta A &= [A \times (\text{HCOOH} + (\text{CH}_3\text{OH}))] - [A \times (\text{HCOOCH}_3 + \text{H}_2\text{O})] \\ &= 24,042 - 134,434 \end{aligned}$$

$$= -110,392$$

Dengan cara yang sama untuk menentukan ΔA , didapatkan nilai ΔB , ΔC , dan ΔD sebagai berikut:

$$\Delta B = 0,652$$

$$\Delta C = -0,001$$

$$\Delta D = 4,760 \times 10^{-6}$$

Selanjutnya, nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD disubstitusi pada rumus ΔH° , sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \Delta H_0^\circ \\ &+ R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) \right. \\ &\quad \left. + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{T \times T_0} \right) \right] \\ \Delta H^\circ &= 11,8 + 8,314 \left[-110,392(373,15 - 298,15) + \right. \\ &\quad \left. \frac{0,652}{2}(373,15^2 - 298,15^2) + \frac{-0,001}{3}(373,15^3 - 298,15^3) + 4,760 \times 10^{-6} \left(\frac{373,15 - 298,15}{373,15 \times 298,15} \right) \right] \\ \Delta H^\circ &= 20.161,52 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

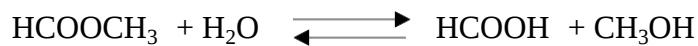
Oleh karena itu, maka diperoleh nilai enthalpi reaksi ΔH° pada proses pembuatan asam formiat dengan hidrolisis metil formiat adalah sebesar 20.161,52 kJ/mol. Nilai enthalpi reaksi (ΔH_r) pada proses ini bernilai positif, yang menunjukkan bahwa reaksi ini berlangsung secara endotermis atau membutuhkan sejumlah panas selama proses berlangsungnya reaksi. Adapun nilai energi bebas Gibbs (ΔG_f°), untuk masing-masing senyawa pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.9 berikut.

Tabel 2.9 Nilai Energi Bebas Gibbs (ΔG_f°) pada Proses Hidrolisis Metil Formiat ($T = 298\text{ K}$)

Senyawa	$\Delta G_{298K}^\circ \text{ (kJ/mol)}$
HCOOCH ₃	-297,19
H ₂ O	-228,6
HCOOH	-351,0
CH ₃ OH	-162,51

Sumber : (Yaws, 1999)

Reaksi:



Sehingga nilai energi bebas ialah:

$$\begin{aligned}\Delta G_{298K}^\circ &= [(2 \times (\Delta G_f^\circ \text{ HCOOH}) + (\Delta G_f^\circ \text{ CH}_3\text{OH}))] - \\ &\quad [(\Delta G_f^\circ \text{ HCOOCH}_3) + (\Delta G_f^\circ \text{ H}_2\text{O})] \\ &= (-513,51 \text{ kJ/mol}) - (-525,79 \text{ kJ/mol}) \\ &= 12,28 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Untuk menghitung ΔG° pada suhu tertentu menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta G^\circ = \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} \frac{dT}{T}$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} dT &= (\Delta A(T - T_0)) + \frac{\Delta B}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3} (T^3 - T_0^3) \\ &\quad + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right)\end{aligned}$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} \frac{dT}{T}$ menggunakan persamaan sebagai

berikut:

$$\begin{aligned} \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{R} \frac{dT}{T} \\ = \Delta A \ln \frac{T}{T_0} \\ + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \end{aligned}$$

Maka nilai ΔG° adalah:

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ = \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) \\ + R \left[(\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) \right. \\ \left. + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] \\ - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} \right. \\ \left. + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right] \end{aligned}$$

(Smith, *et al.*, 2001)

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔG° , sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ = \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) \\ + R \left[(\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) \right. \\ \left. + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] \\ - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} \right. \\ \left. + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta G^\circ = & 12,28 - \frac{373,15}{298,15} (11,8 - 12,28) \\
& + 8,314 \left[(-110,392 (373,15 - 298,15) \right. \\
& + \frac{0,652}{2} (373,15^2 - 298,15^2) \\
& + 0,001 (373,15 - 298,15^3) + 4,760 \\
& \times 10^{-6} \left(\frac{373,15 - 298,15}{373,15 \times 298,15} \right) \left. \right] - 8,314 \\
& \times 373,15 \left[-110,392 \ln \frac{373,15}{298,15} \right. \\
& + \left[0,652 \right. \\
& + \left(-0,001 \right. \\
& + \frac{4,760 \times 10^{-6}}{298,15^2 \times 373,15^2} \left(\frac{373,15 + 298,15}{2} \right) \left. \right] (373,15 \\
& \left. - 298,15) \right] \\
\Delta G^\circ = & 34.696,943 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Diperoleh nilai ΔG° suhu reaksi pada reaksi proses hidrolisis metil formiat sebesar 34.696,943 kJ/mol yang menunjukkan reaksi tidak dapat berlangsung secara spontan yaitu reaksi yang menyerap energi dari sekitarnya (Allison dkk., 2018). Apabila nilai ΔG semakin (+) atau semakin besar reaksi membutuhkan energi yang besar untuk berjalan.

