

**PRARANCANGAN PABRIK PROPILEN GLIKOL (C₃H₈O₂) DARI
PROPILEN OKSIDA (C₃H₆O) DAN AIR (H₂O) DENGAN KATALIS ASAM
SULFAT (H₂SO₄) KAPASITAS 45.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201))**

(Skripsi)

Oleh:

**FADHILAH NUR HANIFAH
NPM 1715041038**



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

**PRARANCANGAN PABRIK PABRIK PROPILEN GLIKOL ($C_3H_8O_2$)
DARI PROPILEN OKSIDA (C_3H_6O) DAN AIR (H_2O) DENGAN KATALIS
ASAM SULFAT (H_2SO_4) KAPASITAS 45.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201))**

Oleh:

FADHILAH NUR HANIFAH

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**

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK PABRIK PROPILLEN GLIKOL ($C_3H_8O_2$) DARI PROPILLEN OKSIDA (C_3H_6O) DAN AIR (H_2O) DENGAN KATALIS ASAM SULFAT (H_2SO_4) KAPASITAS 45.000 TON/TAHUN (Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201))

Oleh

FADHILAH NUR HANIFAH

Propilen glikol (1,2-Propadienol, 1,2-Dihydroexpropane atau 1,2-Propilen glikol) merupakan salah satu produk *intermediet* yang digunakan pada berbagai industri seperti cat, *antifreeze*, hingga kosmetik. Proses pembuatan Propilen glikol yang digunakan adalah dengan mereaksikan bahan baku Propilen oksida dan air menggunakan katalis asam sulfat dengan melalui beberapa proses diantaranya (1) Proses hidrasi Propilen oksida menjadi Propilen glikol (2) Proses pemurnian produk, dan (3) Proses penyimpanan produk. Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik berupa sistem pengolahan dan penyediaan air, sistem penyediaan *steam*, *chilled water*, dan sistem pembangkit tenaga listrik.

Kapasitas produksi pabrik direncanakan 45.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di kawasan industri *Java Integrated Industrial Port Estate* (JIPE), Desa Tebalo, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 127 orang dengan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama yang dibantu oleh Direktur Produksi dan Direktur Keuangan dengan struktur organisasi *line and staff*.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 437.273.184.766
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 77.165.856.135
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 514.439.040.901
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 43,27%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 24,28%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 1,86 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 2,22 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 37,15%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 29,72%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 25,25%

Mempertimbangkan rangkuman di atas, penulis menyimpulkan bahwa pabrik Propilen glikol ini dapat dikaji lebih lanjut karena mempunyai prospek yang baik.

Kata kunci: propilen glikol, propilen oksida, asam sulfat

ABSTRACT

**PRE-DESIGN OF A PROPYLENE GLYCOL (C₃H₈O₂) FROM
PROPYLENE OXIDE (C₃H₆O) AND WATER (H₂O) BY USING
SULFURIC ACID (H₂SO₄) CATALYST WITH A CAPACITY OF 45,000
TONS/YEAR
(Reactor Design (RE-201))**

By

FADHILAH NUR HANIFAH

Propylene glycol or as known as ,2-Propadienol, 1,2-Dihydroexpropane or 1,2-Propylene glycol is an intermediate product used in various chemical industry such as solvent in paint, antifreeze, and cosmetics. The process for making Propylene glycol is by reacting the raw materials Propylene oxide and water using a sulfuric acid catalyst through several processes including (1) Propylene oxide hydration process to become Propylene glycol (2) Product purification process, and (3) Product storage process. This factory's utilities provides the supply of water treatment system, steam system, chilled water system, and power generation system.

The factory's production capacity is planned to be 45,000 tons per year, with 330 working days in a year. The factory location is planned to be established in the industrial Java Integrated Industrial Port Estate (JIPE) area, Gresik, East Java. The required workforce is 127 people in the form of a Limited Liability Company (PT) business entity led by a Main director, who is assisted by the Director of Production and the Director of finance, with a line and staff organizational structure.

From the economic analysis obtained:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 437.273.184.766
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 77.165.856.135
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 514.439.040.901
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 43,27%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 24,28%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 1,86 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 2,22 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 37,15%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 29,72%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 25,25%

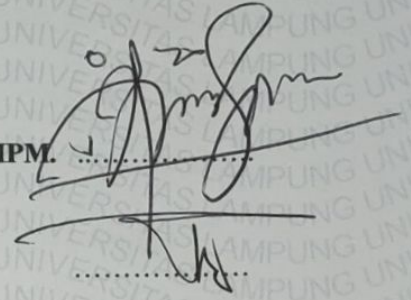
Considering the summary above, the authors conclude that this Propylene glycol factory can be studied further because it has good prospects.

