

**PRARANCANGAN PABRIK PROPILEN OKSIDA DARI *PROPYLENE*  
DAN *OXYGEN* DENGAN KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN**

**(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201))**

**(Skripsi)**

**Oleh:**

**ASHARI ARDIAN AZWAN**

**(1715041031)**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2023**

## ABSTRAK

### PRARANCANGAN PABRIK PROPILLEN OKSIDA DARI *PROPYLENE* DAN *OXYGEN* DENGAN KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN

(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201))

Oleh

**ASHARI ARDIAN AZWAN**

Propilen oksida merupakan zat kimia yang biasa digunakan sebagai bahan dasar dari propilen glikol. Propilen Glikol merupakan bahan yang umum digunakan dalam industri *flexible foam*. Propilen Oksida dapat dihasilkan dari proses oksidasi dengan menggunakan propilen yang direaksikan dengan oksigen. Penyediaan kebutuhan propilen oksida dalam negeri masih sepenuhnya diperoleh dari impor, sehingga peluang untuk didirikanya pabrik propilen oksida memiliki prospek yang bagus. Penyediaan utilitas pabrik berupa sistem pengolahan dan penyediaan air, sistem refrigerasi, serta penyedia udara dan instrumentasi. Kapasitas produksi pabrik propilen oksida direncanakan sebesar 50.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di Serang, Banten. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 161 orang dengan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi lini.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI) = Rp 2.192.058.590.323
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI) = Rp 386.833.868.881
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI) = Rp 2.578.892.459.204
<i>Total Production Cost</i>	(TPC) = Rp 10.884.846.337.879
<i>Break Even Point</i>	(BEP) = 37%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP) = 15%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) <sub>b</sub> = 2,342 tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) <sub>a</sub> = 2,766 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) <sub>b</sub> = 28%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) <sub>a</sub> = 22%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF) = 21,96%

Berdasarkan hasil analisis diatas, maka pendirian pabrik propilen oksida ini layak untuk dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dari sisi ekonomi dan mempunyai prospek yang relatif baik.

## ABSTRACT

### **PROPYLENE OXIDE PLANT DESIGN FROM PROPYLENE AND OXYGEN WITH CAPACITY 50,000 TONS/YEAR (Special Task of Reactor Design (RE-201))**

By

**ASHARI ARDIAN AZWAN**

Propylene oxide is a chemical substance commonly used as a basic ingredient of propylene glycol. Propylene Glycol is a common material used in the flexible foam industry. Propylene Oxide can be produced from the oxidation process using propylene reacted with oxygen. Provision of domestic propylene oxide needs is still fully obtained from imports, so the opportunity to establish a propylene oxide plant has good prospects. Provision of plant utilities in the form of water treatment and supply systems, refrigeration systems, and air and instrumentation providers. The production capacity of the propylene oxide plant is planned at 50,000 tons/year with 330 working days in 1 year. The plant is located in Serang, Banten. The required workforce is 161 people with the form of a Limited Liability Company (PT) with a line organizational structure.

From the economic analysis obtained:

Fixed Capital Investment	(FCI) = Rp 2,192,058,590,323
Working Capital Investment	(WCI) = Rp 386,833,868,881
Total Capital Investment	(TCI) = Rp 2,578,892,459,204
Total Production Cost	(TPC) = Rp 10,884,846,337,879
Break Even Point	(BEP) = 37%
Shut Down Point	(SDP) = 15%
Pay Out Time before taxes	(POT) <sub>b</sub> = 2.342 years
Pay Out Time after taxes	(POT) <sub>a</sub> = 2.766 years
Return on Investment before taxes	(ROI) <sub>b</sub> = 28%
Return on Investment after taxes	(ROI) <sub>a</sub> = 22%
Discounted cash flow	(DCF) = 21,96%

Based on the results of the above analysis, the establishment of this propylene oxide plant is worthy of further study, because it is an economically profitable plant and has relatively good prospects.

**PRARANCANGAN PABRIK PROPILLEN OKSIDA  
DARI *PROPYLENE* DAN *OXYGEN*  
DENGAN KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN  
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201))**

Oleh  
**ASHARI ARDIAN AZWAN  
1715041031**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Jurusan Teknik Kimia  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



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

**2023**

Judul Skripsi

: **PRARANCANGAN PABRIK PROPILEN OKSIDA  
DARI PROPYLENE DAN OXYGEN DENGAN  
KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN (Tugas Khusus  
Perancangan Reaktor (RE-201))**

Nama Mahasiswa

: **Ashari Ardian Agwan**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1715041031

Program Studi

: Teknik Kimia

Fakultas

: Teknik

**MENYETUJUI**

1. **Komisi Pembimbing**

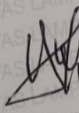
  
**Yuli Darni, S.T., M.T.**

NIP. 197407122000032001

  
**Lia Lismeri, S.T., M.T.**

NIP. 198503122008122004

2. **Ketua Jurusan**

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

NIP. 197407122000032001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Yuli Darni, S.T., M.T.** .....

**Sekretaris : Lia Lismeri, S.T., M.T.** .....

**Penguji**

**Bukan Pembimbing I : Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T.** .....

**Bukan Pembimbing II : Taharuddin, S.T., M.Sc.** .....

**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.** )  
NIP. 197509282001121002

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 8 Desember 2023**

## PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 19 Desember 2023



Ashari Ardian Azwan

NPM. 1715041031

## RIWAYAT HIDUP



**Ashari Ardian Azwan**, penulis laporan ini dilahirkan di Bekasi pada tanggal 30 Mei 1999, putra kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Hariyadi Wijayanta dan Ibu Ayem Takarina.

Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD Mutiara 17 Agustus 2 Kota Bekasi pada tahun 2011, pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 21 Kota Bekasi pada tahun 2014 dan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 10 Kota Bekasi pada tahun 2017.

Pada tahun 2017, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi antara lain sebagai Staf Departemen Kaderisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) Periode 2018, Ketua Himatemia FT Unila Periode 2019.

Pada tahun 2021, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Labuhan Ratu, Kecamatan Labuhan Ratu, Kota Bandar Lampung dan melakukan Kerja Praktik (KP) di PT Avesta *Continental Pack* dengan Tugas Khusus “Analisa Kinerja *Burner* Maxon 442M Kapasitas 840.000 Kcal uap/jam”. Pada tahun 2020, penulis melakukan penelitian dengan judul “Pengolahan Limbah Cair Tahu Menggunakan Komposit Karbon-Bentonite Asal *Spent Bleaching Earth* secara Batch” di Laboratorium Kimia Terapan, Teknk Kimia Universitas Lampung.



# *Motto dan Persembahan*

“Untuk Jadi yang Terbaik, Butuh Pengorbanan Yang Besar”

(Dedy Corbuzier)

“Ketidaktahuan melahirkan ketakutan. Pengetahuan mengusir  
ketakutan itu”

(M.K. Soni)

“Satyameva Jayate”

(Naskah Kuno Mundaka Upanishad)

*Sebuah KaryaKu....*

*Dengan sepenuh hati kupersembahkan tugas akhir ini kepada:*

*Allah SWT*

*Karena kehendak-Nya, semua ini dapat ku peroleh.*

*Atas berkah dan karunia-Nya, aku bisa menyelesaikan karya kecil ini.*

*Atas karunia dan anugerah-Nya, aku bisa bertahan selama ini.*

*Almarhum Bapak dan Ibu,*

*terima kasih atas segalanya, doa, kasih sayang, pengorbanan dan keikhlasannya. Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa dibandingkan dengan pengorbanan dan kasih sayang kalian selama ini. Terimakasih atas segalanya.*

*Mas Adi, Mbak Danti, dan Aslan,*

*terimakasih atas dukungan, doa dan keceriannya selama ini.*

*Sahabat-sahabatku,*

*terimakasih atas dukungan, doa, bantuan dan ketulusannya selama ini.*

*Para pengajar sebagai tanda hormatku,*

*terima kasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini baik itu berupa ilmu keteknikkimiaan maupun ilmu kehidupan yang tentunya sangat berguna dan bermanfaat.*

*Dan tak lupa kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta, semoga kelak berguna dikemudian hari.*

## SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Prarancangan Pabrik Propilen Oksida dari Propilen dan Oksigen dengan Kapasitas 50.000 Ton/Tahun” ini dapat diselesaikan dengan baik.

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

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

1. Keluarga tercinta, Almarhum Bapak, Ibu, Mas Adi, Mbak Danti, dan Aslan serta seluruh keluarga besar atas doa, dukungan, kepercayaan, ketulusan dan semangat yang telah diberikan serta cinta dan kasih sayang yang selalu mengiringi setiap saat.
2. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung juga selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir. Terima kasih juga telah mengajarkan untuk menjadi insan yang lebih literatif dan teliti.
3. Ibu Lia Lismeri. S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
4. Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T. selaku Dosen Peguji I yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir, serta terima kasih telah membimbing kami selama satu tahun dalam penyusunan tugas akhir ini.