2.1.3 Berdasarkan Kelayakan Ekonomi

2.1.3.1 Perhitungan Ekonomi Kasar Pembuatan Asam Formiat dengan Proses Hidrolisis *Formamide*

Kapasitas produksi asam formiat = 40.000 ton/tahun

$$= 5.050,5050 \text{ kg/jam}$$

$$= 109,722 \text{ kmol/jam}$$

$$\text{Konversi HCOOH} = 50\% \quad (\text{Mc.Ketta, 1983})$$

$$\text{Sehingga, massa asam formiat} = 5.050,5050 \text{ kg/jam} \times 50\%$$

$$= 2.525,2525 \text{ kg/jam}$$

Tabel 2.10 Harga Bahan Baku dan Produk pada Proses Hidrolisis *Formamide*

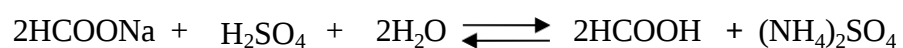
Nama	Senyawa	BM	Rp/Unit	\$/Unit
Formamide	HCONH ₂	45,04	10.000/kg	0,65/kg ^a
Asam Sulfat	H ₂ SO ₄	98,079	1.700/kg	0,10/kg ^a
Asam Formiat	HCOOH	46,030	33.380/kg	2,14/kg ^a
Amonium Sulfat	(NH ₄) ₂ SO ₄	132,14	2.600/kg	0,16/kg ^b
Air	H ₂ O	18,020	3000/kg	0,19/kg

Sumber:

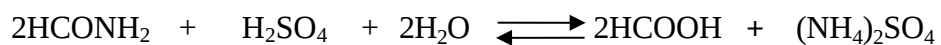
^awww.chemanalyst.com

^bwww.icis.com

Reaksi Proses Hidrolisis *Formamide*



Mula (M)	a	b	c		
Reaksi (Rx)	2e	e	e	2e	e
Sisa (S)	a – 2e	b - e	c – e	2e	e



Mula	109,722	54,8610	109,722		
Reaksi	54,8610	27,4305	54,8610	54,8610	27,4305
Sisa	54,8610	27,4305	54,8610	54,8610	27,4305

- Jumlah *formamide* (HCONH_2) yang dibutuhkan pada proses hidrolisis *formamide*:

Banyaknya HCONH_2 $= 109,722 \text{ kmol/jam} \times 45,04 \text{ kg/kmol}$

$= 4.941,880 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari}$

$= 39.139.691,51 \text{ kg/tahun}$ Biaya

$= 39.139.691,51 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}10.000/\text{kg}$

$= \text{Rp}391.396.915.055/\text{tahun}$
- Jumlah asam sulfat (H_2SO_4) yang dibutuhkan pada proses hidrolisis *formamide*:

Banyaknya H_2SO_4 $= 54,8610 \text{ kmol/jam} \times 98,079 \text{ kg/kmol}$

$= 5.380,713 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari}$

$= 42.615.251 \text{ kg/tahun}$ Biaya

$= 42.615.251 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}1.700/\text{kg}$

$= \text{Rp}72.445.926.570 / \text{tahun}$
- Jumlah air (H_2O) yang dibutuhkan pada proses hidrolisis *formamide*:

Banyaknya H_2O $= 109,722 \text{ kmol/jam} \times 18,020 \text{ kg/kmol}$

$= 1.977,190 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari}$

$= 15.659.352,6 \text{ kg/tahun}$

Biaya $= 15.659.352,6 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}3.000/\text{kg}$

$= \text{Rp}46.978.057.788 / \text{tahun}$
- Jadi total *cost of feed* pada proses hidrolisis *formamide* :

Jumlah biaya $\text{HCONH}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$:

Total Cost of Feed $= \text{Rp}391.396.915.055/\text{tahun} +$

$\text{Rp}72.445.926.570/\text{tahun} + \text{Rp} \text{Rp}46.978.057.788$

$/\text{tahun}$

$= \text{Rp} 510.820.899.413/\text{tahun}$

Jumlah asam formiat (HCOOH) yang dihasilkan pada proses hidrolisis

formamide:

$$\begin{aligned}\text{Banyaknya HCOOH} &= 54,8610 \text{ kmol/jam} \times 46,03 \text{ kg/kmol} \\ &= 2.525,2525 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\ &= 20.000.000 \text{ kg/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Biaya} &= 20.000.000 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}33.380 \\ &= \text{Rp}667.600.000.000 \text{ /tahun}\end{aligned}$$