Keyword: propylene glycol, propylene oxide, water, sulfuric acid

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

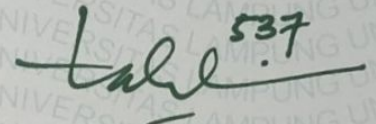
Ketua : Prof. Dr. Joni Agustian, S.T., M.Sc., IPM.



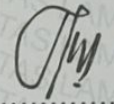
Sekretaris : Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc.

Penguji

Bukan pembimbing I : Taharuddin, S.T., M.Sc.



Bukan Pembimbing II : Dr. Sri Ismiyati D, S.T., M.Eng.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }

NIP. 197509282001121001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 26 Juli 2023

Judul Skripsi

: **PRARANCANGAN PABRIK PROPILEN GLIKOL
(C₃H₈O₂) DARI PROPILEN OKSIDA (C₃H₆O) DAN
AIR (H₂O) DENGAN KATALIS ASAM SULFAT
(H₂SO₄) KAPASITAS 45.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201))**

Nama Mahasiswa

: **Fadhilah Nur Hanifah**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1715041038

Program Studi

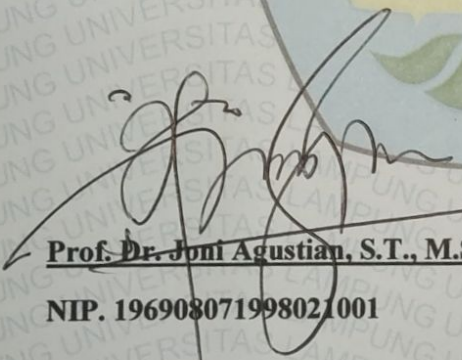
: Teknik Kimia

Fakultas

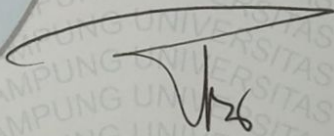
: Teknik



1. **Komisi Pembimbing**

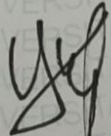

Prof. Dr. Joni Agustian, S.T., M.Sc., IPM.

NIP. 196908071998021001


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

NIP. 196809021997022005

2. **Ketua Jurusan**


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

NIP. 197407122000032001

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.

Bandarlampung, 04 Oktober 2023



Fadhilah Nur Hanifah

NPM. 1715041038

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 22 Agustus 1999 dengan nama Fadhilah Nur Hanifah, sebagai anak kedua dari dua bersaudara, dari Bapak Adi Suprpto dan Ibu Kristianingsih.

Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) Tunas Pertiwi diselesaikan pada tahun 2005, Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Islam Al-Ma'ruf pada tahun 2011, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 147 Jakarta diselesaikan pada tahun 2014, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 105 Jakarta diselesaikan pada 2017.

Tahun 2017, penulis terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Teknik Kimia Unila melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswi penulis aktif di Organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (Himatemia) Universitas Lampung. Pada tahun 2021 penulis pernah melaksanakan kerja praktik di PT. Tunas Baru Lampung, Lampung Tengah.

*“Bisa karena terbiasa,
Biasa karena dipaksa”*

SANWACANA

Segala Puji bagi Allah, atas limpahan nikmat-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Prarancangan Pabrik Propilen Glikol dari Propilen Oksida Dan Air Dengan Menggunakan Katalis Asam Sulfat Kapasitas 45.000 Ton/Tahun (Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201)) ”**. Shalawat dan salam senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan yang mampu membuka sesuatu yang terkunci, penutup dari semua yang terdahulu, penolong kebenaran dengan jalan yang benar, dan petunjuk kepada jalan-Mu yang lurus.

Laporan tugas akhir ini merupakan salah satu dari mata kuliah wajib yang harus ditempuh oleh mahasiswa sebagai syarat kelulusan Sarjana Teknik Kimia sesuai dengan dengan kurikulum pada Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada Kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT, yang telah memberikan nikmat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan selamat hingga akhir.
2. Orang tua dan kakak yang selalu memberikan doa, motivasi, semangat, dan bantuan yang begitu melimpah dan tidak akan pernah bisa terhitung nilainya.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmi Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
5. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. Kepala Jurusan Teknk Kimia Universitas Lampung.

6. Bapak Prof. Dr. Joni Agustian, S.T., M.Sc., IPM selaku dosen pembimbing 1 tugas akhir yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingannya bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang sarjana teknik.
7. Ibu Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir serta dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan pandangan kehidupan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah.
8. Bapak Taharuddin, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji 1 yang telah memberikan kritik, saran serta masukan yang membangun kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
9. Ibu Dr. Sri Ismiyati D, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji 2 yang juga turut memberikan kritik dan masukan yang membangun untuk penulis.
10. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Kimia Unila dan dosen koordinator mata kuliah Tugas Akhir.
11. Segenap Dosen Jurusan Teknik Kimia yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman bagi penulis.
12. Segenap staf Jurusan Teknik Kimia yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan hal lainnya.
13. Chandra Wahyuu yang selalu memberikan bantuan, semangat dan dukungan kepada penulis tiada henti, terimakasih atas segala kebaikan dan kesabarannya.
14. Salsabilla Muharani sebagai partner dalam penyusunan tugas akhir ini, terimakasih sudah sangat kooperatif dari awal sampai akhirnya kita bisa menyelesaikan tugas akhir ini.