5. Bapak Taharuddin, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir, serta terima kasih telah terus mendorong dan memberikan kemudahan untuk menyelesaikan studi di Teknik Kimia Universitas Lampung.
6. Ibu Dr. Lilis Hermida., S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan bimbingan dan motivasi selama masa kuliah.
7. Bapak Ir. Azhar, M.T. selaku Dosen yang membimbing kami dalam satu tahun penyusunan Tugas Akhir ini, terimakasih telah mendidik dan memberikan ilmu yang selama ini diberikan.
8. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
9. Halimatuzzahra, *Partner* dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, terimakasih selalu membantu serta sabar dalam satu tahun penyelesaian Tugas Akhir ini, semoga kedepannya selalu sukses dalam karir dan ilmunya.
10. Agung Khaeru Zaman, Didi Wardoyo, Heri Ramadhan, Alfred Creyna M.T., M. Taufan Kamal, M. Fida Kamil, Agtashah Fahar Andhika, Fikri Muhammad, serta Angkatan 2017 lainnya yang selama enam tahun masa perkuliahan selalu bersama dalam menghadapi susah senangnya kehidupan di Teknik Kimia Universitas Lampung, semoga kedepannya kita selalu sukses dalam karir.
11. Ikhsan Muttaqin dan Nico Afriano dan anak saung lainnya yang selama ini selalu membantu dan memberikan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Rifyal Firdaus, Farel Ghaffar, Irfan Muslim, Rezza Sheva, dan anak korem lainnya yang selama ini membantu dan memberikan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

13. Farras Mursyidan, Remy dan Angkatan 2021 lainnya yang selama ini membantu dan memberikan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
14. Semua pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu.

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

Bandar Lampung, 19 Desember 2023

Penulis,

Ashari Ardian Azwan

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>vii</b>
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>viii</b>
<b>SANWACANA .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xx</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Kegunaan Produk.....	2
1.3 Kapasitas Pabrik.....	3
1.4 Lokasi Pabrik .....	4
<b>BAB II PEMILIHAN PROSES .....</b>	<b>7</b>
2.1 Jenis-Jenis Proses.....	7
2.2 Tinjauan Ekonomi Kasar .....	7
2.3 Tinjauan Termodinamika.....	11
2.4 Uraian Proses .....	17
<b>BAB III SPESIFIKASI BAHAN .....</b>	<b>19</b>
3.1. Bahan Baku .....	19
3.2. Bahan Penunjang .....	20
3.3. Produk.....	21
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN ENERGI .....</b>	<b>22</b>
4.1. Neraca Massa .....	22

4.2. Neraca Energi.....	27
<b>BAB V SPESIFIKASI ALAT.....</b>	<b>30</b>
5.1 Spesifikasi Peralatan Proses.....	30
5.2 Spesifikasi Peralatan Utilitas .....	36
<b>BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....</b>	<b>63</b>
6.1. Unit Pendukung Proses .....	63
6.2. Unit Pengolahan Limbah .....	73
6.3. Laboratorium.....	74
6.4. Instrumentasi dan Pengendalian Proses .....	77
<b>BAB VII TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK.....</b>	<b>79</b>
7.1. Lokasi Pabrik .....	79
7.2. Tata Letak Pabrik.....	82
7.3. Estimasi Area Pabrik.....	84
7.4. Tata Letak Peralatan Proses .....	85
<b>BAB VIII SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI</b>	
<b>PERUSAHAAN .....</b>	<b>89</b>
8.1. Bentuk Perusahaan.....	89
8.2. Struktur Organisasi Perusahaan .....	91
8.3. Tugas dan Wewenang .....	94
8.4. Status Karyawan dan Sistem Penggajian.....	99
8.5. Pembagian Jam Kerja Karyawan .....	100
8.6. Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan.....	102
8.7. Kesejahteraan Karyawan .....	107
<b>BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....</b>	<b>109</b>
9.1. Investasi .....	109
9.2. Evaluasi Ekonomi .....	114
9.4. Angsuran Pinjaman.....	117
9.5. Discounted Cash Flow (DCF).....	117
<b>BAB X SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>119</b>
10.1. Simpulan .....	119
10.2. Saran .....	119

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN A PERHITUNGAN NERACA MASSA**

**LAMPIRAN B PERHITUNGAN NERACA ENERGI**

**LAMPIRAN C SPESIFIKASI ALAT**

**LAMPIRAN D PERHITUNGAN UTILITAS**

**LAMPIRAN E PERHITUNGAN EKONOMI DAN EVALUASI EKONOMI**

**LAMPIRAN F TUGAS KHUSUS PERANCANGAN CONDENSOR (CD-301)**



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 1.1</b> Daftar perusahaan pembuat PO beserta kapasitas produksi .....	1
<b>Tabel 1.2</b> Jumlah impor PO dari tahun 2014-2018 .....	3
<b>Tabel 2.1</b> Harga Bahan Baku dan Produk Proses Oksidasi langsung .....	8
<b>Tabel 2.2</b> Harga Bahan Baku dan Produk Proses Hydrogen peroxide.....	10
<b>Tabel 2.3.</b> Nilai $S_{298}$ dan $\Delta H_f^\circ$ setiap komponen (Yaws, 1999).....	12
<b>Tabel 2.4</b> Konstanta masing-masing komponen (Yaws, 1999).....	13
<b>Tabel 2.5.</b> Nilai $C_{p463}$ dan $S_{463}$ setiap komponen .....	14
<b>Tabel 2.6.</b> Nilai $S_{298}$ dan $\Delta H_f^\circ$ setiap komponen (Yaws, 1999).....	14
<b>Tabel 2.7</b> Konstanta masing-masing komponen (Yaws, 1999).....	15
<b>Tabel 2.8.</b> Nilai $C_{p463}$ dan $S_{463}$ setiap komponen .....	16
<b>Tabel 2.9</b> Perbandingan Proses Pembuatan Propilen Oksida.....	16
<b>Tabel 4.1</b> Total neraca massa CO-101 .....	22
<b>Tabel 4.2</b> Total neraca massa CO-102 .....	22
<b>Tabel 4.3</b> Total neraca massa MX-101.....	23
<b>Tabel 4.4</b> Total neraca massa HE-101 .....	23
<b>Tabel 4.5</b> Total neraca massa RE-201 .....	24
<b>Tabel 4.6</b> Total neraca massa EV-301.....	24
<b>Tabel 4.7</b> Komposisi neraca massa komponen fraksi vapor dan gas .....	25
<b>Tabel 4.8</b> Komposisi neraca massa komponen fraksi liquid .....	25
<b>Tabel 4.9</b> Total neraca massa CD-301 .....	26
<b>Tabel 4.10</b> Total neraca massa purging .....	26
<b>Tabel 4.11</b> Total neraca massa CO-301 .....	27
<b>Tabel 4.12</b> Total neraca energi CO-101 .....	27
<b>Tabel 4.13</b> Total neraca energi CO-102 .....	27
<b>Tabel 4.14</b> Total neraca energi MX-101 .....	28
<b>Tabel 4.15</b> Total neraca energi HE-101 .....	28

<b>Tabel 4.16</b> Total neraca energi RE-201 .....	28
<b>Tabel 4.17</b> Total neraca energi EV-301 .....	29
<b>Tabel 4.18</b> Total neraca energi CD-301 .....	29
<b>Tabel 4.19</b> Total neraca energi CO-301 .....	29
<b>Tabel 5.1</b> Spesifikasi Tangki Propilen (ST-101).....	30
<b>Tabel 5.2</b> Spesifikasi Tangki Oksigen Cair (ST-102) .....	30
<b>Tabel 5.3</b> Spesifikasi Compressor (CO-101).....	31
<b>Tabel 5.4</b> Spesifikasi Compressor (CO-102).....	31
<b>Tabel 5.5</b> Spesifikasi Heater (HE-101) .....	32
<b>Tabel 5.6</b> Spesifikasi Reaktor (RE-201).....	32
<b>Tabel 5.7</b> Spesifikasi Compressor (CO-301).....	33
<b>Tabel 5.8</b> Spesifikasi Condensor (CD-301).....	34
<b>Tabel 5.9</b> Spesifikasi Expander Valve (EV-301) .....	34
<b>Tabel 5.10</b> Spesifikasi Pompa (PP-301).....	35
<b>Tabel 5.11</b> Spesifikasi Storage Tank Propilen Oksida (ST-301) .....	35
<b>Tabel 5.12</b> Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-401).....	36
<b>Tabel 5.13</b> Spesifikasi Gudang Alum (SS-401) .....	36
<b>Tabel 5.14</b> Spesifikasi Gudang NaOH (SS-402).....	37
<b>Tabel 5.15</b> Spesifikasi Gudang Kaporit (SS-403) .....	37
<b>Tabel 5.16</b> Spesifikasi Clarifier (CL-401).....	38
<b>Tabel 5.17</b> Spesifikasi Sand Filter (SF-401) .....	38
<b>Tabel 5.18</b> Spesifikasi Filter Water Tank (FWT-401) .....	39
<b>Tabel 5.19</b> Spesifikasi Tangki Air Domestik (DOWT-401) .....	39
<b>Tabel 5.20</b> Spesifikasi Hydant Water Tank (HT-401) .....	40
<b>Tabel 5.21</b> Spesifikasi Hot Basin (HB-401).....	40
<b>Tabel 5.22</b> Spesifikasi Cooling Tower (CT-401).....	41
<b>Tabel 5.23</b> Spesifikasi Cold Basin (CB-401) .....	41
<b>Tabel 5.24</b> Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (ST-404) .....	42
<b>Tabel 5.25</b> Spesifikasi Tangki Dispersant (ST-405) .....	42
<b>Tabel 5.26</b> Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST-406) .....	43
<b>Tabel 5.27</b> Spesifikasi Cation Exchanger (CE-401).....	44
<b>Tabel 5.28</b> Spesifikasi Anion Exchanger (AE-401).....	44

