

SKRIPSI

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN METIL
MERCAPTAN KAPASITAS 43.000 TON PER TAHUN**



Muhammad Luthfi Alfayyadh

NIM. 03031281924065

Rosidah Zaatil 'Izzah

NIM. 03031281924043

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2023

HALAMAN PENGESAHAN

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN METIL MERKAPTAN
KAPASITAS 43.000 TON/TAHUN**

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana

Oleh:

Muhammad Luthfi Alfayyadh

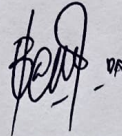
NIM. 03031281924065

Rosidah Zaatil 'Izzah

NIM. 03031281924043

Indralaya, Oktober 2023

Pembimbing,



Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng

NIP. 1671046701900003

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



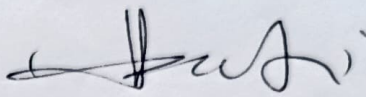
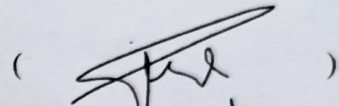
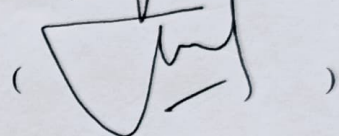
Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.

NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Metil Merkaptan dengan Kapasitas 43.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan oleh Muhammad Luthfi Alfayyadh dan Rosidah Zaatil ‘Izzah di hadapan Tim Penguji Sidang Akhir jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 05 Oktober 2023. Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Prof. Dr. Ir. H. Sri Haryati, DEA, IPU.
NIP. 195610241981032001
2. Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP. 195810031986031003
3. Prahady Susmanto, S.T., M.T.
NIP. 198208042012121001

()
()
()

Mengetahui

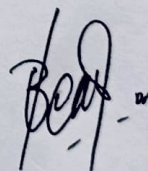
Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Tunj Andah Sari, S.T., M.T.
NIP. 197402012000122001

Indralaya, Oktober 2023

Pembimbing Tugas Akhir

()

Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng
NIP. 1671046701900003

LEMBAR PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

MUHAMMAD LUTHFI ALFAYYADH **03031281924065**

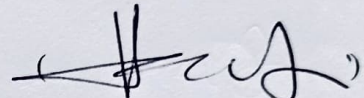
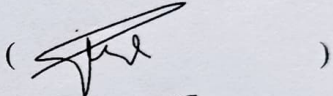
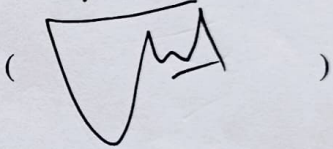
ROSIDAH ZAATIL 'IZZAH **03031281923043**

Judul:

**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN METIL MERKAPTAN
KAPASITAS 43.000 TON/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada Sidang Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 05 Oktober 2023 oleh Dosen Penguji:

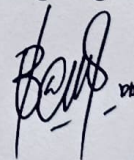
1. Prof. Dr. Ir. H. Sri Haryati, DEA, IPU.
NIP. 195610241981032001
2. Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP. 195810031986031003
3. Prahady Susmanto, S.T., M.T.
NIP. 198208042012121001

()
()
()

Indralaya, Oktober 2023

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir



Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng
NIP. 1671046701900003

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Luthfi Alfayyadh
NIM : 03031281924065
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Metil Merkaptan
Kapasitas 43.000 Ton/Tahun

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Rosidah Zaatil 'Izzah** didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai sistem yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, Oktober 2023



Muhammad Luthfi Alfayyadh

03031281924065

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rosidah Zaatil 'Izzah

NIM : 03031281924043

Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Metil Merkaptan
Kapasitas 43.000 Ton/Tahun

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Muhammad Luthfi Alfayyadh** didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai sistem yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, Oktober 2023



Rosidah Zaatil 'Izzah
03031281924043

KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas kehdairat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* berkat limpahan Rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir dengan judul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Metil Merkaptan dengan Kapasitas 43.000 Ton/Tahun”. Tugas akhir ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan kurikulum akademik yang ada di Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya. Dalam penyusunan tugas akhir penulis tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Penulis telah menerima bimbingan, petunjuk, bantuan, dan dorongan yang bersifat moral maupun materi. Diucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1) Kedua orang tua penulis yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk kasih sayang, perhatian, semangat, dan doa yang tiada henti demi kelancaran dan kesuksesan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
- 2) Ibu Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM. Selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
- 3) Ibu Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T., IPM. Selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 4) Ibu Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
- 5) Seluruh dosen dan staf akademik Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 6) Semua pihak, termasuk teman-teman yang telah membantu, mulai dari tahap awal tugas akhir hingga penyusunan laporan.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Indralaya, Oktober 2023

Penulis

RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN METIL MERKAPTAN KAPASITAS 43.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Oktober 2023

Muhammad Luthfi Alfayyadh dan Rosidah Zaatil 'Izzah; Dibimbing oleh Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

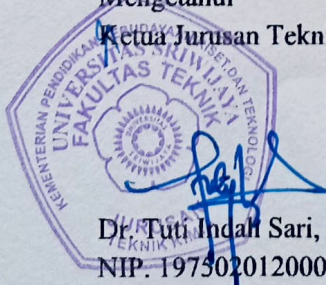
Pabrik pembuatan metil merkaptan dengan kapasitas produksi 43.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2028 di Kecamatan Karangampel, Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat yang diperkirakan memiliki luas area sebesar 5,70 Ha. Proses pembuatan Metil Merkaptan ini mengacu pada Patent US 2022/0363630 A1, dimana metode proses yang digunakan adalah sintesa metil merkaptan dengan reaktan karbon monoksida, hidrogen, dan hidrogen sulfida. Reaksi berlangsung dalam reaktor jenis *multitubular fixed bed reactor* dengan kondisi operasi (320°C, 10 bar). Pabrik ini berbentuk Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh direktur. Sistem organisasi perusahaan ini adalah line and staff dengan karyawan sebanyak 170 orang. Pabrik metil merkaptan layak didirikan karena telah memenuhi parameter kelayakan ekonomi:

- *Total Capital Investment (TCI)* = US \$ 44.404.400,82
- Total Penjualan = US \$ 129.000.000,00
- *Total Production Cost (TPC)* = US \$ 97.738.000,94
- *Annual Cash Flow* = US \$ 23.751.545,12
- *Pay Out Time* = 2,0178 Tahun
- *Rate Of Return On Investment (ROR)* = 45,7619%
- *Discounted Cash Flow – ROR* = 52,9915%
- *Break Even Point (BEP)* = 30,5399%
- *Service Life* = 11 tahun