15. Umi, Jahra, Disa, Fina serta teman-teman mahasiswa Teknik Kimia Unila angkatan 2017 lainnya yang selalu tertawa tiada henti.

16. Semua pihak yang turut membantu penulis dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran konstruktif dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandarlampung, 04 Oktober 2023

Fadhilah Nur Hanifah

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xxi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Kegunaan Produk	2
1.3. Kapasitas Produksi Rancangan	3
1.4. Penentuan Lokasi Pabrik.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Jenis-jenis Proses	8
2.2. Tinjauan Proses	10
2.3. Pemilihan Proses	20
2.4. Deskripsi Proses	21
III. SIFAT DAN SPESIFIKASI BAHAN BAKU	24
3.1. Spesifikasi Bahan Baku Utama.....	24
3.2. Spesifikasi Bahan Baku Penunjang.....	25
3.3. Spesifikasi Produk.....	26
IV. NERACA MASSA DAN ENERGI	27
4.1. Neraca Massa	27

4.2. Neraca Energi.....	33
V. SPESIFIKASI PERALATAN PROSES DAN UTILITAS.....	37
5.1. Spesifikasi Peralatan Proses.....	37
5.2. Spesifikasi Alat Utilitas.....	57
VI. UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....	85
6.1. Unit Penyediaan Air.....	85
6.2. Unit Penyedia Steam.....	98
6.3. Sistem Pembangkit Tenaga Listrik.....	99
6.4. Unit Sistem Penyediaan bahan bakar.....	99
6.5. Unit Refrigerasi.....	99
6.6. Pengolahan Limbah.....	103
6.7. Laboratorium.....	104
6.8. Instrumentasi dan Pengendalian Proses.....	107
VII. TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK.....	110
7.1. Lokasi Pabrik.....	110
7.2. Tata Letak Pabrik.....	113
VIII. SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI PERUSAHAAN.....	120
8.1. <i>Project Master Schedule</i>	120
8.2. Bentuk Perusahaan.....	122
8.3. Struktur Organisasi Perusahaan.....	125
8.4. Tugas dan Wewenang.....	129
8.5. Status Karyawan dan Sistem Penggajian.....	138
8.6. Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	139

8.7. Jumlah Tenaga Kerja.....	142
8.8. Kesejahteraan Karyawan.....	145
8.9. Manajemen Produksi.....	149
IX. INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI	153
9.1. Investasi	153
9.2. Evaluasi ekonomi.....	156
X. KESIMPULAN DAN SARAN	163
10.1. Kesimpulan	163
10.2. Saran.....	164
DAFTAR PUSTAKA	165
LAMPIRAN A PERHITUNGAN NERACA MASSA.....	A-1
LAMPIRAN B PERHITUNGAN NERACA ENERGI	B-1
LAMPIRAN C PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN PROSES	C-1
LAMPIRAN D PERHITUNGAN UTILITAS.....	D-1
LAMPIRAN E PERHITUNGAN EKONOMI.....	E-1
LAMPIRAN F TUGAS KHUSUS	F-1