<b>Tabel 5.29</b> Spesifikasi Tangki Air Demin (DWT-401).....	45
<b>Tabel 5.30</b> Spesifikasi Brine Solution Tank (ST-408) .....	45
<b>Tabel 5.31</b> Spesifikasi Gudang Kalsium Klorida (SS-404) .....	46
<b>Tabel 5.32</b> Spesifikasi Pompa (PU-401) .....	46
<b>Tabel 5.33</b> Spesifikasi Pompa (PU-402) .....	47
<b>Tabel 5.34</b> Spesifikasi Pompa (PU-403) .....	47
<b>Tabel 5.35</b> Spesifikasi Pompa (PU-404) .....	48
<b>Tabel 5.36</b> Spesifikasi Pompa (PU-405) .....	48
<b>Tabel 5.37</b> Spesifikasi Pompa (PU-406) .....	49
<b>Tabel 5.38</b> Spesifikasi Pompa (PU-407) .....	50
<b>Tabel 5.39</b> Spesifikasi Pompa (PU-408) .....	50
<b>Tabel 5.40</b> Spesifikasi Pompa (PU-409) .....	51
<b>Tabel 5.41</b> Spesifikasi Pompa (PU-410) .....	51
<b>Tabel 5.42</b> Spesifikasi Pompa (PU-411) .....	52
<b>Tabel 5.43</b> Spesifikasi Pompa (PU-412) .....	52
<b>Tabel 5.44</b> Spesifikasi Pompa (PU-413) .....	53
<b>Tabel 5.45</b> Spesifikasi Pompa (PU-414) .....	53
<b>Tabel 5.46</b> Spesifikasi Pompa (PU-415) .....	54
<b>Tabel 5.47</b> Spesifikasi Pompa (PU-416) .....	55
<b>Tabel 5.48</b> Spesifikasi Burner (BU-501).....	55
<b>Tabel 5.49</b> Spesifikasi Cyclone (CN-601).....	56
<b>Tabel 5.50</b> Spesifikasi Air Dryer (AD-601) .....	56
<b>Tabel 5.51</b> Spesifikasi Kompresor (CO-601) .....	56
<b>Tabel 5.52</b> Spesifikasi Blower (BU-601) .....	57
<b>Tabel 5.53</b> Spesifikasi Blower (BU-602) .....	57
<b>Tabel 5.54</b> Spesifikasi Blower (BU-603) .....	57
<b>Tabel 5.55</b> Spesifikasi Blower (BU-604) .....	58
<b>Tabel 5.56</b> Spesifikasi Tangki Solar (ST-701).....	58
<b>Tabel 5.57</b> Spesifikasi Generator (GS-701) .....	59
<b>Tabel 5.58</b> Spesifikasi Receiver Tank (RC-801).....	59
<b>Tabel 5.59</b> Spesifikasi Evaporator (EP-801).....	60
<b>Tabel 5.60</b> Spesifikasi Compressor (CO-801).....	61

<b>Tabel 5.61</b> Spesifikasi Condensor (CD-801).....	61
<b>Tabel 5.62</b> Spesifikasi Pompa (PU-801) .....	62
<b>Tabel 6.1</b> Kebutuhan air untuk general uses .....	63
<b>Tabel 6.2</b> Kebutuhan air pendingin .....	64
<b>Tabel 6.3</b> Kebutuhan Air untuk Pengenceran .....	64
<b>Tabel 6.4</b> Kebutuhan air total .....	65
<b>Tabel 6.5</b> Tingkatan kebutuhan informasi dan sistem pengendalian. ....	78
<b>Tabel 7.1</b> Kriteria Pemilihan Lokasi Pabrik .....	79
<b>Tabel 7.2</b> Rincian luas area pabrik .....	84
<b>Tabel 8.1</b> Jadwal Kerja Masing-Masing Regu .....	102
<b>Tabel 8.2</b> Perincian Tingkat Pendidikan .....	102
<b>Tabel 8.3</b> Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses.....	104
<b>Tabel 8.4</b> Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Utilitas.....	105
<b>Tabel 8.5</b> Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	105
<b>Tabel 9.1</b> Fixed Capital Investment .....	109
<b>Tabel 9.2</b> Direct Manufacturing Cost.....	111
<b>Tabel 9.3</b> Fixed Charges.....	111
<b>Tabel 9.4</b> Manufacturing Cost.....	111
<b>Tabel 9.5</b> General Expenses .....	112
<b>Tabel 9.6</b> Biaya Administratif .....	112
<b>Tabel 9.7</b> Minimum acceptable percent return on investment .....	115
<b>Tabel 9.8</b> Acceptable payout time untuk tingkat resiko pabrik.....	115
<b>Tabel 9.9</b> Hasil uji kelayakan ekonomi .....	118

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
<b>Gambar 1.1</b> Kegunaan Propylene Oxide (Sumitomo, 2006).....	2
<b>Gambar 1.2</b> Grafik proyeksi kebutuhan impor PO pada tahun yang akan datang	3
<b>Gambar 6.1</b> Diagram Cooling Water System.....	67
<b>Gambar 7.1</b> Tata Letak Pabrik.....	84
<b>Gambar 7.2</b> Tampak Atas Tata Letak Alat Proses .....	87
<b>Gambar 7.3</b> Lokasi pabrik .....	87
<b>Gambar 7.4</b> Peta Wilayah Provinsi Banten .....	88
<b>Gambar 8.1</b> Struktur Organisasi Perusahaan.....	93
<b>Gambar 9.1</b> Grafik Analisis Ekonomi.....	116
<b>Gambar 9.2</b> Kurva Cumulative Cash Flow .....	117

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sebagai salah satu negara berkembang, Indonesia terus menggalakkan usaha peningkatan taraf hidup masyarakatnya melalui pembangunan di segala aspek, salah satunya adalah industri. Salah satu upaya peningkatan sektor industri adalah dengan cara memenuhi kebutuhan bahan-bahan industri melalui pendirian pabrik-pabrik kimia dalam negeri yang nantinya diharapkan mampu menembus pasar ekspor internasional. Akan tetapi, saat ini Indonesia masih banyak mengimpor bahan baku atau produk industri kimia dari luar negeri salah satunya adalah propilen oksida. Adapun Tabel 1.1 menampilkan data perusahaan yang memproduksi PO di seluruh dunia.

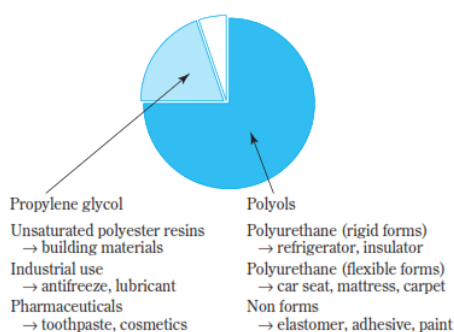
**Tabel 1.1** Daftar perusahaan pembuat PO beserta kapasitas produksi

Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
Zhangdian Petrochem	Shandong, Cina	10.000
Manali Petrochem	Baroda, India	12.000
Mitsui Toatsu	Nagoya, Jepang	36.000
Dow Chemical	Freeport, Texas	1.400.000
Dow Chemical	Plaquimine, LA	695.000
Huntsman	Port Neches, Texas	525.000
Lyondell	Bayport, Texas	1.200.000
Lyondell	Channelview, Texas	1.160.000

(Sumber : Ullman, 2004)

Propilen oksida merupakan salah satu produk intermediet yang digunakan untuk memproduksi *polyurethane*, *polyether polyols*, *propylene glycol*, *glycol ethers*, dan beberapa produk lain. Kebutuhan propilen oksida di Indonesia dari tahun ke tahun cenderung berubah-ubah dengan jumlahnya yang naik turun sesuai kebutuhan pabrik di Indonesia yang menggunakan produk tersebut.

Pada Gambar 1.1 ditampilkan sekitar 75% penggunaan dari Propilen Oksida diperuntukan sebagai *polyols polyurethane* dan 17% sebagai *propylene glycol*.



**Gambar 1.1** Kegunaan *Propylene Oxide* (Sumitomo, 2006).

Propilen oksida ( $C_3H_6O$ ) adalah senyawa kimia dengan ciri fisik berupa cairan bening, memiliki titik didih rendah dan mudah bereaksi dengan senyawa anorganik lain. Propilen oksida saat ini adalah salah satu bahan penting pada industri kimia terutama untuk memproduksi *polyurethane* dan pelarut kimia.

Pada tahun 2014, impor propilen oksida di Indonesia mencapai 18.389,47 ton. Angka ini terus meningkat sampai 27.160,46 ton di tahun 2018 yang seluruhnya diperoleh dari impor beberapa negara seperti, Cina, India, Jepang dan Amerika. Dengan bahan baku pembuatan propilen oksida yang tidak sulit didapatkan di Indonesia dan memperhatikan kebutuhan dalam negeri dan kegunaannya, maka pabrik pembuatan propilen oksida ini sangat potensial didirikan di Indonesia.

## 1.2 Kegunaan Produk

Kegunaan propilen oksida ini sangat banyak diantaranya sebagai bahan baku industri pembuatan polyurethane. Polyurethane digunakan untuk membuat flexible foam, dimana flexible foam digunakan pada barang-barang seperti jok mobil, alas sepatu dan peralatan rumah tangga. Selain itu propilen oksida digunakan untuk

membuat monopropylene glycol (MPG). MPG dapat digunakan untuk membangun panel perumahan, pipa, tangki, pendingin dan anti *freeze*. Propilen oksida juga dapat digunakan sebagai bahan baku industri propylene glycol, glycol ethers, dan beberapa produk lain.

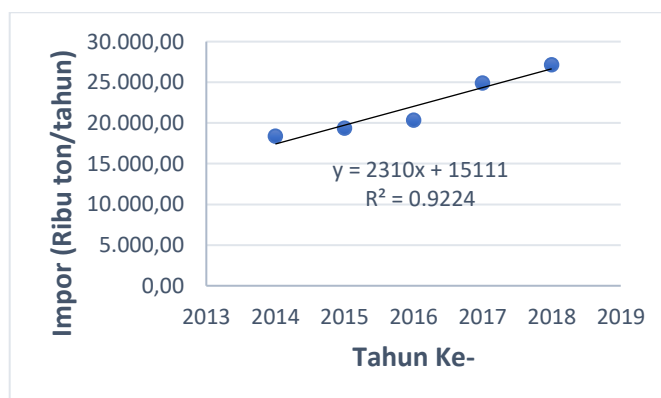
### 1.3 Kapasitas Pabrik

Kebutuhan akan impor propilen oksida diperkirakan akan selalu meningkat meskipun tidak terlalu signifikan seiring dengan meningkatnya laju pertumbuhan penduduk. Pada Tabel 1.2 dibawah ini di tampilkan data impor propilen oksida yang diperoleh dari United Nations Statistics Division.