Kata Kunci: Metil Merkaptan, *Multitubular Fixed Bed Reactor*, Perseroan Terbatas

Mengetahui

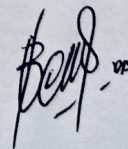
Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 197502012000122001

Indralaya, Oktober 2023

Pembimbing Tugas Akhir



Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng
NIP. 1671046701900003

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERBAIKAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
KATA PENGANTAR	vii
RINGKASAN	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR NOTASI	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxv
BAB I PEMBAHASAN UMUM	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan Proses Pembuatan Metil Merkaptan	2
1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik	3
1.4. Sifat Fisika dan Kimia Produk dan Bahan Baku	3
1.4.1. Bahan Baku	3
1.4.2. Katalis	4
1.4.3. Produk	5
1.5. Proses Pembuatan Metil Merkaptan	5
1.5.1. Reaksi Metanol dengan Hidrogen Sulfida	5
1.5.2. Reaksi <i>Syngas</i> dengan Hidrogen Sulfida	5
1.5.3. Reaksi Metil Klorida dengan Natrium Hidrosulfida	6
1.5.4. Reaksi Dimetil Sulfida dengan Hidrogen Sulfida	6
1.5.5. Reaksi Hidrogenasi Karbondisulfida	6
BAB II PERENCANAAN PABRIK	7
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	7

2.2.	Penentuan Kapasitas Produksi	8
2.3.	Pemilihan Bahan Baku	11
2.4.	Pemilihan Proses	11
2.5.	Uraian Proses	12
2.5.1.	Tahap Preparasi	12
2.5.2.	Tahap Sintesa	12
2.5.3.	Tahap Separasi	13
2.5.4.	Tahap Purifikasi	14
BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK		15
3.1.	Lokasi Pabrik	15
3.1.1.	Ketersediaan Bahan Baku	15
3.1.2.	Utilitas	16
3.1.3.	Transportasi dan Pemasaran Hasil Produksi	16
3.1.4.	Tenaga Kerja	17
3.1.5.	Karakteristik Lingkungan.....	17
3.2.	Tata Letak Pabrik	18
3.3.	Luas Area Pabrik	19
3.4.	Pertimbangan Tata Letak Pabrik dan Peralatan	20
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS		22
4.1.	Neraca Massa	22
4.1.1.	Mixing Point – 01 (MP – 01)	22
4.1.2.	Reaktor – 01 (R-01)	22
4.1.3.	Partial Condenser – 01 (PC – 01)	23
4.1.4.	Knock Out Drum – 01 (KOD – 01)	23
4.1.5.	Absorber – 01 (AB – 01)	24
4.1.6.	Stripper – 01 (ST – 01)	24
4.1.7.	Reboiler – 03 (RB – 03)	24
4.1.8.	Absorber – 02 (AB – 02).....	25
4.1.9.	Stripper – 02 (ST– 02)	25
4.1.10.	Condenser – 03 (CD – 03)	25

4.1.11. Mixing Point – 02 (MP – 02)	26
4.1.12. Kolom Distilasi – 01 (KD – 01).....	26
4.1.13. Condenser – 01 (CD – 01)	26
4.1.14. Accumulator – 01 (ACC – 01).....	27
4.1.15. Reboiler – 01 (RB – 01)	27
4.1.16. Kolom Distilasi – 02 (KD – 02).....	27
4.1.17. Condenser – 02 (CD – 02)	28
4.1.18. Accumulator – 02 (ACC – 02).....	28
4.1.19. Reboiler – 02 (RB – 02).....	28
4.2. Neraca Panas	29
4.2.1. Mixing Point – 01 (MP – 01).....	29
4.2.2. Furnace – 01 (F-01).....	29
4.2.3. Reaktor – 01 (R – 01).....	29
4.2.4. Kompresor – 01 (K – 01)	29
4.2.5. Partial Condenser – 01 (PC-01)	30
4.2.6. Knock Out Drum – 01 (KOD – 01)	30
4.2.7. Expander – 01 (EXP – 01)	30
4.2.8. Heater – 01 (H – 01).....	30
4.2.9. Absorber – 01 (AB – 01).....	31
4.2.10. Heater – 02 (H – 02).....	31
4.2.11. Stripper – 01 (ST – 01)	31
4.2.12. Reboiler – 03 (RB – 03).....	31
4.2.13. Cooler – 01 (C – 01)	32
4.2.14. Kompresor – 02 (K – 02)	32
4.2.15. Condenser – 03 (CD – 03)	32
4.2.16. Kompresor – 03 (K – 03)	32
4.2.17. Heater – 03 (H – 03).....	33
4.2.18. Absorber – 02 (AB – 02).....	33
4.2.19. Heater – 04 (H – 04).....	33
4.2.20. Stripper – 02 (ST – 02)	33
4.2.21. Cooler – 02 (C – 02)	34

4.2.22. Kompresor – 04 (K – 04)	34
4.2.23. Cooler – 03 (C – 03)	34
4.2.24. Mixing Point – 02 (MP – 02)	34
4.2.25. Kolom Distilasi – 01 (KD – 01).....	35
4.2.26. Condenser – 01 (CD – 02)	35
4.2.27. Accumulator – 01 (ACC – 01).....	35
4.2.28. Reboiler – 01 (RB – 01)	35
4.2.29. Kolom Distilasi – 02 (KD – 02).....	36
4.2.30. Condenser – 02 (CD-02)	36
4.2.31. Accumulator – 02 (ACC – 02).....	36
4.2.32. Reboiler – 02 (RB – 02).....	36
BAB V UTILITAS	38
5.1. Unit Pengadaan <i>Steam</i>	38
5.1.1. <i>Steam</i> Pemanas	38
5.1.2. <i>Steam</i> Penggerak Turbin	39
5.1.3. Total Kebutuhan <i>Steam</i>	40
5.2. Unit Pengadaan Air	40
5.2.1. Air Proses	40
5.2.2. Air Pendingin	40
5.2.3. Air Umpan <i>Boiler</i>	43
5.2.4. Air Domestik.....	43
5.2.5. Kebutuhan Air Keseluruhan.....	45
5.2.6. Proses Pengolahan Air Laut Menjadi Air Proses (Air Demineral)..	45
5.3. Unit Pengadaan <i>Refrigerant</i>	46
5.4. Unit Pengadaan Listrik	47
5.4.1. Listrik untuk Peralatan	47
5.4.2. Listrik untuk Penerangan	48
5.4.3. Total Kebutuhan Listrik Keseluruhan.....	48
5.4.4. Kebutuhan Listrik dengan Menggunakan Generator	48
5.5. Unit Pengadaan Bahan Bakar	49
5.5.1. Bahan Bakar <i>Boiler</i>	49