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Data impor Propilen Glikol di Indonesia	3
Tabel 1.2. Tinjauan Pemilihan Lokasi Pabrik	5
Tabel 2.1. Tabel Berat Molekul dan Harga Komponen Bahan Baku dan Produk	10
Tabel 2.3. Nilai ΔS°_{f298} dan ΔH°_{f298} setiap komponen (Yaws, 1999).....	16
Tabel 2.4. Konstanta Panas (Cp) setiap komponen (Yaws, 1999)	16
Tabel 2.5. Nilai C_{p303} dan S_{303} Setiap Komponen	17
Tabel 2.6. Nilai ΔS°_{f298} dan ΔH°_{f298} setiap komponen (Yaws, 1999).....	18
Tabel 2.7. Konstanta Panas (Cp) setiap komponen (Yaws, 1999)	19
Tabel 2.8. Nilai C_{p473} dan S_{473} Setiap Komponen	19
Tabel 2.9. Perbandingan Antara Proses Pembuatan <i>Propylene Glycol</i> Melalui Reaksi Hidrasi <i>Propylene Oxide</i> Dan Melalui Reaksi Hidrogenasi <i>Glycerol</i>	21
Tabel 4.1. Neraca Massa <i>Mixing Point</i> (MP-101).....	28
Tabel 4.2. Neraca Massa <i>Mixing Point</i> (MP-102).....	28
Tabel 4.3. Neraca Massa pada Reaktor (RE-201)	28
Tabel 4.4. Neraca Massa pada <i>Netralizer</i> (NE-201)	29
Tabel 4.5. Neraca Massa <i>Vaporiser</i> (VP-301)	30
Tabel 4.6. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-301)	30
Tabel 4.7. Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-302)	31
Tabel 4.8. Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-301)	31
Tabel 4.9. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-302)	31
Tabel 4.10. Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-303)	32
Tabel 4.11. Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-302)	32
Tabel 4.12. Neraca Energi Reaktor (RE-201)	33
Tabel 4.13. Neraca Energi <i>Neutralizer</i> (RE-202).....	34
Tabel 4.14. Neraca Energi <i>Vaporiser</i> (VP-301)	34
Tabel 4.15. Neraca Energi <i>Condenser</i> (CD-301)	35
Tabel 4.16. Neraca Energi <i>Heater</i> (HE-301)	35
Tabel 4.17. Neraca Energi Menara Distilasi (MD-301)	35
Tabel 4.18. Neraca Energi <i>Cooler</i> (CO-301).....	36

Tabel 4.19. Neraca Energi Menara Distilasi (MD-302)	36
Tabel 4.20. Neraca Energi <i>Cooler</i> (CO-302).....	36
Tabel 5.1. Spesifikasi Storage Tank Propilen Oksida (ST-101)	37
Tabel 5.2. Spesifikasi Pompa (PP-101).....	37
Tabel 5.3. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Metanol (ST-102).....	38
Tabel 5.4. Spesifikasi Pompa (PP-102).....	38
Tabel 5.5. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Air (ST-103).....	39
Tabel 5.6. Spesifikasi Pompa (PP-103).....	40
Tabel 5.7. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Asam Sulfat (ST-104)	40
Tabel 5.8. Spesifikasi Pompa (PP-104).....	41
Tabel 5.9. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Sodium Hidroksida (ST-105)	41
Tabel 5.10. Spesifikasi Pompa (PP-105).....	42
Tabel 5.11. Spesifikasi Reaktor (RE-201).....	42
Tabel 5.12. Spesifikasi Pompa (PP-201).....	43
Tabel 5.13. Spesifikasi Netralizer (RE-202)	43
Tabel 5.14. Spesifikasi Pompa (PP-202).....	44
Tabel 5.15. Spesifikasi <i>Vaporiser</i> (VP-301)	45
Tabel 5.16. Spesifikasi <i>Accumulator</i> 301 (AC-301)	45
Tabel 5.17. Spesifikasi <i>Condensor</i> 301 (CD-301)	46
Tabel 5.18. Spesifikasi <i>Accumulator</i> 302 (AC-302)	47
Tabel 5.19. Spesifikasi Pompa (PP-301).....	47
Tabel 5.20. Spesifikasi Pompa (PP-302).....	48
Tabel 5.21. Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-301)	48
Tabel 5.22. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-301)	49
Tabel 5.23. Spesifikasi <i>Condensor</i> 302 (CD-302)	49
Tabel 5.24. Spesifikasi <i>Accumulator</i> 303 (AC-303)	50
Tabel 5.25. Spesifikasi <i>Reboiler</i> 301 (RB-301)	51
Tabel 5.26. Spesifikasi Pompa (PP-303).....	51
Tabel 5.27. Spesifikasi <i>Cooler</i> 301 (CO-301).....	52
Tabel 5.28. Spesifikasi Pompa (PP-304).....	53
Tabel 5.29. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-302)	53
Tabel 5.30. Spesifikasi <i>Condensor</i> 303 (CD-303)	54

Tabel 5.31. Spesifikasi <i>Accumulator</i> 304 (AC-304)	54
Tabel 5.32. Spesifikasi <i>Reboiler</i> 302 (RB-302)	55
Tabel 5.33. Spesifikasi Pompa (PP-305).....	56
Tabel 5.34. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-302).....	56
Tabel 5.35. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Propilen Glikol (ST-301).....	57
Tabel 5.36. Spesifikasi Alat <i>Bar Screener</i> (SR-401)	57
Tabel 5.37. Spesifikasi Bak Koagulasi (BK – 401).....	58
Tabel 5.38. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Kaporit (ST-401)	58
Tabel 5.39. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Alum (ST-402).....	59
Tabel 5.40. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> NaOH (ST-403)	60
Tabel 5.41. Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CL-401).....	60
Tabel 5.42. Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-401)	61
Tabel 5.43. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Air Filter (ST-404)	62
Tabel 5.44. Spesifikasi <i>Hot Basin</i> (HB-401)	62
Tabel 5.45. Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB-401).....	63
Tabel 5.46. Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-401)	63
Tabel 5.47. Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-401)	64
Tabel 5.48. Spesifikasi Demin Water Tank (DWT-408).....	64
Tabel 5.49. Spesifikasi Deaerator (DE-401).....	65
Tabel 5.50. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Air Proses (ST-409).....	66
Tabel 5.51. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Hidrazin (ST-409).....	66
Tabel 5.52. Spesifikasi <i>Boiler</i> (B-401)	67
Tabel 5.53. Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-503).....	67
Tabel 5.54. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-401).....	68
Tabel 5.55. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-402).....	69
Tabel 5.56. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-403).....	69
Tabel 5.57. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-404).....	70
Tabel 5.58. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-405).....	70
Tabel 5.59. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-406).....	71
Tabel 5.60. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-407).....	71
Tabel 5.61. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-408).....	72
Tabel 5.62. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-409).....	72