**Tabel 1.2** Jumlah impor PO dari tahun 2014-2018

Tahun	Tahun Ke-	Jumlah Impor <i>Propylene Oxide</i> (ton/tahun)
2014	1	18.389,47
2015	2	19.369,50
2016	3	20.357,08
2017	4	24.927,67
2018	5	27.160,46

(Sumber : United Nations Statistics Division, 2019)



**Gambar 1.2** Grafik proyeksi kebutuhan impor PO pada tahun yang akan datang



Berdasarkan Gambar 1.2 didapatkan persamaan  $y = 2310x + 15.111$  dimana  $x$  menunjukkan tahun ke- dan  $y$  menunjukkan kapasitas impor dalam ton/tahun. Kemudian dengan persamaan tersebut diperkirakan pada tahun 2027 kebutuhan propilen oksida di Indonesia sebesar 47.451 ton.

Sehingga diharapkan dengan pendirian pabrik propilen oksida dapat mengurangi impor Indonesia dan memenuhi kebutuhan propilen oksida di Indonesia, maka dalam perancangan pabrik propilen oksida ini dipilih kapasitas 50.000 ton/tahun, dimana 50% digunakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan sisanya sebesar 50% akan diekspor ke negara – negara pengimpor propilen oksida seperti negara – negara ASEAN.

#### **1.4 Lokasi Pabrik**

Pemilihan dan penentuan lokasi pabrik sangat menentukan kemajuan pabrik tersebut, baik saat berproduksi maupun di masa yang akan datang. Karena propilen oksida merupakan komoditas umum yang harus bisa dengan mudah dijangkau pasar. Oleh karena itu, pemilihan lokasi pabrik harus mempertimbangkan biaya produksi, biaya distribusi yang minimum serta akses yang dekat dengan industri-industri pengguna PO. Sehingga, akan diperoleh profit yang maksimal dan keamanan yang terjamin.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik, yaitu:

1. Ketersediaan bahan baku dan utilitas
2. Keadaan iklim dan letak geografis
3. Transportasi dan pemasaran
4. Ketersediaan tenaga kerja
5. Buangan industri dan faktor pendukung lainnya.

Berdasarkan pertimbangan diatas, lokasi pabrik sangat mempengaruhi kemajuan dan kelangsungan dari suatu industri. Lokasi pabrik akan berpengaruh secara langsung terhadap kelangsungan hidup pabrik yang ikut menentukan keberhasilan dan kelancaran proses produksi. Pabrik propilen oksida dengan kapasitas 50.000 ton/tahun ini direncanakan berlokasi di Kecamatan Bojonegara, Kabupaten Serang, Provinsi Banten.

Penentuan lokasi pabrik yang tepat dapat menekan biaya produksi dan dapat memberikan keuntungan-keuntungan lain. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam penentuan lokasi pabrik, antara lain :

### **1. Ketersediaan Bahan Baku**

Bahan baku yang digunakan adalah propilen diperoleh dari PT Chandra Asri Petrochemical Cilegon, O<sub>2</sub> di peroleh dari PT. Samator Indo gas, Jakarta. Katalis Ag/WO<sub>3</sub> diperoleh dari Uhde, Jerman. Lokasi pabrik di Cilegon ini sangat tepat, mengingat sumber bahan baku utama yaitu propilen dapat dengan mudah diperoleh, karena PT. Chandra Asri Petrochemical berada di Cilegon, Banten.

### **2. Ketersediaan Utilitas**

Fasilitas yang terdiri dari penyediaan air, bahan bakar dan listrik mengharuskan lokasi pabrik dekat dengan sumber tersebut. Banten juga memiliki beberapa sumber air yang dapat digunakan untuk keperluan air pabrik, seperti Sungai Ciujung. Kebutuhan bahan bakar dapat diperoleh dari PT. Pertamina RU-VI Balongan dan kebutuhan akan listrik didapat dari PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara).

### **3. Transportasi**

Sarana angkutan dan transportasi dari dan ke lokasi pabrik merupakan faktor yang penting karena berhubungan dengan pengiriman bahan baku, pengadaan peralatan, serta pengiriman produk. Lokasi pabrik berdekatan dengan ketersediaan bahan baku dan juga dekat dengan industri kimia lainnya, seperti PT. Nippon Paint. Pabrik yang menggunakan bahan baku propilen oksida adalah PT Urecel Indonesia di Tangerang, Banten sebagai produsen *flexible foam* dengan kapasitas 70.000 ton per tahun dan PT. Kalbe Farma sehingga transportasi untuk mengirim bahan baku ke pabrik dan transportasi untuk pengiriman produk ke seluruh konsumen utama dapat menggunakan transportasi darat (truk).

#### **4. Analisa Pasar**

Hasil produk Propilen Oksida digunakan terutama untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan juga memungkinkan untuk diekspor. Konsumen utama Pabrik yang menggunakan bahan baku propilen oksida adalah PT Urecel Indonesia di Tangerang, Banten sebagai produsen flexible foam dengan kapasitas 70.000 ton per tahun dan Industri Farmasi Kalbe Farma.

#### **5. Tenaga Kerja**

Daerah Banten merupakan daerah yang memiliki banyak industri, tenaga kerja dapat diperoleh dari penduduk yang bertempat tinggal disekitar pabrik sehingga dapat memperluas lapangan kerja dan mengurangi pengangguran. Tenaga kerja yang terampil mutlak diperlukan untuk menjalankan mesin-mesin produksi dan tenaga kerja dapat direkrut dari daerah Cilegon, Serang, Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah dan sekitarnya.

#### **6. Iklim dan kondisi tanah di daerah yang bersangkutan**

Iklim yang terdapat pada lokasi pabrik juga akan mempengaruhi aktivitas dan proses yang ada. Jika iklim terlalu panas akan mengakibatkan pendingin yang diperlukan lebih banyak, sedangkan iklim yang terlalu dingin atau lembab akan mengakibatkan bertambahnya biaya konstruksi pabrik karena diperlukan biaya perlindungan khusus terhadap alat-alat proses. Bojonegara merupakan daerah yang memiliki iklim kering dengan curah hujan tinggi, serta memiliki suhu relatif panas.

#### **7. Perizinan**

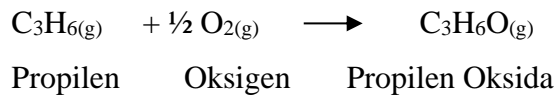
Lokasi pabrik dipilih pada daerah khusus untuk kawasan industri, sehingga memudahkan dalam perijinan pendirian pabrik.

## II. PEMILIHAN DAN URAIAN PROSES

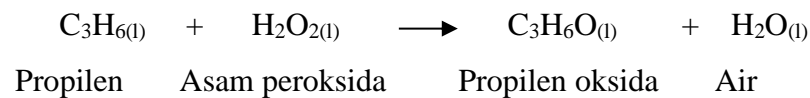
### 2.1. Jenis-jenis Proses

Propilen oksida pertama kali dibuat secara komersial pada tahun 1861 oleh Oser (Kirk Othmer, 1990). Ada dua jenis proses pembuatan propilen oksida yaitu proses oksidasi langsung dan proses *hydrogen peroxide to propylene oxide*.

Pada proses pertama, propilen oksida dibuat melalui propilen dioksidasi langsung dengan oksigen untuk membentuk propilen oksida, reaksi berlangsung dalam fase gas dengan suhu 350°C dan tekanan 30 atm dengan konversi 36%. Reaksi berlangsung didalam reaktor *fix bed* dan reaksi berlangsung secara eksotermis (Kirk Orthmer, 1999).



Pada proses kedua propilen oksida dibuat melalui dengan cara mereaksikan propilen dengan asam peroksida menjadi propilen oksida dan hasil samping berupa air.



Reaksi berlangsung pada tekanan 29,6 atm dan suhu 50°C serta konversi terhadap asam peroksida mencapai 96%. Reaksi berlangsung didalam reaktor FBR (*fix bed reactor*) dan reaksi berlangsung secara eksotermis.

### 2.2. Tinjauan Ekonomi Kasar

Tinjauan ekonomi kasar dilakukan untuk membandingkan proses a dengan proses b. Beberapa hal yang dihitung dalam tinjauan ekonomi kasar adalah:

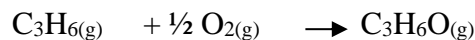
### 2.2.1. Proses A (Oksidasi Langsung)

Pada proses A, propilen oksida dibuat melalui proses oksidasi langsung dengan menggunakan oksigen. Tabel 2.1 menunjukkan harga bahan baku dan produk dari bahan-bahan kimia yang terlibat dalam proses oksidasi langsung. Konversi reaksi *overall* pembentukan propilen oksida dari oksidasi langsung propilen dengan oksigen adalah 36%, dan waktu operasi pabrik adalah 24 jam dan 330 hari dalam satu tahun.