- Jumlah amonium sulfat ((NH₄)₂SO₄) yang dihasilkan pada proses hidrolisis *formamide*:

$$\begin{aligned}\text{Banyaknya (NH}_4\text{)}_2\text{SO}_4 &= 27,4305 \text{ kmol/jam} \times 132,14 \text{ kg/kmol} \\ &= 3.624,667 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\ &= 28.707.364,76 \text{ kg/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Biaya} &= 28.707.364,76 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}2.600/\text{kg} \\ &= \text{Rp}74.639.148.381 \text{ /tahun}\end{aligned}$$

Jadi *total cost of product* pada proses hidrolisis *formamide*:

$$\begin{aligned}\text{Total Cost of Product} &= \text{Rp}667.600.000.000 \text{ /tahun} + \text{Rp}74.639.148.381 \\ &\text{ /tahun} \\ &= \text{Rp}742.239.148.381 \text{ /tahun}\end{aligned}$$

- Jadi *Economic Potential (EP)* pada proses hidrolisis *formamide*:

$$\text{Economic Potential (EP)} = \text{Total Cost of Product} - \text{Total Cost of Feed}$$

$$\text{Economic Potential (EP)} = \text{Rp}742.239.148.381 \text{ /tahun} - \text{Rp}510.820.899.413/\text{tahun}$$

$$\text{Economic Potential (EP)} = \text{Rp}213.418.248.968$$

2.1.3.2 Perhitungan Ekonomi Kasar Pembuatan Asam Formiat dengan Sodium Formiat

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas produksi asam formiat} &= 40.000 \text{ ton/tahun} \\ &= 5.050,5050 \text{ kg/jam} \\ &= 109,722 \text{ kmol/jam}\end{aligned}$$

Konversi HCOOH = 60% (Manzour & Faraz, 2009)

Sehingga, massa asam formiat = $5.050,5050 \text{ kg/jam} \times 60\%$
 $= 3.030,303 \text{ kg/jam}$

Tabel 2.11 Harga Bahan Baku dan Produk pada Proses dengan Sodium Formiat

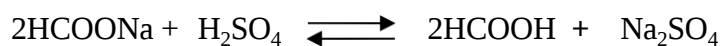
Nama	Senyawa	BM	Rp/Unit	\$/Unit
Sodium Formiat	HCOONa	68,01	8.300/kg	0,53/kg ^a
Asam Sulfat	H ₂ SO ₄	98,079	1.700/kg	0,10/kg ^b
Asam Formiat	HCOOH	46,030	33.380/kg	2,14/kg ^a
Sodium Sulfat	Na ₂ SO ₄	142,04	1.700/kg	0,10/kg ^b

Sumber:

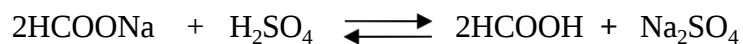
^awww.chemanalyst.com

^bwww.icis.com

Reaksi Proses dengan Sodium Formiat



Mula (M)	a	c		
Reaksi (Rx)	2e	e	2e	e
Sisa (S)	$a - 2e$	$c - e$	2e	e



Mula (M)	109,722	54,8610		
Reaksi (Rx)	65,833	32,9196	65,8332	32,9166
Sisa (S)	44	21,9444	65,8332	32,9166

- Jumlah sodium formiat (HCOONa) yang dibutuhkan pada

proses dengan sodium formiat:

$$\begin{aligned}\text{Banyaknya HCOONa} &= 109,722 \text{ kmol/jam} \times 68,01 \text{ kg/kmol} \\ &= 7.462,195 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\ &= 59.100.586,57 \text{ kg/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Biaya} &= 59.100.586,57 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}8.300/\text{kg} \\ &= \text{Rp}490.534.868.564 \text{ /tahun}\end{aligned}$$

- Jumlah asam sulfat (H_2SO_4) yang dibutuhkan pada proses dengan sodium formiat:

$$\begin{aligned}\text{Banyaknya H}_2\text{SO}_4 &= 54,8610 \text{ kmol/jam} \times 98,079 \text{ kg/kmol} \\ &= 5.380,713 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\ &= 42.615.250,92 \text{ kg/tahun} \\ \text{Biaya} &= 42.615.250,92 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}1.700/\text{kg} \\ &= \text{Rp}72.445.926.570 \text{ /tahun}\end{aligned}$$

- Jadi *total cost of feed* pada proses dengan sodium formiat:

Jumlah biaya $\text{HCOONa} + \text{H}_2\text{SO}_4$:

$$\begin{aligned}\text{Total Cost of Feed} &= \text{Rp}490.534.868.564 \text{ /tahun} + \\ &\quad \text{Rp}72.445.926.570 \text{ /tahun} \\ &= \text{Rp}562.980.795.134 \text{ /tahun}\end{aligned}$$

Jumlah asam formiat (HCOOH) yang dihasilkan pada proses dengan sodium formiat:

$$\begin{aligned}\text{Banyaknya HCOOH} &= 65,8332 \text{ kmol/jam} \times 46,03 \text{ kg/kmol} \\ &= 3.030,303 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\ &= 24.000.000 \text{ kg/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Biaya} &= 24.000.000 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}33.380 \\ &= \text{Rp}801.120.000.000/\text{tahun}\end{aligned}$$

Jumlah sodium sulfat (Na_2SO_4) yang dihasilkan pada proses dengan

sodium formiat:

$$\begin{aligned}
 \text{Banyaknya Na}_2\text{SO}_4 &= 32,9166 \text{ kmol/jam} \times 142,04 \text{ kg/kmol} \\
 &= 4.675,475 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\
 &= 37.029.763,2 \text{ kg/tahun} \\
 \text{Biaya} &= 37.029.763,2 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}1.700/\text{kg} \\
 &= \text{Rp}62.950.597.436 \text{ /tahun}
 \end{aligned}$$

- Jadi *total cost of product* pada proses dengan sodium formiat:

$$\begin{aligned}
 \text{Total Cost of Product} &= \text{Rp}801.120.000.000/\text{tahun} + \\
 &\quad \text{Rp}62.950.597.436 \text{ /tahun} \\
 &= \text{Rp}864.070.597.436/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Jadi *Economic Potential (EP)* pada proses dengan sodium formiat:

$$\text{Economic Potential (EP)} = \text{Total Cost of Product} - \text{Total Cost of Feed}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Economic Potential (EP)} &= \text{Rp}864.070.597.436/\text{tahun} - \\
 &\quad \text{Rp}562.980.795.134 \text{ /tahun}
 \end{aligned}$$

$$\text{Economic Potential (EP)} = \text{Rp}301.089.802.303 \text{ /tahun}$$

2.1.3.3 Perhitungan Ekonomi Kasar Pembuatan Asam Formiat dengan Proses Hidrolisis Metil Formiat

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas produksi asam formiat} &= 40.000 \text{ ton/tahun} \\
 &= 5.050,5050 \text{ kg/jam} \\
 &= 109,733 \text{ kmol/jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Konversi HCOOH} = 60\% \quad (\text{Ulmann, 2005})$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga, massa asam formiat} &= 5.050,5050 \text{ kg/jam} \times 60\% \\
 &= 3.030,303 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 2.12 Harga Bahan Baku dan Produk pada Proses dengan Hidrolisis Metil Formiat

Nama	Senyawa	BM	Rp/Unit	\$/Unit
Metil Formiat	HCOOCH ₃	60,050	4.420 /kg	0,29/kg ^a
Air	H ₂ O	18,020	3.000/kg	0,19/kg
Asam Formiat	HCOOH	46,030	33.380/kg	2,14/kg ^a
Metanol	CH ₃ OH	32,040	13.700/ kg	0,88/kg ^a

Sumber:

^a www.chemanalyst.com

Reaksi Proses Hidrolisis Metil Formiat

	$\text{HCOOCH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCOOH} + \text{CH}_3\text{OH}$			
Mula (M)	a	b		
Reaksi (Rx)	c	c	c	c
Sisa (S)	a – c	b – c	c	c

	$\text{HCOOCH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCOOH} + \text{CH}_3\text{OH}$			
Mula (M)	109,733	109,733		
Reaksi (Rx)	65,8398	65,8398	65,8398	65,8398
Sisa (S)	43,8932	43,8932	65,8398	65,8398

- Jumlah metil formiat (HCOOCH₃) yang dibutuhkan pada proses hidrolisis metil formiat:

$$\begin{aligned}
 \text{Banyaknya HCOOCH}_3 &= 109,733 \text{ kmol/jam} \times 60,05 \text{ kg/kmol} \\
 &= 6.589,466 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\
 &= 52.188.575,87 \text{ kg/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\text{Biaya} = 52.188.575,87 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp } 4.420 / \text{kg}$$

$$= \text{Rp}230.673.505.337 \text{ /tahun}$$

- Jumlah air (H_2O) yang dibutuhkan pada proses hidrolisis metil formiat:

$$\begin{aligned} \text{Banyaknya } \text{H}_2\text{O} &= 109,733 \text{ kmol/jam} \times 18,02 \text{ kg/kmol} \\ &= 1.977,388 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\ &= 15.660.918,19 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= 15.660.918,19 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}3.000 \\ &\quad \text{/kg} \\ &= \text{Rp}46.982.754.562/\text{tahun} \end{aligned}$$