Tabel 5.63. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-410).....	73
Tabel 5.64. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-411).....	74
Tabel 5.65. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-412).....	74
Tabel 5.66. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-413).....	75
Tabel 5.67. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-414).....	75
Tabel 5.68. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-415).....	76
Tabel 5.69. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-416).....	76
Tabel 5.70. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-417).....	77
Tabel 5.71. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-418).....	77
Tabel 5.72. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-419).....	78
Tabel 5.73. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-420).....	79
Tabel 5.74. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-421).....	79
Tabel 5.75. Spesifikasi <i>Receiver</i> (RC-501)	80
Tabel 5.76. Spesifikasi <i>Expansionr Valve</i> (EX-501).....	80
Tabel 5.77. Spesifikasi <i>Chiller</i> (CC-501)	81
Tabel 5.78. Spesifikasi <i>Compressor</i> (CP-501)	82
Tabel 5.79. Spesifikasi <i>Compressor</i> (CD-501).....	82
Tabel 5.80. Spesifikasi Generator (GS-701).....	84
Tabel 6.1. Kebutuhan Air Umum	86
Tabel 6.2. Kebutuhan Air untuk Pembangkit <i>Steam</i>	86
Tabel 6.3. Kebutuhan Air Pendingin	89
Tabel 6.4. Kebutuhan Air Proses.....	90
Tabel 6.5. Kebutuhan Air <i>Hidrant</i>	90
Tabel 6.6. Kebutuhan Air Total.....	91
Tabel 6.7. Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian.	108
Tabel 6.8. Pengendalian Variabel Utama Proses.....	109
Tabel 7.1. Perincian Luas Area Pabrik Propilen Glikol	116
Tabel 8.2. Jadwal Kerja Regu <i>Shift</i>	141
Tabel 8.3. Jumlah Operator Produksi Berdasarkan Jenis Alat	142
Tabel 8.4. Jumlah Operator Utilitas Berdasarkan Jenis Alat.....	143
Tabel 8.5. Penggolongan Tenaga Kerja	144
Tabel 9.1. <i>Fixed Capital Investment</i>	153

Tabel 9.2. <i>Manufacturing Cost</i>	155
Tabel 9.3. <i>General Expenses</i>	156
Tabel 9.4. Angsuran Pinjaman	158
Tabel 9.5. Periode Pengembalian Modal dan Perkiraan Nilai IRR.....	160

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Grafik Impor Propilen Glikol di Indonesia.....	3
Gambar 1.2. Lokasi Pabrik	7
Gambar 2.1. Blok Diagram Pembuatan Propilen Glikol Melalui Proses Hidrasi Propilen Oksida.....	9
Gambar 2.2. Blok Diagram Pembuatan Propilen Glikol Melalui Proses Hidrogenolisis Gliserol	9
Gambar 2.3. Blok Diagram Proses Pembuatan Propilen Glikol	23
Gambar 6.1. Diagram Alir Sistem Refrigerasi	100
Gambar 6.2. Skema Siklus Refrigerasi.....	101
Gambar 7.1. Lokasi Pabrik	113
Gambar 7.2. Tata Letak Pabrik dan Fasilitas Pendukung.....	118
Gambar 7.3. Tata Letak Alat Proses.....	119
Gambar 8.1. Sturktur Organisasi Perusahaan.....	127
Gambar 9.1. Grafik Variasi Tingkat Produksi Basis Tahun.....	158
Gambar 9.2. Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i> Terhadap Umur Pabrik.....	159

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai salah satu negara berkembang, Indonesia harus mampu bersaing dalam era globalisasi. Dalam era globalisasi saat ini, Indonesia menunjukkan pertumbuhan pesat terutama dalam bidang industri. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi menuntut bangsa Indonesia menuju arah industrialisasi. Sampai saat ini pembangunan sektor industri di Indonesia mengalami peningkatan, salah satunya adalah industri kimia yang menghasilkan produk jadi maupun produk antara (*intermediate*) untuk diolah lebih lanjut.