**Tabel 2.1** Harga Bahan Baku dan Produk Proses Oksidasi langsung

No	Komponen	Harga (Rp/Kg)
1	Propilen (PT. Chandra Asri)	17.000
2	Oksigen (PT. Samator)	8.000
3	Propilen Oksida	40.000

Reaksi pembentukan propilen oksida dengan proses oksidasi langsung:



Jika pada reaksi tersebut, massa  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  yang terbentuk sebanyak 1 kg, maka :

$$\text{Mol } \text{C}_3\text{H}_6\text{O} = \frac{\text{massa } \text{C}_3\text{H}_6\text{O}}{\text{BM } \text{C}_3\text{H}_6\text{O}} = \frac{1 \text{ kg}}{58 \text{ kg/mol}} = 0,0172 \text{ kmol}$$

Berdasarkan perbandingan stoikiometri, maka untuk reaksi diatas:

$$\begin{aligned} \text{Mol } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ yang bereaksi} &= \text{C}_3\text{H}_6\text{O mol yang terbentuk} \\ &= 0,0172 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\text{Konversi} = \frac{\text{mol } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ yang bereaksi}}{\text{mol } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ mula-mula}}$$

$$36\% = \frac{0,0172 \text{ kmol}}{\text{mol } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ mula-mula}}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ mula-mula} &= \frac{0,0172 \text{ kmol}}{0,36} \\ &= 0,047 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ mula-mula} &= \text{mol } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ mula-mula} \times \text{BM } \text{C}_3\text{H}_6 \\ &= 0,047 \text{ kmol} \times 42 \text{ kg/kmol} \\ &= 1,374 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Mol } \text{O}_2 \text{ mula-mula} = \frac{1}{2} \text{ mol } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ yang mula-mula}$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,047 \text{ kmol}$$

$$= 0,0235 \text{ kmol}$$

$$\text{Massa O}_2 \text{ mula-mula} = \text{mol O}_2 \text{ mula-mula} \times \text{BM O}_2$$

$$= 0,0235 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol}$$

$$= 0,752 \text{ kg}$$

$$\text{Harga bahan baku pembuatan propilen oksida proses oksidasi langsung}$$

$$= \text{Harga kebutuhan C}_3\text{H}_6 + \text{harga kebutuhan O}_2$$

$$= (\text{Rp } 17.000/\text{kg} \times 1,374 \text{ kg}) + (\text{Rp } 8.000/\text{kg} \times 0,752 \text{ kg})$$

$$= \text{Rp } 23.358 + \text{Rp } 6.016$$

$$= \text{Rp } 29.374$$

$$\text{Harga produk C}_3\text{H}_6\text{O} = \text{Rp } 40.000$$

$$\text{Profit / keuntungan} = \text{harga produk} - \text{harga bahan baku}$$

$$= \text{Rp } 40.000 - \text{Rp } 29.374$$

$$= \text{Rp } 10.626 \times \text{kapasitas produksi}$$

$$= \text{Rp } 10,626/\text{kg} \times 50.000.000 \text{ kg/tahun}$$

$$= \text{Rp } 531.300.000.000/\text{tahun}$$

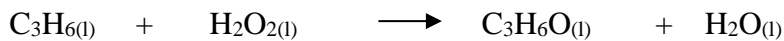
### 2.2.2. Proses B (*Hydrogen peroxide to propylene oxide*)

Pada proses B, propilen oksida dibuat melalui proses *hydrogen peroxide* dengan mereaksikan propilen dan asam peroksida. Tabel 2.2 menunjukkan harga bahan-bahan kimia yang terlibat dalam proses HPPO (*hydrogen peroxide to propylene oxide*). Konversi reaksi *overall* pembentukan propilen oksida dari propilen dengan asam peroksida adalah 96%, dan waktu operasi pabrik adalah 24 jam dan 330 hari dalam satu tahun.

**Tabel 2.2** Harga Bahan Baku dan Produk Proses *Hydrogen peroxide*

No	Komponen	Harga (Rp/Kg)
1	Asam Peroksida (PT. Peroksida Indonesia Pratama)	20.000
2	Propilen (PT. Chandra Asri)	17.000
3	Propilen Oksida	40.000
4	Metanol (PT. Kaltim Methanol Indonesia)	15.000

Reaksi pembentukan propilen oksida adalah:



Jika pada reaksi tersebut, massa  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  yang terbentuk sebanyak 1 kg, maka:

$$\text{Mol } \text{C}_3\text{H}_6\text{O} = \frac{\text{massa } \text{C}_3\text{H}_6\text{O}}{\text{BM } \text{C}_3\text{H}_6\text{O}} = \frac{1 \text{ kg}}{58 \text{ kg/mol}} = 0,0172 \text{ kmol}$$

Berdasarkan perbandingan stoikiometri, maka untuk reaksi tersebut:

$$\begin{aligned} \text{Mol } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ yang bereaksi} &= \text{mol } \text{C}_3\text{H}_6\text{O} \text{ yang terbentuk} \\ &= 0,0172 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\text{Konversi} = \frac{\text{mol } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ yang bereaksi}}{\text{mol } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ mula-mula}}$$

$$96\% = \frac{0,0172 \text{ kmol}}{\text{mol } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ mula-mula}}$$

$$\text{Mol } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ mula-mula} = \frac{0,0172 \text{ kmol}}{0,96}$$

$$= 0,0184 \text{ kmol}$$

$$\text{Massa } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ mula-mula} = \text{mol } \text{C}_3\text{H}_6 \text{ mula-mula} \times \text{BM } \text{C}_3\text{H}_6$$

$$= 0,0184 \text{ kmol} \times 42 \text{ kg/kmol}$$

$$= 0,9728 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol H}_2\text{O}_2 \text{ mula-mula} &= \text{mol C}_3\text{H}_6 \text{ yang mula-mula} \\ &= 0,0184 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa H}_2\text{O}_2 \text{ mula-mula} &= \text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mula-mula} \times \text{BM H}_2\text{O}_2 \\ &= 0,0184 \text{ kmol} \times 34 \text{ kg/mol} \\ &= 0,626 \text{ kg} \end{aligned}$$

Harga bahan baku pembuatan propilen oksida proses asam peroksida

$$\begin{aligned} &= \text{Harga kebutuhan propilen} + \text{harga kebutuhan asam peroksida} \\ &= (\text{Rp } 17.000/\text{kg} \times 0,9728 \text{ kg}) + (\text{Rp } 20.000 /\text{kg} \times 0,626 \text{ kg}) \\ &= \text{Rp } 16.537,6 + \text{Rp } 12.520 \\ &= \text{Rp } 29.057 \end{aligned}$$

Harga produk  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$

$$\begin{aligned} &= (\text{Rp } 40.000/\text{kg} \times 1 \text{ kg}) \\ &= \text{Rp } 40.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Profit / keuntungan} &= \text{harga produk} - \text{harga bahan baku} \\ &= \text{Rp } 40.000 - \text{Rp } 29.057 \\ &= \text{Rp } 10.943 \times \text{kapasitas produksi} \\ &= \text{Rp } 10,943 /\text{kg} \times 50.000.000 \text{ kg/tahun} \\ &= \text{Rp } 547.150.000.000 /\text{tahun} \end{aligned}$$

### 2.3. Tinjauan Termodinamika

Pemilihan proses berdasarkan kelayakan termodinamika dapat dilihat dari nilai perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) dan perubahan *gibbs free energy* ( $\Delta G$ ). Pada sebuah proses kimia perlu diketahui bagaimana kondisi panas reaksi untuk sebuah proses berjalan dengan optimal sehingga diketahui apakah proses berjalan membutuhkan panas atau menghasilkan panas sebagai dasar dalam mendesain reaktor (Smith *et al.*, 2001).



Proses dengan sistem tertutup, bertekanan konstan dan *reversible* secara mekanis, aliran stabil dimana nilai energi potensial dan energi kinetik diabaikan dan kerja sama dengan nol maka panas reaksi sama dengan perubahan entalpi sistem ( $\Delta H$ ).  $\Delta H$  negatif menunjukkan reaksi eksotermis, konstanta kesetimbangan berkurang dan temperatur meningkat, sebaliknya  $\Delta H$  positif menunjukkan reaksi endotermis (Smith *et al.*, 2001).

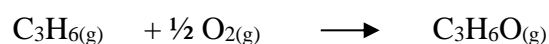
Panas reaksi standar didefinisikan sebagai perubahan entalpi ketika sejumlah reaktan pada keadaan temperatur standarnya bereaksi membentuk produk dalam keadaan temperatur standarnya (Smith *et al.*, 2001).

Nilai perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) negatif menunjukkan reaksi berjalan secara eksotermis sedangkan nilai perubahan entalpi positif menunjukkan reaksi endotermis (Coulson *et al.*, 2002).

Sebuah reaksi kimia pada suhu dan tekanan tertentu berlangsung pada penurunan nilai *gibbs free energy*. Reaksi kimia berhenti dan berada pada kesetimbangan kimia ketika nilai *gibbs free energy* mencapai nilai minimum sedangkan reaksi kimia tidak dapat berlangsung ketika nilai *gibbs free energy* meningkat.