5.5.2. Bahan Bakar Generator	50
5.5.3. Bahan Bakar <i>Furnace</i>	51
5.5.4. Total Kebutuhan Bahan Bakar	51
BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN	52
6.1. Absorber – 01 (AB – 01).....	52
6.2. Absorber – 02 (AB – 02).....	53
6.3. Accumulator – 01 (ACC – 01)	54
6.4. Accumulator – 02 (ACC – 02).....	55
6.5. Condenser – 01 (CD – 01)	56
6.6. Condenser – 02 (CD – 02)	57
6.7. Condenser – 03 (CD – 03)	58
6.8. Cooler – 01 (C – 01)	59
6.9. Cooler – 02 (C – 02)	60
6.10. Cooler – 03 (C – 03)	61
6.11. Expander – 01 (EXP – 01)	62
6.12. Furnace – 01 (F – 01)	63
6.13. Heater – 01 (H – 01).....	64
6.14. Heater – 02 (H – 02)	65
6.15. Heater – 03 (H – 03)	66
6.16. Heater – 04 (H – 04).....	67
6.17. Knock Out Drum – 01 (KOD – 01)	68
6.18. Kolom Distilasi – 01 (KD – 01).....	69
6.19. Kolom Distilasi – 02 (KD – 02).....	70
6.20. Kompresor – 01 (K – 01)	71
6.21. Kompresor – 02 (K – 02)	72
6.22. Kompresor – 03 (K – 03)	73
6.23. Kompresor – 04 (K – 04)	74
6.24. Partial Condenser – 01 (PC – 01).....	75
6.25. Pump – 01 (P – 01)	76
6.26. Pump – 02 (P – 02)	77
6.27. Pump – 03 (P – 03)	78

6.28. Pump – 04 (P – 04)	79
6.29. Pump – 05 (P – 05)	80
6.30. Pump – 06 (P – 06)	81
6.31. Pump – 07 (P – 07)	82
6.32. Pump – 08 (P – 08)	83
6.33. Reaktor – 01 (R – 01).....	84
6.34. Reboiler – 01 (RB – 01)	85
6.35. Reboiler – 02(RB – 02).....	86
6.36. Reboiler – 03(RB – 03).....	87
6.37. Stripper – 01 (ST – 01)	88
6.38. Stripper – 02 (ST – 02)	89
6.39. Tangki – 01 (T – 01)	90
6.40. Tangki – 02 (T – 02)	91
6.41. Tangki – 03 (T – 03)	92
6.42. Tangki – 04 (T – 04)	93
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN	94
7.1. Bentuk Perusahaan	94
7.2. Struktur Organisasi Perusahaan	95
7.3. Tugas dan Wewenang	96
7.3.1. Dewan Komisaris	96
7.3.2. Direktur	96
7.3.3. Manajer Teknik dan Produksi	96
7.3.4. Manajer Personalia dan Umum.....	97
7.3.5. Manajer Keuangan dan Pemasaran	97
7.3.5. Supervisor	98
7.3.5. Operator	98
7.3.5. Staf (Karyawan)	98
7.4. Sistem Kerja	98
7.4.1. Waktu Kerja Karyawan <i>Non-shift</i>	98
7.4.2. Waktu Kerja Karyawan <i>Shift</i>	99
7.5. Penentuan Jumlah Karyawan	100

7.5.1. <i>Direct Operating Labor</i>	100
7.5.2. <i>Indirect Operating Labor</i>	101
BAB VIII ANALISA EKONOMI	104
8.1. <i>Profitability</i>	105
8.1.1. <i>Perhitungan Annual Cash Flow</i>	105
8.2. <i>Lama Waktu Pengembalian Modal</i>	106
8.2.1. <i>Perhitungan Depresiasi</i>	106
8.2.2. <i>Lama Pengangsuran Pengembalian Modal</i>	107
8.2.3. <i>Pay Out Time (POT)</i>	108
8.3. <i>Total Modal Akhir</i>	108
8.3.1. <i>Net Profit Over Total Life of Project (NPOTLP)</i>	108
8.3.2. <i>Total Capital Sink (TCS)</i>	110
8.4. <i>Laju Pengembalian Modal</i>	110
8.4.1. <i>Rate of Return on Investment (ROR)</i>	110
8.4.2. <i>Discounted Cash Flow Rate of Return (DCF-ROR)</i>	111
8.5. <i>Break Even Point (BEP)</i>	111
BAB IX KESIMPULAN	114
DAFTAR PUSTAKA	115

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku Utama.....	3
Tabel 1.2. Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku	4
Tabel 1.3. Sifat Fisika dan Kimia Katalis.....	4
Tabel 1.4. Sifat Fisika dan Kimia Produk	5
Tabel 2.1. Data Impor dan Ekspor Metil Merkaptan di ASEAN	8
Tabel 2.2. Tingkat Pertumbuhan Tahunan Rata-Rata	9
Tabel 2.3. Prediksi Tingkat Pertumbuhan Tahunan Rata-Rata 2022-2028.....	9
Tabel 2.4. Data Impor Methionine di Indonesia	10
Tabel 2.5. Prediksi Tingkat Pertumbuhan Tahunan Methionine	10
Tabel 2.6. Proses Pembentukan Metil Merkaptan	11
Tabel 3.1. Luas Daerah Kompleks Pabrik	19
Tabel 5.1. Total Kebutuhan Bahan Penunjang.....	38
Tabel 5.2. Total Kebutuhan <i>Steam</i> Pemanas	38
Tabel 5.3. Total Kebutuhan <i>Steam</i>	40
Tabel 5.4. Kebutuhan Air Proses.....	40
Tabel 5.5. Kebutuhan Air Pendingin.....	41
Tabel 5.6. Kebutuhan Air Keseluruhan.....	45
Tabel 5.7. Kebutuhan <i>Refrigerant</i>	46
Tabel 5.8. Kebutuhan Listrik Peralatan	47
Tabel 5.9. Total Kebutuhan Bahan Bakar	51
Tabel 7.1. Pembagian Jadwal <i>Shift</i> Kerja Karyawan	99
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Karyawan	101
Tabel 8.1. Total Penjualan Produk	105
Tabel 8.2. Rincian Angsuran Pengembalian Modal	107
Tabel 8.3. Nilai <i>Slope</i> dan <i>Intercept Break Even Point</i>	112
Tabel 8.4. Kesimpulan Analisa Ekonomi	113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Lokasi Pendirian Pabrik Metil Merkaptan	15
Gambar 3.2. Lokasi Pabrik Metil Merkaptan dan Distribusi Bahan Baku	16
Gambar 3.3. Lokasi Target Pasar Konsumen Produk Metil Merkaptan	17
Gambar 3.4. Tata Letak Pabrik	20
Gambar 3.5. Tata Letak Peralatan.....	21
Gambar 5.1. Diagram Alir Proses Pengolahan Air Laut Menjadi Air Demin	46
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan	103
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Even Point</i>	112