Untuk mencapai kemajuan di bidang industri khususnya industri kimia, maka kebutuhan bahan-bahan dasar kimia didalam negeri perlu ditumbuhkan dan dikembangkan. Pembangunan dan pengembangan industri kimia di Indonesia merupakan salah satu dari usaha pembangunan nasional jangka panjang yang diharapkan mampu mengurangi ketergantungan impor bahan kimia dari negara lain, memperluas lapangan pekerjaan, menghemat devisa negara dan mempercepat laju pertumbuhan ekonomi.

Berdasarkan PP Republik Indonesia No.2/2018 tentang Kebijakan Industri Nasional Tahun 2015-2019 dalam pelaksana Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional Tahun 2015-2035, Propilen glikol merupakan jenis industri yang diprioritaskan untuk dibangun. Propilen glikol (1,2-Propadienol, 1,2-Dihydroexpropane atau 1,2-Propilen glikol) merupakan senyawa organik yang

banyak digunakan sebagai pengawet dan pelarut dalam industri makanan, bahan pelembut dan pelembab pada industri kosmetik, campuran obat, sebagai *plastisizer* dan *antifreeze*, serta sebagai bahan aditif dalam industri pembuatan cat (Ullmann, 2018). Dilihat dari fungsinya kebutuhan Propilen glikol ini akan semakin meningkat dengan banyaknya penggunaan Propilen glikol dalam berbagai industri.

Pada tahun 2018 kebutuhan Propilen glikol di Indonesia mencapai 37.023 ton. Angka ini terus meningkat sampai 40.151 ton pada tahun 2022 yang seluruhnya diperoleh dari impor beberapa negara seperti, Cina, Singapura, Thailand, dan Korea (Badan Pusat Statistika, 2023). Dengan memperhatikan kebutuhan dalam negeri dan kegunaannya, maka pabrik pembuatan Propilen glikol ini sangat potensial didirikan di Indonesia. Sehubungan dengan hal tersebut maka dibuatlah suatu prarancangan pabrik pembuatan Propilen glikol dengan bahan baku propilen oksida dan air.

1.2 Kegunaan Produk

Propilen glikol yang mempunyai nama kimia 1,2-Propadienol, 1,2-Dihydroexpropane atau 1,2-Propilen glikol paling besar digunakan dalam pembuatan resin poliester tak jenuh, yang diaplikasikan untuk produk akhir seperti plastik otomotif, fiberglass untuk perahu, dan bahan konstruksi. Selain itu, Propilen glikol juga banyak dimanfaatkan dalam industri makanan dan farmasi karena senyawa tersebut diklaim aman oleh FDA di Amerika Serikat. Propilen glikol digunakan sebagai humektan, pelarut dan pengawet dalam makanan dan produk makanan hewan.

Didalam industri makanan, Propilen glikol digunakan sebagai pelumas mesin, pelarut dalam pengolahan makanan dan pembungkus makanan, serta sebagai *antifreeze* dalam air pendingin mesin (Ullman, 2018).

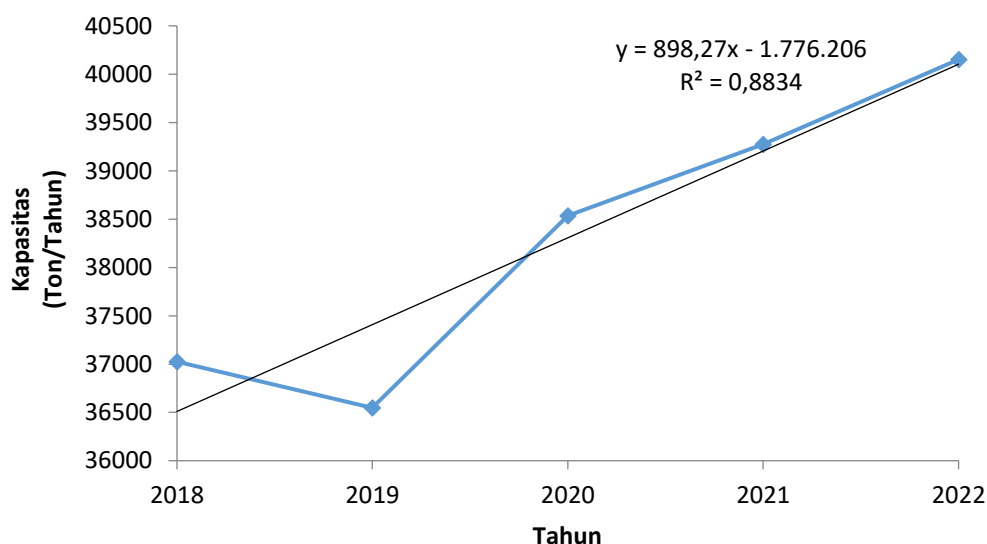
1.3 Kapasitas Produksi Rancangan

Salah satu faktor penting dalam pendirian pabrik adalah kapasitas pabrik. Dalam menentukan besar kecilnya kapasitas pabrik Propilen glikol yang akan dirancang, sebelumnya perlu diketahui dengan jelas kebutuhan impor dalam negeri. Hal ini dilakukan untuk melihat banyaknya kapasitas yang perlu di cukupi didalam negeri. Data impor Propilen glikol di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.1 berikut.