$\Delta G$  atau perubahan *Gibbs free energy* yang mengidentifikasi apakah sebuah proses berjalan secara spontan ( $\Delta G < 0$ ), pada kesetimbangan ( $\Delta G = 0$ ) atau proses tidak dapat dilanjutkan ( $\Delta G > 0$ ) (Lee, 2000). Sehingga, perlu diperhatikan nilai  $\Delta G$  untuk memilih proses mana yang lebih menguntungkan secara termodinamik. Nilai  $\Delta H$  dan  $\Delta G$  reaksi dari kedua proses dapat dihitung sebagai berikut:

### 2.3.1. Proses Oksidasi Langsung



**Tabel 2.3.** Nilai  $S_{298}$  dan  $\Delta H_f^\circ$  setiap komponen (Yaws, 1999)

Komponen	$S_{298}$ (J/mol.K)	Harga $\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)
Propilen ( $\text{C}_3\text{H}_6$ )	266,71	19,7
Oksigen ( $\text{O}_2$ )	205,2	-
Propilen Oksida ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ )	287,15	-92,76

$$\Delta H^{\circ} = \sum_i v_i \cdot \Delta H^{\circ} f_i \quad (\text{Smith et al., 2001})$$

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ} &= (\Delta H^{\circ}_f \text{C}_3\text{H}_6\text{O}) - (\Delta H^{\circ}_f \text{C}_3\text{H}_6 + \Delta H^{\circ}_f \text{O}_2) \\ &= (-92,76) - (19,7 + (0)) \\ &= -112,46 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui kondisi termodinamika disuhu reaksi 350°C, maka digunakan perhitungan sebagai berikut.

$$\Delta H = \Delta H^{\circ} + R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT \quad (\text{Smith et al., 2001})$$

$$\int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT (T-T_o) + \frac{\Delta B}{2} (T^2-T_o^2) + \frac{\Delta C}{3} (T^3-T_o^3) + \frac{\Delta D}{4} (T^4-T_o^4)$$

**Tabel 2.4** Konstanta masing-masing komponen (Yaws, 1999)

Komponen	A	B	C	D
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (g)	31,298	0,072449	1,95E-04	-2,16E-07
O <sub>2</sub> (g)	29,526	-0,008900	3,81E-05	-3,26E-08
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O(g)	53,347	0,515430	-1,80E-03	2,78E-09
Total	114,171	0,578979	-1,573E-03	-2,46E-07

$$\int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = (-114,171)(623-298) + \left(\frac{0,578979}{2}\right)(623^2-298^2) + \left(\frac{-1,573}{3}\right)(10^{-3})$$

$$(623^3-298^3) + \left(\frac{-2,46}{4}\right)(10^{-7})(623^4-298^4)$$

$$= 2.059,1261 \text{ J/mol}$$

$$= 2,0591261 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{623} = -112,46 + (8,314 \times 2,0591261) \text{ kJ/mol}$$

$$= -95,34043 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (\text{Chang, 2004})$$

$$\Delta G_{623} = \Delta H_{623} - T\Delta S_{623}$$

$$S_2 = S_1 + C_p \ln \frac{T_1}{T_2} \quad (\text{Chang, 2004})$$

$$S_{623} = S_{298} + C_p \ln \frac{T_1}{T_2}$$

$$C_p = A + B \cdot T + C \cdot T^2 \quad (\text{Yaws, 1999})$$

Dengan data konstanta kapasitas panas pada Tabel 2.5 maka  $C_{p463}$  dan  $S_{463}$  dapat dihitung dan didapatkan hasil sebagai berikut.

**Tabel 2.5.** Nilai  $C_{p463}$  dan  $S_{463}$  setiap komponen

Komponen	$C_{p623}$ (J.mol.K)	$S_{623}$ (J/mol.K)
$C_3H_6$ (g)	99,89	193,05
$O_2$ (g)	29,45	183,48
$C_3H_6O$ (g)	53,35	247,81

Sehingga,  $\Delta S = \sum v_i.S(\text{produk}) - \sum v_i.S(\text{reaktan})$  (Chang, 2004)

$$\begin{aligned}\Delta S_{623} &= (\Delta S C_3H_6O) - (\Delta S C_3H_6 + \Delta S O_2) \\ &= (247,81) - (193,05 + 183,48) \\ &= -128,72 \text{ J/mol.K} \\ &= -0,128 \text{ kJ/mol.K}\end{aligned}$$

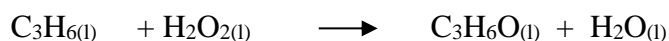
$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$  (Chang, 2004)

$$\begin{aligned}\Delta G_{623} &= -95,34043 \text{ kJ/mol} - 623 \text{ K} \times (-0,128 \text{ kJ/mol.K}) \\ &= -15,15 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Jadi, pada proses langsung menggunakan oksigen  $\Delta H_{623} = -95,34043 \text{ kJ/mol}$  dan

$$\Delta G_{323} = -15,15 \text{ kJ/mol} \text{ dengan reaksi eksotermis.}$$

### 2.3.2. Proses *Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide*



**Tabel 2.6.** Nilai  $S_{298}$  dan  $\Delta H_f^\circ$  setiap komponen (Yaws, 1999)

Komponen	$S_{298}$ (J/mol.K)	Harga $\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)
Propilen ( $C_3H_6$ )	266,71	19,7
Hidrogen Peroksida ( $H_2O_2$ )	232,95	-187,341
Propilen Oksida ( $C_3H_6O$ )	287,15	-92,76
Air ( $H_2O$ )	186,94	-241,8

$$\Delta H^\circ = \sum_i v_i \cdot \Delta H_f^\circ i \quad (\text{Smith } et \text{ al.}, 2001)$$

$$\Delta H^\circ = (\Delta H_f^\circ C_3H_6O + \Delta H_f^\circ H_2O) - (\Delta H_f^\circ C_3H_6 + \Delta H_f^\circ H_2O_2)$$

$$= (-92,76 + (-241,8)) - (19,7 + (-187,341))$$

$$= -166,919 \text{ kJ/mol}$$

Untuk mengetahui kondisi termodinamika disuhu reaksi 50°C, maka digunakan perhitungan sebagai berikut.

$$\Delta H = \Delta H^o + R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT \quad (\text{Smith et al., 2001})$$

$$\int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT (T-T_o) + \frac{\Delta B}{2} (T^2-T_o^2) + \frac{\Delta C}{3} (T^3-T_o^3) + \frac{\Delta D}{4} (T^4-T_o^4)$$

**Tabel 2.7** Konstanta masing-masing komponen (Yaws, 1999)

Komponen	A	B	C	D
C <sub>3</sub> H <sub>6(l)</sub>	31,298	0,072449	1,95E-04	-2,16E-07
H <sub>2</sub> O <sub>2(l)</sub>	12,574	0,98386	-2,74E-03	3,05E-06
C <sub>3</sub> H <sub>6O(l)</sub>	53,347	0,515430	-1,80E-03	2,78E-09
H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>	-18,944	1,0971	-2,89E-03	2,93E-06
Total	78,275	2,668839	-7,24E-03	5,76E-06

$$\int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = (78,275)(323-298) + \left(\frac{2,668839}{2}\right)(323^2-298^2) + \left(\frac{-7,24}{3}\right)(10^{-3})$$

$$(323^3-298^3) + \left(\frac{5,76}{4}\right)(10^{-6})(323^4-298^4)$$

$$= 9.548,876815 \text{ J/mol}$$

$$= 9,548 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{323} = -166,919 + (8,314 \times 9,548) \text{ kJ/mol}$$

$$= -87,529 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (\text{Chang, 2004})$$

$$\Delta G_{323} = \Delta H_{323} - T\Delta S_{323}$$

$$S_2 = S_1 + C_p \ln \frac{T_1}{T_2} \quad (\text{Chang, 2004})$$

$$S_{323} = S_{298} + C_p \ln \frac{T_1}{T_2}$$

$$C_p = A + B.T + C.T^2 \quad (\text{Yaws, 1999})$$

Dengan data konstanta kapasitas panas pada Tabel 2.6 maka Cp<sub>463</sub> dan S<sub>463</sub> dapat dihitung dan didapatkan hasil sebagai berikut.

**Tabel 2.8.** Nilai  $C_{p463}$  dan  $S_{463}$  setiap komponen

Komponen	$C_{p323}$ (J.mol.K)	$S_{323}$ (J/mol.K)
$C_3H_6$	67,76	261,25
$H_2O_2$	147,28	221,09
$C_3H_6O$	32,13	284,56
$H_2O$	132,64	176,25

Sehingga,  $\Delta S = \sum v_i.S(\text{produk}) - \sum v_i.S(\text{reaktan})$  (Chang, 2004)

$$\begin{aligned}\Delta S_{323} &= (\Delta S C_3H_6O + \Delta S H_2O) - (\Delta S C_3H_6 + \Delta S H_2O_2) \\ &= (284,56 + 176,25) - (261,25 + 221,09) \\ &= -21,52 \text{ J/mol.K} \\ &= -0,021 \text{ kJ/mol.K}\end{aligned}$$

$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$  (Chang, 2004)

$$\begin{aligned}\Delta G_{323} &= -87,529 \text{ kJ/mol} - 323 \text{ K} \times (-0,021 \text{ kJ/mol.K}) \\ &= -80,58 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Jadi, pada proses asam peroksida  $\Delta H_{323} = -87,529 \text{ kJ/mol}$  dan  $\Delta G_{323} = -80,58 \text{ kJ/mol}$  dengan reaksi eksotermis.

**Tabel 2.9** Perbandingan Proses Pembuatan Propilen Oksida

Kriteria	Proses	
	Proses Oksidasi langsung	Proses HPPO
Bahan Baku	Propilen, oksigen	Propilen, Asam peroksida
Suhu ( $^{\circ}C$ )	350	50
Tekanan (atm)	30	29,6
Konversi (%)	36	96
$\Delta H^{\circ}r$ (kJ/mol)	-95,34	-87,529
$\Delta G^{\circ}r$ (kJ/mol)	-15,15	-80,58
Keuntungan	Rp 531.300.000.000 /Thn	Rp 547.150.000.000 /Thn

Dikarenakan asam peroksida ( $H_2O_2$ ) merupakan asam kuat yang bersifat sangat reaktif dan dapat mencemari lingkungan sehingga pembuatan propilen oksida menggunakan proses oksidasi langsung dengan oksigen.

## 2.4. Uraian Proses

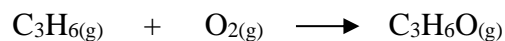
Pembuatan propilen oksida dengan proses oksidasi langsung menggunakan oksigen pada dasarnya dibagi menjadi 3 tahap yaitu tahap penyiapan bahan baku, tahap reaksi dan tahap pemisahan produk.