DAFTAR NOTASI

1. Absorber dan Stripper

A	: Cross section area tower, m^2
BM	: BM, kg/kmol
Cc	: Tebal korosi maksimum, in
D	: Diameter kolom, m
D _G , D _L	: Difusivitas gas dan liquid, m^2/s
E _j	: Efisiensi pengelasan
F _L , F _G	: Koefisien transfer massa gas dan liquid, $kmol/m^2.s$
G	: Kelajuan superfisial molar gas, $kmol/m^2.s$
G'	: Kelajuan superfisial gas, $kmol/m^2.s$
H _{tG}	: Tinggi unit transfer fase gas, m
H _{tL}	: Tinggi unit transfer fase liquid, m
H _{tog}	: Tinggi unit transfer overall, m
L	: Kelajuan liquid total, $kg/m^2.s$
L'	: Kelajuan superfisial massa liquid, $kg/m^2.s$
m	: Rasio distribusi kesetimbangan
P	: Tekanan desain, psi
Sc _g , Sc _l	: Bilangan Schmidt gas dan liquid
Z	: Tinggi packing, m
ΔP	: Perbedaan tekanan, N/m^2
ε	: Energi tarik menarik molecular
ε _{Lo}	: Fraksi volume liquid, m^2/m^3
μ _G , μ _L	: Viskositas gas dan liquid, kg/ms
ρ _L , ρ _G	: Densitas gas dan liquid, kg/m^3
σ _L	: Tegangan permukaan liquid, N/m
φ _{lt}	: Total hold-up liquid

2. Accumulator

Cc	: Tebal korosi maksimum, in
E _j	: Efisiensi pengelasan

ID, OD	: Diameter dalam, diameter luar, m
L	: Panjang accumulator, m
P	: Tekanan desain, psi
S	: Tegangan kerja yang diizinkan, psi
T	: Temperatur operasi, °C
t	: Tebal dinding accumulator, cm
V	: Volume total, m ³
V _S	: Volume silinder, m ³
ρ	: Densitas, kg/m ³

3. Heat Exchanger (Condenser, Cooler, Heater, Reboiler)

W, w	: Laju alir massa di shell, tube, kg/jam
T ₁ , t ₁	: Temperatur masuk shell, tube, °C
T ₂ , t ₂	: Temperatur keluar shell, tube, °C
Q	: Beban panas, kW
U _o	: Koefisien overall perpindahan panas, W/m ² .°C
ΔT _{lm}	: Selisih log mean temperatur, °C
A	: Luas area perpindahan panas, m ²
ID	: Diameter dalam tube, m
OD	: Diameter luar tube, m
L	: Panjang tube, m
p _t	: Tube pitch, m
A _o	: Luas satu buah tube, m ²
N _t	: Jumlah tube, buah
V, v	: Laju alir volumetrik shell, tube, m ³ /jam
u _t , U _s	: Kelajuan fluida shell, tube, m/s
Db	: Diameter bundel, m
D _s	: Diameter shell, m
N _{RE}	: Bilangan Reynold
N _{PR}	: Bilangan Prandtl
N _{NU}	: Bilangan Nusselt
h _i , h _o	: Koefisien perpindahan panas shell, tube, W/m ² .°C

I_b	: Jarak baffle, m
D_e	: Diameter ekivalen, m
k_f	: Konduktivitas termal, W/m. $^{\circ}$ C
ρ	: Densitas, kg/m 3
μ	: Viskositas, cP
C_p	: Panas spesifik, kJ/kg. $^{\circ}$ C
h_{id}, h_{od}	: Koefisien dirt factor shell, tube, W/m 2 . $^{\circ}$ C
k_w	: Konduktivitas bahan, W/m. $^{\circ}$ C
ΔP	: Pressure drop, psi

4. Knock Out Drum

A	: Vessel Area Minimum, m 2
C	: Corrosion maksimum, in
D	: Diameter vessel minimum, m
E	: Joint efisiensi
H_L	: Tinggi liquid, m
H_t	: Tinggi vessel, m
P	: Tekanan desain, psi
Q_v	: Laju alir volumetric massa, m 3 /jam
Q_L	: Liquid volumetric flowrate, m 3 /jam
S	: Working stress allowable, psi
t	: tebal dinding tangki, m
U_v	: Kecepatan uap maksimum, m/s
V_t	: Volume Vessel, m 3
V_h	: Volume head, m 3
V_t	: Volume vessel, m 3
ρ	: Densitas, kg/m 3
μ	: Viskositas, cP
ρ_g	: Densitas gas, kg/m 3
ρ_l	: Densitas liquid, kg/m 3

5. Kompresor dan Expander

BHP	: Brake Horse Power, power yang dibutuhkan, HP
k	: Konstanta Kompresi
n	: Jumlah stage
η	: Efisiensi kompresor
P_{IN}	: Tekanan masuk, bar
P_{OUT}	: Tekanan keluar, bar
T_1	: Temperatur masuk kompresor, °C
T_2	: Temperatur keluar kompresor, °C
P_W	: Power kompresor, HP
Q	: Kapasitas kompresor, lb/menit
Rc	: Rasio kompresi
W	: Laju alir massa, lb/jam
ρ	: Densitas, kg/m ³