- Jadi *total cost of feed* pada proses hidrolisis metil formiat :

Jumlah biaya $\text{HCOOCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$:

$$\begin{aligned} \text{Total Cost of Feed} &= \text{Rp}230.673.505.337 \text{ /tahun} + \\ &\quad \text{Rp}46.982.754.562 \text{ /tahun} \\ &= \text{Rp} 277.656.259.898 \text{ /tahun} \end{aligned}$$

Jumlah asam formiat (HCOOH) yang dihasilkan pada proses hidrolisis metil formiat:

$$\begin{aligned} \text{Banyaknya } \text{HCOOH} &= 65,8398 \text{ kmol/jam} \times 46,03 \text{ kg/kmol} \\ &= 3.030,605 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\ &= 24.002.399,47 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= 24.002.399,47 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}33.380 \\ &= \text{Rp}801.200.094.391/\text{tahun} \end{aligned}$$

Jumlah metanol (CH_3OH) yang dihasilkan pada proses hidrolisis metil formiat:

$$\begin{aligned} \text{Banyaknya } \text{CH}_3\text{OH} &= 65,8398 \text{ kmol/jam} \times 32,04 \text{ kg/kmol} \\ &= 2.109,507 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\ &= 16.707.296,96 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\text{Biaya} = 16.707.296,96 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}13.700/\text{kg}$$

$$= \text{Rp}228.889.968.361 \text{ /tahun}$$

- Jadi *total cost of product* pada proses hidrolisis metil formiat:

$$\text{Total Cost of Product} = \text{Rp}801.200.094.391/\text{tahun} +$$

$$\text{Rp}228.889.968.361 \text{ /tahun}$$

$$= \text{Rp}1.030.090.062.752/\text{tahun}$$

- Jadi *Economic Potential (EP)* pada proses hidrolisis metil formiat:

$$\text{Economic Potential (EP)} = \text{Total Cost of Product} - \text{Total Cost of Feed}$$

$$\text{Economic Potential (EP)} = = \text{Rp}1.030.090.062.752/\text{tahun} -$$

$$\text{Rp}277.656.259.898 \text{ /tahun}$$

$$\text{Economic Potential (EP)} = \text{Rp}752.433.802.854/\text{tahun}$$

Tabel 2.13 Perbandingan Proses Pembuatan Asam Formiat

Parameter	Proses Hidrolisis <i>Formimade</i>	Proses dari Sodium Formiat	Proses Hidrolisis Metil Formiat
Suhu	85°C	180°C	100°C
Tekanan	45 atm	14-17 atm	8-18 atm
Konversi	50%	60%	60%
Yield	90%	95%	98%
Keuntungan (Rp/Tahun)	231.418.248.968	301.089.802.303	752.433.802.854
Tipe Reaktor	CSTR	<i>Horizontal Tubular Reactor</i>	<i>Plug Flow Reactor</i>
Produk	Amonium Sulfat	Sodium Sulfat	Metanol
Sampling			
$\Delta G_{\text{reaksi}(100^\circ\text{C})}$	296.602,809 kJ/kmol	167.598,097 kJ/kmol	34.696,943 kJ/kmol

$\Delta H_{\text{reaksi}(100^\circ\text{C})}$	-247.278,557 kJ/kmol	-113.640,740 kJ/kmol	20.161,52 kJ/kmol
Kemurnian Produk	85-90%	85-90%	85-90%

2.2 Pemilihan Proses

Berdasarkan uraian proses yang telah dijelaskan di atas, maka dipilih proses pembuatan asam formiat dengan hidrolisis metil formiat, hal ini berdasarkan beberapa alasan berikut:

1. Reaksi bersifat autokatalitik, sehingga tidak diperlukan katalis khusus, sebab asam formiat berfungsi sebagai katalis.
2. Reaksi merupakan hidrolisa yang relatif sederhana tanpa adanya reaksi samping yang lain, dengan produk samping hanya metanol.
3. Salah satu pereaktan adalah air, sehingga relatif mudah diperoleh dan murah harganya.