### 2.4.1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku yang akan digunakan di pabrik propilen oksida ini adalah oksigen dan propilen. Propilen cair yang disuplai dari PT Chandra Asri disimpan di tangki penyimpanan dengan suhu  $30^\circ C$  dan tekanan 11 atm. Untuk oksidasi, proses ini menggunakan oksigen murni 99,6% yang disimpan dalam tangki dengan tekanan 11 atm dan suhu  $-165^\circ C$ . Umpan propilen dan oksigen disimpan terpisah sebelum dialirkan menuju reaktor. Selanjutnya, propilen dialirkan melalui pipa menuju *compressor* dan akan menaikkan tekanan propilen menjadi 30 atm. Sebelum menuju reaktor, oksigen dan propilen dipanaskan terlebih dahulu menggunakan *heater* hingga  $350^\circ C$ .

### 2.4.2. Tahapan Reaksi

Tahap reaksi terjadi di dalam reaktor (RE-201) dengan kondisi operasi yaitu suhu dalam reaktor (RE-201) dijaga  $350^\circ C$  pada tekanan 30 atm. Reaksi yang terjadi pada reaktor yaitu:



Reaksi antara oksigen dan propilen adalah eksotermis (menghasilkan panas), sehingga dibutuhkan media pendingin untuk menjaga suhu reaktor tetap karena reaktor dijaga dalam keadaan isothermal dan pengontrol suhu dalam reaktor. Media pendingin yang digunakan yaitu brine, sehingga panas reaksi yang dihasilkan akan diserap oleh brine. Konversi yang dihasilkan pada reaksi ini yaitu sebesar 36%.

### 2.4.3. Tahap Pemisahan Produk

Setelah tahapan reaksi, produk akan langsung menuju *expander valve* untuk menurunkan tekanan hingga 1 atm. Setelah itu, produk dialirkan menuju *condenser* untuk dilakukan pemisahan antara gas *non condensable* dengan *vapour*. Pada *condenser*, fasa *vapour* akan berubah menjadi fasa cair dan gas *non condensable* akan naik ke atas menuju reaktor untuk direaksikan kembali dengan bahan baku. Produk bawah dari *condenser* tersebut, yaitu propilen oksida dialirkan menuju tangki penyimpanan.

### III. SIFAT DAN SPESIFIKASI BAHAN

#### 3.1 Bahan Baku Utama

Bahan baku utama dalam pembuatan propilen oksida ialah propilen dan oksigen. Berikut ialah spesifikasi bahan baku utama :

##### 3.1.1 Propilen (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>)

Bentuk	= Gas pada kondisi ruang, cairan dibawah tekanan
BM	= 42
Titik didih	= -48 °C (-54,4°F)
Titik nyala	= -108°C
Densitas (104°C)	= 0,5139 g/cm <sup>3</sup>
<i>Melting Point</i>	= -185°C
<i>Vapor Pressure</i>	= 9,41 bar @70°F (21,1 °C), 1 atm
<i>Specific Gravity</i>	= 0,792
<i>Critical temperature</i>	= 91,8 °C (197,24°F)
Kelarutan dalam air	= soluble 384 mg/l

(Chandra Asri, 2021)



### 3.1.2 Oksigen (O<sub>2</sub>)

Bentuk	= Gas pada kondisi ruang, cairan dibawah tekanan
BM	= 18
Titik didih	= -183°C
<i>Melting point</i>	= -218,8°C
Konsentrasi	= 99,5 %
Kelarutan dalam air	= soluble

(Usaha Mulia Perkasa, 2020)

## 3.2 Bahan Baku Penunjang

Bahan baku penunjang dalam pembuatan propilen oksida ialah Ag/WO<sub>3</sub> sebagai katalis pada proses oksida langsung. Berikut ialah spesifikasi bahan baku penunjang:

### 3.2.1 *Silver /Tungsten Oxide (Ag/WO<sub>3</sub>)*

Bentuk	= Padatan (powder)
<i>Flash Point</i>	= data tidak tersedia
<i>Vapour Density</i>	= data tidak tersedia
<i>Melting point / freezing point</i>	= data tidak tersedia
<i>Specific Gravity</i>	= data tidak tersedia
Konsentrasi	= 99 %
Kelarutan dalam air	= insoluble

### 3.3 Produk

Produk yang dihasilkan ialah propilen oksida sebagai produk utama dan air sebagai produk samping. Berikut ialah spesifikasi produk :

#### 3.3.1 Propilen oksida (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O)

Bentuk	= cairan tidak berwarna
BM	= 58,06 g/gmol
Titik didih	= 34°C
Densitas (25°C)	= 830 kg/m <sup>3</sup>
Konduktivitas termal	= 1,13 · 10 <sup>-4</sup> W.cm <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Titik nyala	= -38°C
<i>Melting Point</i>	= -112°C
<i>Freezing Point</i>	= -111,93°C
Konsentrasi	= 99 %
Kelarutan dalam air (20°C)	= 425 g/l
Kelarutan dalam alkohol	= soluble

(Sigma Aldrich, 2020)

## **X. SIMPULAN DAN SARAN**

### **A. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Propilen Oksida dari Propilen dan Oksigen dengan kapasitas 50.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut :

1. Pabrik termasuk kedalam industri yang tergolong beresiko rendah berdasarkan analisis proses dan ekonomi.
2. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak adalah 22 %.
3. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak adalah 2,3 tahun.
4. *Break Even Point* (BEP) sebesar 37% dimana syarat umum pabrik di Indonesia adalah 31 % – 60 % kapasitas produksi. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 15 %, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
5. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 21,96 %, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini dari pada ke bank.

### **B. SARAN**

Berdasarkan hasil pertimbangan kesimpulan diatas, maka pabrik Propilen Oksida dari Propilen dan Oksigen dengan kapasitas 50.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut baik dari segi proses maupun ekonominya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aida, A. N. 2021. *Potret Industri Pertahanan Indonesia*. (Referensi). Pusat Kajian Anggaran Badan Keahlian – Sekretariat Jenderal Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia. DKI Jakarta. 12 hlm.
- Anonymous. 2018. *Perencanaan Jaringan Pipa Transmisi dan Distribusi Air Minum*. (Modul Proyeksi). Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia (BPSDM) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). DKI Jakarta. 16 hlm.
- Anonymous. 2020. *Stainless Steel 316 dan Kegunaannya dalam Industri Kelautan*. [https://www.indo-makmur.com/blog/blog\\_detail/stainless-steel-316-dan-kegunaannya-dalam-industri-kelautan#](https://www.indo-makmur.com/blog/blog_detail/stainless-steel-316-dan-kegunaannya-dalam-industri-kelautan#). Diakses pada 19 Januari 2023.
- Anonymous. 2020. *Terbuktif Efektif ! Bangun Gudang Penyimpanan dengan Material Prefabrikasi*. <https://sanwaprefab.co.id/bangun-gudang-penyimpanan-dengan-material-prefabrikasi/>. Diakses pada 17 September 2023.
- Anonymous, 2021. *Safety Data Sheet Propylene, 99.4%*. (Lembar Data Keselamatan Bahan). Chandra Asri, Inc. Indonesia. 7 hlm.
- Anonymous, 2021. *Safety Data Sheet Silver Tungsten Oxide*. (Lembar Data Keselamatan Bahan). ThermoFisher Scientific. Jerman. 11 hlm.
- Anonymous. 2022. *Humidity*. AccuWeather. Diakses pada 14 November 2022.
- Anonymous. 2022. *Freezing Point, Density, Specific Heat and Dynamic Viscosity of Calcium Chloride Water Coolants*. [https://www.engineeringtoolbox.com/calcium-chloride-water-d\\_1186.html](https://www.engineeringtoolbox.com/calcium-chloride-water-d_1186.html). Diakses pada 19 Februari 2023.
- Anonymous. 2022. *Konstanta Gas*. [https://id.wikipedia.org/wiki/Konstanta\\_gas](https://id.wikipedia.org/wiki/Konstanta_gas). Diakses pada 28 November 2022.
- Anonymous. 2022. *Propylene*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Propylene#cite\\_note-PGCH-2](https://en.wikipedia.org/wiki/Propylene#cite_note-PGCH-2). Diakses pada 10 November 2022.

- Anonymous. 2022. *Propylene Oxide*.  
<https://id.wikipedia.org/wiki/PropyleneOxide>. Diakses pada 10 November 2022 .
- Anonymous, 2023. *Lembar Data Keselamatan Bahan Oksigen, 99.6%..* PT. Samator Indo Gas. Indonesia. 9 hlm.
- Aries, R. S., Newton, R. D. 1955. *Chemical Engineering Cost Estimation*. McGraw-Hill Book Company. New-York. 263 hlm.
- Atkins, P., Paula, J. D. 2006. *Atkins' Physical Chemistry 8th Edition*. W. H. Freeman and Company. New York. 1053 hlm.
- Bank Indonesia. 2023. *Informasi Kurs JISDOR*.  
<https://www.bi.go.id/id/statistik/informasi-kurs/jisdor/default.aspx>. Diakses pada 21 September 2023.
- Bedolla, M. A. 2010. *Investigation of Silver Catalyst for Propylene Epoxidation: Promotion and Reaction Mechanism*. University of Delaware. 69 hlm.
- Bergman, Y. 2008. *Development and Production of Smokeless Military Propellants in France, 1884-1918*. (Disertasi). Tel-Aviv University. Tel Aviv. 316 hlm.
- Branan, C. R. 2005. *Rules Of Thumb For Chemical Engineers A Manual of Quick, Accurate Solutions to Everyday Process Engineering Problems Fourth Edition*. Gulf Professional Publishing. Massachusetts. 479 hlm.
- Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J., Ratnayaka, D. D. 2017. *Twort's Water Supply Seventh Edition*. Butterworth-Heinemann. Oxford. 932 hlm.
- Brown, G. G. 1950. *Unit Operations*. CBS Publishers & Distributors. New Delhi. 611 hlm.
- Brownell, L. E., Young, E. H. 1959. *Process Equipment Design*. John Wiley & Sons, Inc. New York. 408 hlm.
- Christoph, R., Schmid, B., Steinberner, U., Dilla, W., Karinen, R. 2012. Propylene Oxide. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Ullmann, F. (eds). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim. 17: 67-82.
- Chrome-Effect. 2021. *Tinggi Tumpukan Maksimum*. <https://chrome-effect.ru/id/drywall/maksimalnaya-vysota-shtabelya-trebovaniya-bezopasnosti-pri/>. Diakses pada 17 September 2023.