6. Kolom Destilasi

A_a	: Active area, m ²
A_d	: Downcomer area, m ²
A_{da}	: Luas aerasi, m ²
A_h	: Hole area, m ²
A_n	: Net area, m ²
A_t	: Tower area, m ²
Cc	: Tebal korosi maksimum, in
D	: Diameter kolom, m
d_h	: Diameter hole, mm
E	: Total entrainment, kg/s
Ej	: Efisiensi pengelasan
F_{iv}	: Parameter aliran
H	: Tinggi kolom, m
h_a	: Aerated liquid drop, m
h_f	: Froth height. m
h_q	: Weep point, cm

h_w	: Weir height, m
L_w	: Weir height, m
N_m	: Jumlah tray minimum, stage
Q_p	: Faktor aerasi
R	: Rasio refluks
R_m	: Rasio refluks minimum
U_f	: Kecepatan massa aerasi, m/s
V_d	: Kelajuan downcomer
ΔP	: Pressure drop, psi
ψ	: Fractional entrainment

7. Pompa

A	: Area alir pipa, in ²
BHP	: Brake Horse Power, HP
D_{opt}	: Diameter optimum pipa, in
f	: Faktor friksi
g	: Percepatan gravitasi ft/s ²
g_c	: Konstanta percepatan gravitas, ft/s ²
H_d, H_s	: Head discharge, suction, ft
H_f	: Total friksi, ft
H_{fc}	: Friksi karena kontraksi tiba-tiba, ft
H_{fe}	: Friksi karena ekspansi tiba-tiba, ft
H_{ff}	: Friksi karena fitting dan valve, ft
H_{fs}	: Friksi pada permukaan pipa, ft
ID	: Diameter dalam, in
K_C, K_E	: Konstanta kompresi, ekspansi, ft
L	: Panjang pipa, m
L_e	: Panjang ekivalen pipa, m
MHP	: Motor Horse Power, HP
NPSH	: Net positive suction head, ft.lbf/lb
N_{RE}	: Bilangan Reynold
OD	: Diameter luar, in

P_{uap}	: Tekanan uap, psi
Q_f	: Laju alir volumetrik, ft ³ /s
V_d	: Discharge velocity, ft/s
V_s	: Suction velocity, ft/s
ϵ	: Equivalent roughness, ft
η	: Efisiensi pompa
μ	: Viskositas, kg/ms
ρ	: Densitas, kg/m ³

8. Reaktor

C_c	: Tebal korosi maksimum, in
C_{AO}	: Konsentrasi awal umpan, kmol/m ³
D_p	: Diameter katalis, m
D_s	: Diameter shell, m
D_T	: Diameter tube, in
F_{AO}	: Laju alir umpan, kmol/jam
H_R	: Tinggi shell reaktor, m
H_T	: Tinggi tube, m
k	: Konstanta kecepatan reaksi, m ³ /kmol.s
N_t	: Jumlah tube, buah
P	: Tekanan operasi, bar
τ	: Waktu tinggal, jam
p_t	: Tube pitch, in
S	: Tegangan kerja yang diizinkan, psi
t	: Tebal dinding reaktor, cm
V_k	: Volume katalis, m ³
V_T	: Volume reaktor, m ³
ρ, ρ_k	: Densitas fluida, katalis, kg/m ³
R	: Konstanta gas ideal, 8,314 kJ/kmol.K
σ_A	: Diameter molekul, cm
M	: Berat molekul, kg/kmol
E_A	: Energi aktivasi, kJ/kmol

V_E	: Volume ellipsoidal, m^3
H_s	: Tinggi silinder, m
h	: Tinggi tutup
H_T	: Tinggi total tanki, m
H_L	: Tinggi liquid, m
H_i	: Tinggi impeller, m
D_i	: Diameter impeller, m
W_b	: Lebar Baffle, m
g	: Lebar baffle pengaduk, m
r	: Panjang blade pengaduk, m
r_b	: Posisi baffle dari dinding tanki, m

9. Tangki

C_c	: Tebal korosi maksimum, in
D	: Diameter tangki, m
E_j	: Efisiensi pengelasan
P	: Tekanan desain, psi
S	: Tegangan kerja diizinkan, psi
t	: Tebal dinding tangki, cm
V	: Volume tangki, m^3
W	: Laju alir massa, kg/jam
ρ	: Densitas

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN NERACA MASSA.....	120
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN NERACA PANAS.....	167
LAMPIRAN 3 SPESIFIKASI PERALATAN.....	250
LAMPIRAN 4 PERHITUNGAN EKONOMI	445
LAMPIRAN 5 TUGAS KHUSUS	455

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1. Pendahuluan

Salah satu upaya meningkatkan pertumbuhan ekonomi di Indonesia pada era globalisasi ini adalah mengembangkan sektor industri. Salah satu sektor industri yang memiliki peranan penting adalah sektor industri kimia yang difokuskan untuk meningkatkan ekspor dan mengurangi impor. Alasan suatu negara melakukan impor adalah karena kebutuhan dan harga yang ditawarkan lebih murah bila dibandingkan produk dalam negeri. Alasan suatu negara melakukan ekspor adalah karena mampu membuka lapangan kerja, memperbesar ekspansi pasar, serta menambah devisa negara. Tentunya hal ini bertujuan untuk menahan penurunan nilai tukar rupiah dan diharapkan industri Indonesia mampu bersaing dengan industri asing sebagai pemenuh kebutuhan internasional dalam pasar internasional

Pada tahun 2011 CJ Group dan Arkema mengumumkan sebuah proyek untuk membangun platform *thiochemicals* dan *bio-methionine* pertama di Asia Tenggara, tepatnya di Malaysia. Proyek ini dibangun dengan kapasitas 50.000 ton untuk merkaptan dan DMDS dan akan terus berkembang. Pada tahun 2014 Evonik Industries kemudian mulai melakukan pembangunan *plant methionine* di Singapura dengan kapasitas 150.000 ton/tahun dan hingga saat ini dalam proses peningkatan kapasitas memenuhi kebutuhan produk *methionine* di negara-negara Asia. Evonik Industries merupakan salah satu pabrik yang memproduksi *methionine* yang berpusat di Jerman (Cordova, 2013). Berdasarkan data statistik yang diperoleh dari comtrade.un.org pada tahun 2021 total impor metil merkaptan di Asia Tenggara sebesar 100.871 ton/tahun, dimana Indonesia mengimpor sebesar 28.393 ton/tahun. Indonesia masih belum memiliki pabrik metil merkaptan hingga saat ini sedangkan di Asia Tenggara sudah ada dengan kapasitas 50.000 ton/tahun di Malaysia namun kapasitas tersebut masih belum bisa mencukupi kebutuhan dalam negeri.