2.3 Uraian Proses

Proses produksi asam formiat dengan cara hidrolisis metil formiat dapat dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Penyiapan bahan baku

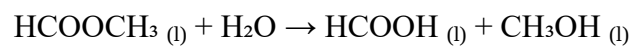
Tahap penyiapan bahan baku ini untuk mempersiapkan bahan baku sehingga sesuai dengan kondisi yang sesuai dengan kondisi pada reaktor. Tahap penyiapan bahan baku:

- 1) Mencampurkan aliran metil formiat dari tangki penyimpanan (ST-101) dengan aliran metil formiat *recycle* yang berasal dari DC-302 melalui MP-101 kemudian dipanaskan hingga 100°C dan tekanannya dinaikkan menjadi 8 atm agar sesuai dengan kondisi operasi pada reaktor (RE-201).
- 2) Memanaskan air proses sebagai input reaktor (RE-201) hingga mencapai kondisi operasi reaktor yaitu pada temperatur 100°C dan tekanan 8 atm.

- 3) Memanaskan asam formiat yang berfungsi sebagai katalis hingga mencapai temperatur 100°C dan dinaikkan tekanannya hingga 8 atm. Pemanas yang digunakan yaitu *hot oil*.

2. Tahap Proses

Pada tahap ini, umpan reaktor direaksikan dalam kondisi yang sesuai dengan proses untuk menghasilkan produk asam formiat dan metanol. Proses reaksi ini untuk mereaksikan metil formiat dengan air menggunakan asam formiat sebagai katalis, sehingga terbentuk produk akhir berupa asam formiat dan metanol. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Reaktor yang digunakan adalah reaktor aliran pipa (*plug flow reactor*). Bahan baku yang terdiri dari metil formiat, air proses, dan katalis asam formiat yang telah dipanaskan dialirkan ke dalam reaktor RE-201 untuk bereaksi sehingga menghasilkan asam formiat dan metanol. Perbandingan antara metil formiat dan air yang digunakan adalah 1:6, sedangkan rasio asam formiat terhadap metil formiat adalah 0,1:1 (Jogunola O, *et al.*, 2010).

Reaktor RE-201 beroperasi pada tekanan 8 atm dengan konversi metil formiat sebesar 60% (Ulmann, 2005). Reaktor ini beroperasi secara adiabatik. Produk keluaran reaktor memiliki suhu 93,94°C, kemudian dialirkan ke *expansion valve* untuk menurunkan tekanannya menjadi 1 atm. Penurunan tekanan ini dilakukan agar sesuai dengan kondisi operasi peralatan setelah reaktor, yaitu kolom distilasi (DC-301), yang beroperasi pada tekanan umpan 1 atm.

3. Tahap Pemisahan dan Pemurnian Produk

Produk keluar reaktor (RE-201) berupa asam formiat, metanol, dan sisa-sisa reaktan yang tidak bereaksi. Produk yang keluar reaktor (RE-201) diekspansikan oleh *expansion valve* (EV-101) dari tekanan 8 atm menjadi 1 atm, sehingga terbentuk fase cair berdasarkan beda suhu didih cairan

kemudian dialirkan ke kolom distilasi I untuk proses separasi dengan distilasi tekanan 1 atm.

Kolom distilasi I (DC-301) beroperasi pada tekanan 1 atm dengan suhu umpan masuk sebesar 93,965°C, kondisi pada suhu atas 57,457°C serta suhu bawah 100,05°C. Kolom distilasi I (DC-301) berfungsi untuk memisahkan campuran cair yang berasal dari reaktor menjadi produk atas yang terdiri dari metil formiat dan metanol, dan produk bawah yang terdiri dari air dan asam formiat. Produk atas tersebut kemudian diumpankan ke kolom distilasi II (DC-302) untuk proses pemisahan metil formiat dan metanol sebagai produk samping, sedangkan produk bawah DC-301 diproses pada kolom distilasi III (EDC-301). Kondisi operasi kolom distilasi II (DC-302) adalah pada tekanan 1 atm dengan kondisi atas 31,83°C dan kondisi bawah 62,09°C. Pada kolom distilasi III (EDC-301) bertujuan untuk memperoleh produk atas berupa air dan produk bawah berupa asam formiat serta asam heptanoat sebagai *solvent*. Kolom EDC-301 merupakan kolom distilasi ekstraktif yang menggunakan asam heptanoat sebagai pelarut dalam proses pemisahannya. Penggunaan pelarut ini bertujuan untuk meningkatkan volatilitas air sehingga memungkinkan pemisahan campuran asam formiat dan air. Pelarut yang digunakan harus memiliki titik didih yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan air dan asam formiat. Dalam hal ini, pelarut yang digunakan adalah asam heptanoat (US Patent 4,642,166). Produk bawah tersebut kemudian diumpankan ke kolom distilasi IV (DC-303) untuk proses pemisahan asam formiat sebagai produk utama dan asam heptanoat. Produk atas DC-303 berupa asam formiat dengan kondisi atas 103,06°C dan kondisi bawah 222,900°C berupa asam heptanoat. Produk utama pabrik dihasilkan dengan kadar sebesar 85% dialirkan dari atas kolom distilasi IV (DC-303) menuju ke tangki penyimpanan (ST-302) yang sebelumnya diturunkan suhu dan tekanannya menjadi 40°C; 1 atm.