- Coulson, J. M., Richardson, F. F., Sinnott, R. K. 1983. *Chemical Engineering; Vol. 6: An Introduction to Chemical engineering Design*. Pergamon Press. Oxford. 838 hlm.
- Coulson, J. M., Richardson, J. F., Backhurst, J. R., Harker, J. H. 1999. *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Volume 1 Sixth Edition Fluid Flow, Heat Transfer and Mass Transfer*. Butterworth-Heinemann. Oxford. 895 hlm.
- Dean, J. A. 1999. *Lange's Handbook of Chemistry Fifteenth Edition*. McGraw-Hill, Inc. Chicago. 1562 hlm.
- Department of The Army. 1984. *Military Explosive*. (Pedoman Teknis). Department of The Army. Washington, D.C. 355 hlm.
- Fogler, H. S. 2020. *Elements of Chemical Reaction Engineering Sixth Edition*. Pearson Education, Inc. New York. 1983 hlm.
- Foust, A. S., Wenzel, L. A., Clump, C. W., Maus, L., Andersen, L. B. 1980. *Principles of Unit Operation Second Edition*. John Wiley & Sons, Inc. Toronto. 768 hlm.
- Geankolpis, C. J. 1993. *Transport Process and Unit Operation Third Edition*. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey. 921 hlm.
- Green, D. W., Perry, R. H. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th Edition*. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York. 2735 hlm.
- Haynes, W. M. 2014. *CRC Handbook of Chemistry and Physics 95th Edition 2014-2015*. CRC Press. Florida. 2666 hlm.
- Hesse, H. C., Rushton, J. H. 1945. *Process Equipment Design*. D. Van Nostrand Co., Inc. New York. 580 hlm.
- Himmelblau, D. M., Riggs, J. B. 2012. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering Eight Edition*. Pearson Education, Inc. Michigan. 857 hlm.
- Ismail, F. A. 2009. Studi kuat tekan beton campuran 1 : 2 : 3 berdasarkan lokasi pengambilan agregat di Sumatera Barat. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 5 (2): 1-12.
- Joshi, M. V. 1976. *Process Equipment Design*. The Macmillan Company of India Limited. New Delhi. 532 hlm.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill Book Company, Inc. Singapore. 871 hlm.

- Kirk, R. E., Othmer, D. F. 1965. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Interscience Encyclopedia, Inc. New York. 871 hlm.
- Lide, D. R. 2007. *CRC Handbook of Chemistry and Physics 88th Edition 2007-2008*. CRC Press. Florida. 59 hlm.
- Lower, S., Doan, C., Le, H. 2021. *Gibbs (Free) Energy*. [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\\_Textbook\\_Maps/Supplemental\\_Modules\\_\(Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\)/Thermodynamics/Energies\\_and\\_Potentials/Free\\_Energy/Gibbs\\_\(Free\)\\_Energy](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Thermodynamics/Energies_and_Potentials/Free_Energy/Gibbs_(Free)_Energy). Diakses pada 6 Oktober 2022.
- MacBean, C. 2010. *The Pesticide Manual 15th Edition*. British Crop Protection Council. Hampshire.
- Maryono, T. 2013. *Rangkaian Dasar Pneumatik*. (Modul Pembelajaran). Dinas Pendidikan Kabupaten Sukoharjo. Jawa Tengah. 63 hlm.
- Matches. 2014. *Matches' Process Equipment Cost Estimates*. <http://www.matche.com/equipcost/Default.html>. Diakses pada 28 September 2023.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriott, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering Fifth Edition*. McGraw-Hill, Inc. Singapore. 1130 hlm.
- Megyesy, E. F. 2001. *Pressure Vessel Handbook Twelfth Edition*. Pressure Vessel Handbook Publishing, Inc. Oklahoma. 499 hlm.
- Metcalf, L., Eddy, H. P., Tchobanoglous, G. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse Vol. 4*. McGraw-Hill. New York.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. 2022. *Sulfuric Acid*. <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/5193>. Diakses pada 24 September 2023.
- Nauman, E. B. 2002. *Chemical Reactor Design, Optimization, and Scale Up*. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York. 599 hlm.
- Nijhuis, T. A., Makkee, M., Moulijn, J. A., Weckhuysen, B. M. 2006. The Production of Propene Oxide: Catalytic Processes and Recent Developments. *American Chemical Society*. 45(10): 3447–3459.
- O'Neil, M. J. 2001. *The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals 13th Edition*. Merck and Co., Inc. New Jersey. 1185 hlm.

- Perry, R. H., Green, D. W., Maloney, J. O. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook Seventh Edition*. McGraw-Hill. New York. 2433.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers Fourth Edition*. McGraw-Hill, Inc. Singapore. 910 hlm.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., West, R. E. 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers Fifth Edition*. McGraw-Hill. New York. 988 hlm.
- Powell, S. T. 1954. *Water Conditioning for Industry First Edition*. McGraw-Hill Book Company. New York. 548 hlm.
- Presiden Republik Indonesia. 1999. Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1999 tentang Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat. Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia. DKI Jakarta.
- PT Indonesian Acid Industri. 2023. *Asam Sulfat*. [http://www.indoacid.com/ind/asam\\_sulfat\\_i.htm](http://www.indoacid.com/ind/asam_sulfat_i.htm). Diakses pada 14 September 2023.
- Qasim, S. R., Zhu, G. 2018. *Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples Volume 1 Principles and Basic Treatment*. CRC Press. Florida. 1161 hlm.
- Rase, H. F. 1977. *Chemical Reactor Design for Process Plants, Volume 1 Principles & Techniques*. John Wiley and Sons Canada Ltd. Toronto. 755 hlm.
- Rishipal Glass & Chemicals Pvt. Ltd. 2022. Powder Dense Soda Ash, 50 Kg. <https://www.indiamart.com/proddetail/dense-soda-ash-19892493230.html>. Diakses pada 17 September 2022.
- Schultz, E. W., Schwartz, M. B., Kyle, M. Y. 2016. *Production of Propylene Oxide from Propylene Using Patented Silver Based Catalyst*. University of Pennsylvania. Philadelphia. 198 hlm.
- Shammas, N. K., Wang, L. K. 2007. Gravity Thickening. In: *Biosolids Treatment Processes. Handbook of Environmental Engineering*. Wang, L. K., Shammas, N. K., Hung, Y. -T. (eds). Humana Press. New Jersey. 6: 45-69.
- Sinnot, R. K. 2005. *Chemical Engineering Design Coulson and Richardson's Chemical Engineering Series Volume 6 Fourth Edition*. Elsevier Butterworth-Heinemann. Oxford. 1038 hlm.



- Sinnot, R., Towler, G. 2020. *Chemical Engineering Design Coulson and Richardson's Chemical Engineering Series Sixth Edition*. Butterworth-Heinemann. Oxford. 1262 hlm.
- Smith, J. M., Ness, H. C. V., Abbott, M. M. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics Sixth Edition in SI Units*. McGraw-Hill. New York. 731 hlm.
- Sugiarto, D. S. 2000. *Metode Statistika untuk Bisnis dan Ekonomi*. Gramedia Pustaka Utama. DKI Jakarta.
- Tuwati, A. M. A., Fan, M., Bentley, M. A. 2010. Reaction kinetic model for a recent co-produced water treatment technology. *Journal of Environmental Sciences*. 23(3): 360–365.
- Twort, A. C., Ratnayaka, D. D., Brandt, M. J. 2000. *Water Supply 5th Edition*. Butterworth-Heinemann. Oxford. 676 hlm.
- UN Comtrade Database. 2022. *Trade Statistics*. <https://comtrade.un.org/data/>. Diakses pada 9 Oktober 2022.
- Ulrich, G. D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley & Sons, Inc. Toronto. 470 hlm.
- Urbanski, T. 1965. *Chemistry and Technology of Explosives Vol. II*. PWN-Polish Scientific Publishers. Warszawa. 517 hlm.
- Valves Instrument Plus Ltd. 2021. *Density Of Liquid Water From 0°C to 100°C*. [https://www.vip-ltd.co.uk/Expansion/Density\\_Of\\_Water\\_Tables.pdf](https://www.vip-ltd.co.uk/Expansion/Density_Of_Water_Tables.pdf). Diakses pada 1 Oktober 2023.
- Vilbrandt, F. C., Dryden, C. E. 1959 *Chemical Engingineering Plant Design Fourth Edition*. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokyo. 532 hlm.
- Wagiman. 2020. *Gudang, Pengemasan dan Cara Penyimpanan*. (Bahan Ajar Kuliah). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 26 hlm.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. Butterworth-Heinemann. Massachusetts. 755 hlm.
- Wilson, T. E. 2005. *Clarifier Design Second Edition*. Water Environment Federation (WEF) Press. Virginia. 704 hlm.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Mc-Graw-Hill. New York. 779 hlm.