Proses yang digunakan Evonik Industries untuk memproduksi *methionine* adalah proses langsung, dimana metil merkaptan sebagai bahan baku utama yang direaksikan dengan *homoserine*. Agar terpenuhinya kebutuhan bahan baku metil merkaptan maka diperlukan pembangunan pabrik metil merkaptan di Kawasan Asia.

Ketersediaan bahan baku pembuatan metil merkaptan di Indonesia sangat banyak sehingga dapat diperoleh dengan mudah. Hal ini sangat memungkinkan Indonesia untuk membangun pabrik metil merkaptan sebagai bahan baku *methionine*.

Singapura yang tergabung dalam anggota ASEAN akan membuka peluang bagi Indonesia sebagai penyedia bahan baku sesuai dengan kebijakan Masyarakat Ekonomi Asean (MEA). Pembangunan pabrik metil merkaptan akan membuka peluang pasar internasional, meningkatkan lapangan kerja dan diharapkan dapat mempertahankan nilai tukar rupiah. Selain itu, diharapkan pembangunan pabrik ini dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri dan Asia sehingga dapat memperkuat ekspor dan diharapkan Indonesia akan segera melakukan perkembangan untuk memproduksi *methionine* guna pemenuhan kebutuhan pasar internasional.

1.2. Sejarah dan Perkembangan Proses Pembuatan Metil Merkaptan

Metil merkaptan disintesis pertama kali oleh Sabatier pada tahun 1910 dengan menggunakan uap alkohol dan gas hidrogen sulfida dengan bantuan katalis *thoria dioxide* pada temperature 300-380°C. *Amyl alcohol* merupakan alkohol yang digunakan saat itu dengan *yield* yang dihasilkan 70% *iso-amyl mercaptan*. Metil merkaptan kemudian dikembangkan pada tahun 1921 oleh Kramer dengan rasio alkohol dan hidrogen sulfida 1:1 pada temperatur 380°C dan diperoleh *yield* butil merkaptan (BuSH) sebesar 30-50%. Bahan baku yang digunakan adalah metanol dan butanol dengan katalis *thoria dioxide* pada temperatur 370°C dengan *yield* metil merkaptan adalah 41,6% (Cordova, 2013).

Penelitian tentang sintesis metil merkaptan terus mengalami perkembangan dengan berbagai parameter yang digunakan pada penelitian tersebut. Parameter-parameter tersebut seperti pengaruh temperatur, *pressure*, molar rasio, *gas hourly space velocity* (GHVS), katalis dan lain sebagainya. Metode pembuatan metil merkaptan terus mengalami berkembang hingga saat ini hingga mencapai hasil yang efisien dan mempunyai *yield* yang tinggi.

Sintesis metil merkaptan dari karbon monoksida, hidrogen, dan hidrogen sulfida telah diteliti sejak tahun 1980-an oleh Yang Yiquan. Campuran karbon monoksida dan hidrogen dalam berbagai rasio stoikimetri dikenal dengan sintesis gas (*syn gas*) yang diproduksi dengan berbagai metode seperti oksidasi parsial dari hidrokarbon, *steam reforming natural gas*, nafta dan *high vacuum residues* dari

distilasi *crude oil* atau gasifikasi batu bara. Katalis yang digunakan adalah *molybdenum* dan potasium oksida pada temperatur 320°C dan pada tekanan 7-10 bar. Hasil yang diperoleh adalah konversi CO yang tinggi dengan selektivitas metil merkaptan yang tinggi sedangkan selektivitas CO₂ yang rendah. Selain *syngas* dan metanol, metil merkaptan dapat diproduksi dari bahan baku karbon disulfida. *Yield* yang diperoleh sebesar 30-40% dengan menggunakan katalis MoS₂/SiO₂ pada kondisi temperatur 300-400°C (Cordova, 2015).

1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik

Tujuan pendirian pabrik metil merkaptan yaitu untuk memenuhi kebutuhan metil merkaptan dan mengurangi jumlah impor metil merkaptan di Indonesia. Manfaat dari pendirian pabrik metil merkaptan adalah diharapkan Indonesia dapat ikut serta dalam pemenuhan kebutuhan metil merkaptan di Indonesia maupun di dunia dan industri Indonesia mampu bersaing dengan industri asing.

1.4. Sifat Fisik dan Kimia Produk dan Bahan Baku

Sifat fisik dan kimia senyawa dalam proses produksi metil merkaptan.

1.4.1. Bahan Baku

Bahan baku utama pembuatan metil merkaptan adalah hidrogen, hidrogen sulfida dan karbon monoksida. Bahan baku pembuatan metil merkaptan lainnya adalah karbonil sulfida dan nitrogen. Sifat fisika dan kimia masing-masing bahan baku telah disajikan pada Table 1.1. dan Tabel 1.2.

Tabel 1.1. Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku Utama

Parameter	Hidrogen	Hidrogen Sulfida	Karbon Monoksida
Rumus molekul	H ₂	H ₂ S	CO
Berat molekul	2	34	28
Titik didih (°C)	-253	-61	-192
Titik lebur (°C)	-259	-85,6	-205
Titik beku (K)	13,95	187,68	68,15
Temperatur kritis (°C)	-240	373,561	-140
Tekanan kritis (bar)	13,16	89,4	34,99
<i>Specific Gravity</i>	0,07	1,192	1
Fasa pada suhu kamar	Gas	Gas	Gas

(Sumber: *Pubchem*, 2023)

Tabel 1.2. Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku

Parameter	Karbonil Sulfida	Nitrogen
Rumus molekul	COS	N ₂
Berat molekul	60	28
Titik didih (°C)	-50,2	-195,8
Titik lebur (°C)	-138,8	-209,9
Titik beku (K)	104,8	63,15
Temperatur kritis (°C)	61,7	-147,1
Tekanan kritis (bar)	0,00207	33,5
<i>Specific Gravity</i>	0,07	0,967
Fasa pada suhu kamar	Gas	Gas

(Sumber: *Pubchem*, 2023)

1.4.2. Katalis

Katalis yang digunakan pada proses pembuatan metil merkaptan adalah *Potassium molybdate support on zirconia*. Berikut pada Tabel 1.3. telah disajikan sifat fisika dan sifat kimia dari katalis.