Tabel 1. 1. Data impor Propilen Glikol di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton)
2018	37.023,767
2019	36.547,542
2020	38.536,024
2021	39.273,933
2022	40.151.939

Sumber: BPS (Badan Pusat Statistik)



Gambar 1. 1. Grafik Impor Propilen Glikol di Indonesia

Pada Gambar 1.1, Grafik sumbu-x merupakan tahun. Berdasarkan data-data yang sudah diplotkan pada Gambar 1.1 dilakukan pendekatan berupa garis lurus, $y = mx + C$.

dimana : y = kebutuhan impor Propilen glikol (ton/tahun)

x = tahun ke (2027)

m = slope

C = *intercept* y

didapatkan nilai slope sebesar :

$$m = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = 898,27$$

dan didapatkan juga nilai *intercept* sebesar :

$$C = \frac{\sum x^2 \cdot \sum y - \sum xy \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = -1.776.206$$

Melalui perhitungan persamaan garis lurus di atas diperoleh persamaan $y = 1898,27x - 1,776.206$ yang dapat digunakan untuk memprediksi kebutuhan impor Propilen glikol di Indonesia pada tahun 2027. Dengan persamaan garis lurus tersebut didapatkan prediksi jumlah kebutuhan impor Propilen glikol di Indonesia sebesar 44.588 ton/tahun, sehingga kapasitas pabrik Propilen glikol yang akan dibangun pada tahun 2027 sebesar 45.000 ton/tahun. Dengan kapasitas sebesar ini diharapkan:

- Dapat menghentikan impor Propilen glikol dari luar negeri yang terus meningkat, sehingga kebutuhan dalam negeri dapat terpenuhi dengan hasil produksi pabrik lokal.
- Dapat menggerakkan pertumbuhan industri dengan membuka kesempatan berdirinya industri lain yang menggunakan Propilen glikol sebagai bahan baku.

- Membuka lapangan kerja bagi penduduk di sekitar wilayah industri.

1.4 Penentuan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan salah satu faktor utama yang menentukan kelangsungan suatu pabrik untuk beroperasi. Sebelumnya dilakukan peninjauan lokasi pabrik yang terdiri dari 3 lokasi yakni di Kosambi, Samarinda dan Kasemen. Pemilihan di tiga daerah tersebut didasari oleh kedekatan jarak antar lokasi pabrik dengan sumber bahan baku pembuatan Propilen glikol dan juga pelabuhan. Tinjauan pemilihan lokasi dapat dilihat pada Tabel 1.2 sebagai berikut:

Tabel 1. 2 Tinjauan Pemilihan Lokasi Pabrik

Tinjauan	Kosambi, Tangerang, Banten	Kalimantan Timur, Samarinda	Manyar, Gresik, Jawa timur
Pelabuhan terdekat ^(b)	Pelabuhan Tanjung Priok	Pelabuhan Kampung Baru pelindo	Pelabuhan Pelindo Gresik
Jarak ke pelabuhan ^(b)	35 km	100 km	12 km
Pabrik propilen oksida terdekat ^(b)	PT. Dow Chemical Industri	PT. Dow Chemical Industri	PT. Dow Chemical Industri
Jarak ke pabrik propilen oksida ^(b)	3.156 km	5.133 km	3.900 km
Konsumen ^(c)	Terdapat beberapa konsumen dengan jarak cukup jauh	Terdapat hanya beberapa konsumen dan jarak yang jauh	Terdapat banyak konsumen dan jarak lebih dekat
Sumber air ^(a)	Sungai Kosambi	Sungai Ampal	Sungai Kalilamong

Jarak dari Sumber	1,3 km	1,5 km	1 km
Air ^(b)			
Debit ^(a)	30,52 m ³ /detik ¹	83,80 m ³ /detik ²	250 m ³ /detik ³

Sumber : ^(a)data.pu.go.id, ^(b)Google Maps, ^(c)simpk.pu.go.id)

Berdasarkan tabel tinjauan pemilihan lokasi di atas, maka Pabrik propylene glycol ini direncanakan didirikan di kawasan industri *Java Integrated Industrial Port Estate* (JIPE), Desa Tebalo, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Ketersediaan bahan baku