III.SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

3.1 *Physical Properties*

3.1.1 Spesifikasi Bahan Baku

A. Metil Formiat

Rumus molekul	: HCOOCH_3
Fase (25°C, 1 atm)	: Cair, tidak berwarna
Berat molekul	: 60,05 kg/kmol
Titik leleh	: -99°C
Titik didih	: 32°C
Suhu kritis	: $214,2^\circ\text{C}$
Tekanan kritis	: 59,98 bar
Densitas	: $966,28 \text{ kg/m}^3$
Bau	: Khas ester
Indeks bias	: 1,343
ΔH°_{f298K}	: $-349,78 \text{ kJ/mol}$
ΔG°_{f298K}	: $-297,19 \text{ kJ/mol}$

(Perry, 1997)

Komposisi	: HCOOCH_3 97% ; CH_3OH
-----------	--

B. Air

Rumus molekul	: H_2O
Fase (25°C, 1 atm)	: Cair, tidak berwarna
Berat molekul	: 18 kg/kmol
Titik leleh	: 0°C
Titik didih	: 100°C
Suhu kritis	: 374,3°C
Tekanan kritis	: 217,6 atm
<i>Specific gravity</i>	: 1,00 (4 °C)
Densitas	: 997 kg/m ³ (pada T = 30 °C)
Viskositas	: 0,8949 cp
ΔH_{r298K}	: - 241,8 kJ/mol
ΔG_{r298K}	: - 228,6 kJ/mol

(Perry, 1997)

Komposisi	: H_2O 100%
-----------	-----------------------------

3.1.2 Spesifikasi Produk**A. Asam Formiat**

Rumus molekul	: CH_2O_2 atau HCOOH
Fase (25°C, 1 atm)	: Cair, tidak berwarna
Berat molekul	: 46 kg/kmol
Titik leleh	: 8,4°C

Titik didih	: 100,8°C
Suhu kritis	: 307°C
Tekanan kritis	: 217,6 atm
Densitas	: 1219,5 kg/m ³
Bau	: Bau asam yang menyengat
Indeks bias	: 1,370
ΔH_{r298K}	: - 378,61 kJ/mol
ΔG_{r298K}	: - 351,23 kJ/mol
(Perry, 1997)	
Komposisi	: HCOOH 85% ; H ₂ O 15%

B. Metanol

Rumus molekul	: CH ₃ OH
Fase (25°C, 1 atm)	: Cair, tidak berwarna
Berat molekul	: 32 kg/kmol
Titik leleh	: 67,8°C
Titik didih	: 64,7°C
Suhu kritis	: 500°C
Tekanan kritis	: 28,4 atm
Densitas	: 792 kg/m ³
Bau	: Bau alkohol yang menyengat
Indeks bias	: 1,332

$$\Delta H^{\circ}_{r298K} : -201,17 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^{\circ}_{r298K} : -162,62 \text{ kJ/mol}$$

(Perry, 1997)

3.1.3 Spesifikasi Bahan Penunjang

A. Asam Heptanoat

$$\text{Rumus molekul} : \text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$$

$$\text{Fase (25}^{\circ}\text{C, 1 atm)} : \text{Cair, tidak berwarna}$$

$$\text{Berat molekul} : 130,187 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Titik leleh} : -7,5^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Titik didih} : 223^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Suhu kritis} : 404,85^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tekanan kritis} : 31,2 \text{ atm}$$

$$\text{Densitas} : 918 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Bau} : \text{Bau alkohol yang menyengat}$$

$$\text{Indeks bias} : 1,421$$

$$\Delta H^{\circ}_{r298K} : -608,5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^{\circ}_{r298K} : -257,68 \text{ kJ/mol}$$

(<https://webbook.nist.gov/>)

IX. KESIMPULAN DAN SARAN

10.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik asam formiat dari metil formiat dan air dengan kapasitas 40.000 ton/tahun dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Ditinjau dari segi pengadaan bahan baku, transportasi, pemasaran, dan lingkungan, maka pabrik asam formiat direncanakan berdiri di *Java Integrated Industrial and Port Estate* (JIPE), Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik.
2. Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomi, maka pabrik asam formiat ini layak untuk didirikan dengan hasil perhitungan analisis ekonomi sebagai berikut :
 - a. *Percent Return on Investment* (ROI) sebelum pajak yaitu 45,05% dan setelah pajak yaitu 36,04%
 - b. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak yaitu 2,45 tahun dan 2,89 tahun setelah pajak.
 - c. *Break Even Point* (BEP) sebesar 53,04%, dimana rentang BEP standar antara 31 – 60%. Nilai *Shut Down Point* (SDP) sebesar 27,93%, yaitu dengan batasan kapasitas produksi tersebut pabrik harus berhenti berproduksi karena jika beroperasi di bawah nilai SDP maka pabrik akan mengalami kerugian
 - d. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 48,86%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini daripada ke bank.