Tabel 1.3. Sifat Fisika dan Kimia Katalis

Parameter	Potassium Molybdate
Rumus molekul	K ₂ MoO ₄
Berat fisik (25°C)	padat
Warna	putih
Berat molekul (g/mol)	238,13
Densitas (kg/m ³)	575
Titik didih (°C)	1400
Titik lebur (°C)	919
Diameter katalis	3,2 mm
Bentuk katalis	<i>granular</i>
Bahaya	<i>Irritant</i>

(Sumber: *Pubchem*, 2023)

1.4.3. Produk

Berikut penjelasan tentang sifat fisika dan sifat kimia dari produk utama metil merkaptan dan produk samping air.

Tabel 1.4. Sifat Fisika dan Kimia Produk

Parameter	Metil Merkaptan	Air
Rumus molekul	CH ₃ SH	H ₂ O
Berat molekul	48	18
Titik didih (°C)	5,95	100
Titik lebur (°C)	-123	0
Titik beku (K)	150,18	273,15
Temperatur kritis (°C)	196,8	647,30
Tekanan kritis (bar)	72,35	220.89
<i>Specific Gravity</i>	0,896	1
Fasa pada suhu kamar	Gas	<i>Liquid</i>

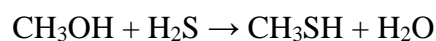
(Sumber: *Coulson & Richardson, 2015*)

1.5. Proses Pembuatan Metil Merkaptan

Proses pembuatan metil merkaptan terbagi menjadi 6, yaitu reaksi metanol dengan hidrogen sulfida, reaksi *syngas* dengan hidrogen sulfida, reaksi metana dengan hidrogen sulfida, reaksi metil klorida dan natrium hidrosulfida, reaksi dimetil sulfida dengan hidrogen sulfida, dan proses hidrogenasi karbon disulfida.

1.5.1. Reaksi Metanol dengan Hidrogen Sulfida

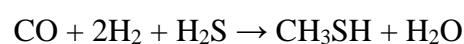
Reaksi pembentukan metil merkaptan dengan mereaksikan metanol dan hidrogen sulfida, sesuai dengan reaksi:



Reaksi ini terjadi di dalam *multi tube reactor* pada temperatur 340-430°C dan tekanan 5-20 bar secara eksotermis. Konversi yang diperoleh sebesar 85% menggunakan katalis AL₂O₃ dan dihasilkan produk samping yaitu dimetil sulfida dan dimetil eter (Cordova, 2013).

1.5.2. Reaksi *Syngas* dengan Hidrogen Sulfida

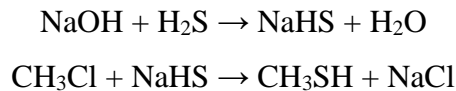
Reaksi pembentukan metil merkaptan dengan mereaksikan *syngas* dan hidrogen sulfida, sesuai dengan reaksi:



Reaksi ini terjadi di dalam *fixed bed reactor* pada temperature 280-320°C dan tekanan 10 bar. Konversi yang diperoleh sebesar 20-45% dengan *yield* 40-45%. Produk samping yang terbentuk adalah karbon dioksida (Cordova, 2013).

1.5.3. Reaksi Metil Klorida dengan Natrium Hidrosulfida

Reaksi pembentukan metil merkaptan dengan mereaksikan metil klorida dan natrium hidrosulfida, sesuai dengan reaksi:



Reaksi ini terjadi pada kondisi temperature 100-250°C dengan tekanan 100-300 psig (Kaufman, 2015)

1.5.4. Reaksi Dimetil Sulfida dengan Hidrogen Sulfida

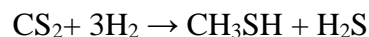
Reaksi pembentukan metil merkaptan dengan mereaksikan dimetil sulfida dan hidrogen sulfida, sesuai dengan reaksi:



Reaksi ini dengan menggunakan katalis *cadmium sulfida/alumina* akan menghasilkan konversi sebesar 60%. Untuk meningkatkan efisien pada proses ini maka dilakukan percobaan dengan beberapa katalis dan optimalisasi parameter proses. Dengan menggunakan katalis *cesium/alumina* diperoleh konversi dimetil sulfida menjadi metil merkaptan sebesar 90% (Kaufmann, 2015)

1.5.5. Proses Hidrogenasi Karbon Disulfida

Reaksi pembentukan metil merkaptan dengan proses hidrogenasi karbon disulfida, sesuai dengan reaksi:



Reaksi ini terjadi pada kondisi temperatur 250-300°C dan tekanan 10-50 atm dengan menggunakan katalis *CoKMoS/SiO₂*. *Yield* produk diperoleh sebesar 30-35%. Reaksi hidrogenasi ini menghasilkan konversi COS lebih dari 90% pada temperature 300-350°C, namun reaksi ini hanya skala lab karena bahan baku karbon disulfida yang harganya mahal (Gutierrez dkk, 2011).

DAFTAR PUSTAKA

- Nimthupharyiha, K. & Usmani, Anies & Grisdanurak, Nurak & Kanchanatip, Ekkachai & Yan, Mi & Suthirakun, Suwit & Tulaphol, Sarttrawut. (2019). Hydrolysis of carbonyl sulfide over modified Al₂O₃ by platinum and barium in a packed-bed reactor. *Chemical Engineering Communications*. 208. 1-10. 10.1080/00986445.2019.1705794.
- Aronu, U. E., Gondal, S., Hessen, E. T., Haug-Warberg, T., Hartono, A., Hoff, K. A., & Svendsen, H. F. (2011). *Solubility of CO₂ in 15, 30, 45 and 60 mass% MEA from 40 to 120 C and model representation using the extended UNIQUAC framework*. *Chemical Engineering Science*, 66(24), 6393-6406
- Badan Pusat Statistik. (2023). Data Ekspor & Impor Methionine di Indonesia. (Online). <https://www.bps.go.id/exim/>. (Diakses pada Tanggal 31 Maret 2023).
- Bank Central Asia. 2023. Suku Bunga Penjaminan. (Online). <https://www.bca.co.id/id/informasi/Suku-Bunga-Dasar-Kredit>. (Diakses pada Tanggal 26 September 2023).
- Brown, G. G. 1950. *Unit Operations*. New Delhi: CBS Publishers & Distributors.
- Brownell, L.E. and Young, E.H. 1979. *Process Equipment Design*. Wiley Eastern Limited: New York.
- Chohey, N.P., 1994, *Handbook of Chemical Engineering Calculations, 2nd Edition*, McGraw-Hill Inc., United States of America.
- Cordova, A. 2013. *Supported Molybdenum and Tungsten Based Catalysts for The Direct Synthesis of Methyl Mercaptan from Syngas*. Thesis. University Lille 1.
- Cordova, A. 2015. *Supported Molybdenum and Tungsten Based Catalysts for The Direct Synthesis of Methyl Mercaptan from Syngas*. Thesis. University Lille 1.
- Couper, J. R., Penney, W. R., James, dan Walas, S. M. 2010. *Chemical Process Equipment Selection and Design Edisi 2*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Coulson, J. M., dan J. F. Richardson. 2015. *Chemical Engineering, 6th Volume, 4th Edition*. Elsevier: Inggris.

- Dean, J. A. (1990). *Lange's Handbook of Chemistry (Standard Thermodynamic Values). Materials and Manufacturing Processes*, 5(4), 687–688.
- Environment Canada. (1985). *Tech Info for Problem Spills: Sodium Sulfate*. 3.
- Evans, J. E., dan Lobo, W. E. 1939. *Heat Transfer in the Radiant Section of Petroleum Heaters*. New York: Kellogg Company.
- Fattimura, M. 2014. *Tinjauan Teoritis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Operasi pada Kolom Distilasi*. Vol. 11(1): 23-31.
- Fremy dkk, 2022. *Process for The Co-Production of Methyl Mercaptan and of Dimethyl Disulfide from Carbon Oxides*. US 2022/0363630 A1
- Fremy dkk, 2020. *Process for The Preparation of Methyl Mercaptan*. US 2020/0331852 A1
- Felder, R. M. dan Rousseau, R. W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Engineering 3rd Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Fogler, H. S. 1999. *Elements of Chemical Reaction Engineering, 3th Edition*. Prentice-Hall, Inc: USA.
- Gerhart, E. 1992. *Fixed Bed Reactors*. Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Vol. B4.
- Google Earth. 2023. (Online). <https://earth.google.com/>. (Diakses pada Tanggal 8 Agustus 2023).
- Gutierrez, O. G., dkk. 2011. *Synthesis of Methyl Mercaptan from Carbonyl Sulfide Over Sulfide*. Journal of Catalysis. Vol. 280, No. 1.
- Haynes, W. M. (2015). *CRC Handbook of Chemistry and Physics. 95th Edition*. CRC Press LLC.
- Ismail, S. 1999. *Alat Industri Kimia*. Inderalaya: Universitas Sriwijaya.
- Kaufmann, C. R. E. 2015. *Alternative Routes to Methyl Mercaptan From C1-Compounds*. Dissertation. Technischen Universitat Munchen.
- Kencana, K. S. (2018). *Proses Produksi Air Demin dari Air Laut untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap Proses Produksi Air Demin dari Air Laut untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan Teknologi Membran Terintegrasi*. December 2017, 0–16.

- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Book, Co.
- Kirk-Othmer. 1983. *Encyclopedia of Chemical Technology Volume 23 Edisi 3*. New York: John Wiley and Sons.
- Kirk-Othmer. 2013. *Encyclopedia of Chemical Technology Volume 2 Edisi 4*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Komariah, L. N., Ramdja, A. F., dan Leonard, N. 2009. *Tinjauan Teoritis Perancangan Kolom Distilasi Untuk Pra-Rencana Pabrik Skala Industri*. Jurnal Teknik Kimia. 4(16): 19-27.
- Krieg, H. M., Modise, S. J., Keizer, K., & Neomagus, H. W. J. P. (2005). Salt rejection in nanofiltration for single and binary salt mixtures in view of sulphate removal. *Desalination*, 171(2), 205–215.
- Larranaga, M. D., Lewis, R. J. S., & Lewis, R. A. (2016). *Hawley's Condensed Chemical Dictionary 16th Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering 3rd Edition*. Oregon: John Wiley and Sons.
- Lewis R.J. Sr. (2007). *Hawley's Condensed Chemical Dictionary 15th Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- Ludwig, E. E. 1999. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Vol. 2, 3rd Edition*. Gulf Publishing Co: Houston.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering 5th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Megyesy, E. F. 2001. *Pressure Vessel Handbook 12th Edition*. Oklahoma: University of Tulsa.
- Peraturan Menteri ESDM No. 10 Tahun 2020 tentang Pemanfaatan Gas Bumi Untuk Pembangkit Listrik.
- Perry, R. H. 2007. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th Edition*. United States of America. The McGraw Hill Companies.
- Perry, R. H. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th Edition*. United States of America. The McGraw Hill Companies.
- Peters, M. S. dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Edisi 4*. Singapore: McGraw Hill.

- Richardson, J. F., Harker, J. H., dan Backhurst, J. R. 2002. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering 5th Edition, Volume 2: Particle Technology & Separation Processes*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Sinnott, R. K. 2005. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering Design 4th Edition, Volume 6. (Hal. 322: Heat Capacities of the Element)*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., dan Abbott, M. M. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition*. Boston: McGraw Hill.
- Sutarto. 2002. *Dasar-Dasar Organisasi*. Indonesia: BPFE Yogyakarta.
- T Polychem Indonesia. 2022. Annual Report 2022. Jakarta: PT Polychem Indonesia.
- The Engineering Toolbox. 2019. Engineering ToolBox. (Online). <https://www.engineeringtoolbox.com/>. (Diakses pada 25 Agustus 2023).
- Treybal, R. E. 1980. *Mass Transfer Operations 3rd Edition*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Ulrich, G. G. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Willey and Sons.
- UN Comtrade. (2023). Free access to detailed global trade data. (Online). <https://comtradeplus.un.org/>. (Diakses pada Tanggal 28 Maret 2023).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1995. Tentang Perseroan Terbatas. (Online). <https://www.bphn.go.id/data/documents/95uu001.pdf>. (Diakses pada Tanggal 20 Januari 2023).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003. Tentang Ketenagakerjaan. (Online). http://www.kemenperin.go.id/kompetensi/UU_13_2003.pdf. (Diakses pada Tanggal 20 Januari 2023).
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Weast R.C. 1979. *Handbook of Chemistry and Physics. 60th ed*. Florida: CRC Press Inc.
- Windholtz M, dan Budavari S. 1976. *The Merck Index. 9th ed*. Merck & Co., Inc.
- Vilbrandt, F., C. dan Dryden, C., E. 1959. *Chemical Engineering Plant Design*.

Newton: Butterworth-Heinemann.

Winkle, V. 1967. *Distillation*. Mc Graw Hill: New York.

Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw Hill
Education.