10.2 Saran

Berdasarkan pertimbangan hasil analisis ekonomi diatas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa Prarancangan Pabrik Asam Formiat kapasitas 40.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut dari segi proses maupun ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R. S., & Newton, R. D. (1955). *Chemical Engineering Cost Estimation*. McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Data Ekspor Impor Nasional*.
<https://www.bps.go.id/exim>
- Barnes, T. M. (2021). Vehicles for drug delivery and cosmetic moisturizers: review and comparison. *Pharmaceutics*.
- Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design: Vessel Design*. John Wiley & Sons.
- Chemanalyst. (2025). *Harga Bahan Baku dan Produk dari Asam formiat*.
www.chemanalyst.com
- Cheremisinoff, N. P. (2002). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*. Butterworth-Heinemann.
- Coulson, J. M., Richardson, J. F., & Sinnott, R. (2005). *Chemical Engineering: An Introduction to Chemical Engineering Design* (Vol. 6). Elsevier.
- Dewi N.N., M. A. (2023). The Aquatic Environment of Bengawan Solo Estuary, Gresik, East Java As The Basis for Fisheries Development. *Earth and Environmental Science*, pp. 1-10
- Fogler, H. S. (2020). *Elements of Chemical Reaction Engineering* (6th ed.). Pearson. <https://books.google.co.id/books?id=tdPjvQEACAAJ>

- Frayne, C. (1999). *Cooling Water Treatment: Principles and Practice*. Chemical Publishing Company.
- Geankoplis, Christie.J., 1993. *Transport Processes and unit Operation 3th Edition*.
- Google Map, 2025. www.google.co.id/maps/place/lampungtengah. Diakses pada tanggal 25 Februari 2025 pukul 13.45 WIB.
- Himmeblau, David., 1996. *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering 6th Edition*. Prentice Hall Inc. New Jersey.
- ICIS, 2025. *Harga Bahan Baku dan Produk*. <https://www.icis.com>.
- Jogunola., O, dkk. 2010. *Reversible Autocatalytic Hydrolysis of Alkyl Formate : Kinetics and Reactor Modelling*. Ind. Eng. Chem (49) : 4099-4106
- Joshi, M. V. (1976). *Process Equipment Design*. Macmillan. <https://books.google.co.id/books?id=vSUvtwAACAAJ>
- Kern, D. Q. (1983). Process Heat Transfer. In *Book Company, New York*. McGraw-Hill International Book Company.
- Kirk, R. E., Othmer, D. F., & Kroschwitz, J. I. (2004). *Encyclopedia of Chemical Technology* (Issue v. 1-26). J. Wiley. <https://books.google.co.id/books?id=PxpowAEACAAJ>
- Ludwig, E. E. (1997). Design for Chemical and Petrochemical Plant. In *Applied Process Design for Chemical & Petrochemical Plants* (3rd ed., Vol. 3). Houston Gulf Publishi.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1993). *Unit operations of chemical engineering* (Vol. 5). McGraw-hill New York.
- Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook. McGraw-Hill*.

- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineering* (4th ed.). Mc. Graw-Hill Book Company.
- Powell, S. T. (1954). *Water Conditioning for Industry* (1st ed.). McGraw-Hill Book Company.
- Qasim, S. R. (2017). *Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation* (2nd ed.). CRC Press LCC.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbott, M. M., & Swihart, M. T. (1949). *Introduction to chemical engineering thermodynamics*. McGraw-Hill Singapore.
- Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 2002. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th edition*. McGraw-Hill : New York.
- Towler, G., & Sinnott, R. (2013). *Chemical Engineering Design Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design* (2nd ed.). Elsevier.
- Treybal, R. E. (1981). *Mass-Transfer Operations* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Ullmann, F., Elvers, B., Gerhartz, W., & Rounsaville, J. F. (1989). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. VCH.
<https://books.google.co.id/books?id=BcJTAAAMAAJ>
- Ulrich, G. D. (1984). *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. Wiley New York.
- United States Patent: November 1981, 10, 1981, 4,299,981., “*Preparation of Formic Acid by Hydrolysis Methyl Formate*”.
- Vilbrandt, F. C., & Dryden, C. E. (1959). *Chemical Engineering Plant Design* . McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.
- Walas, S. M. (1988). Chemical process equipment: selection and design. (*No Title*).
- Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. McGraw-Hill Education.