Pabrik Propilen glikol harus dibangun dekat dengan sumber daya bahan bakunya. Bahan baku yang digunakan adalah propilen oksida yang diimpor dari Dow Chemical Company Thailand, asam sulfat dari PT. Petrokimia Gresik, sodium hidroksida didapatkan dari PT. Asahimas Chemmical di Cilegon, metanol didapatkan dari PT. Kaltim Metanol Industri di Kalimantan. Dapat dilihat dari tabel diatas jarak lokasi pabrik dengan sumber bahan baku utama, sehingga lokasi yang dipilih dekat dengan pelabuhan umum Pelindo Gresik untuk memudahkan transportasi bahan baku.

2. Jarak Pabrik ke Pelabuhan

Jarak pabrik dengan pelabuhan merupakan salah satu pertimbangan yang tidak kalah penting, karena berpengaruh dengan kelancaran aktivitas bongkar muat bahan baku dan produk. Umumnya lokasi yang strategis untuk industri berjarak tidak jauh dari pelabuhan, posisi ini memudahkan aktivitas bongkar muat bahan baku dan produk. Jarak antara lokasi pabrik dengan pelabuhan yang terdekat terdapat di Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur.

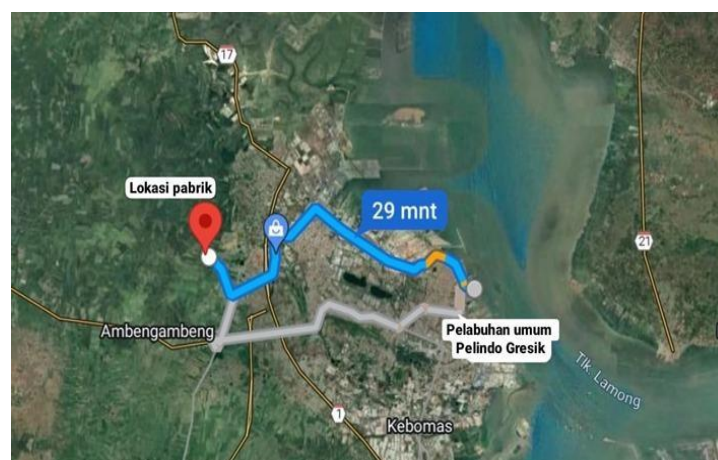
3. Sumber air

Pertimbangan pemilihan lokasi pabrik juga didasarkan pada sumber airnya. Air sangat diperlukan karena air merupakan bahan baku dalam proses pembuatan Propilen glikol. Selain itu air memiliki banyak kegunaan dalam proses industri seperti pada proses pengolahan air untuk pendinginan dan kebutuhan steam. Oleh sebab itu, lokasi pabrik sebaiknya berdekatan dengan sumber air untuk mempermudah jalannya proses industri. Pada tabel diatas dapat diketahui jarak dari pabrik ke sumber air terdekat serta debitnya. Sungai Kali Lamong memiliki jarak yang terdekat dari lokasi pabrik dan memiliki debit yang tinggi.

4. Pemasaran produk

Lokasi pabrik di Gresik menjadi sangat strategis bila dilihat dari sisi pemasaran, dimana target penjualan Propilen glikol adalah industri kosmetik seperti PT Parago Technology and Innovation yang terletak di Malang, serta industri cat seperti PT Nipsea Paint and Chemical di Gresik dan PT Tunggal Djaja Indah di Sidoarjo yang merupakan pasar potensial untuk pemasaran Propilen glikol

Lokasi pabrik Propilen glikol dapat dilihat pada Gambar 1.2 di bawah ini:



Gambar 1. 2. Lokasi Pabrik (Google Maps - ©2023 Google)

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jenis-jenis Proses

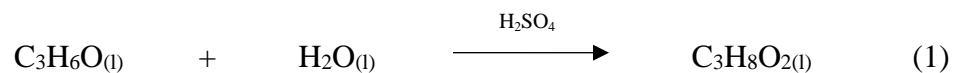
Propilen glikol adalah salah satu senyawa turunan dari propilen yang mempunyai rumus kimia $C_3H_8O_2$ dengan nama IUPAC 1,2-Propanediol. Senyawa ini mempunyai sifat jernih, cair, kental, sedikit berbau, sedikit pahit, dan memiliki tekanan uap rendah (Kirk Othmer, 2004).

Pada tahun 1859, Propilen glikol pertama kali diproduksi oleh Wurtz dengan cara hidrolisis Propilen glikol diasetat. Namun Propilen glikol baru dikomersialkan pada tahun 1931 oleh Carbide and Carbon Chemicals Corp sebagai pengganti gliserol dalam obat-obatan (Kirk Othmer, 2004).

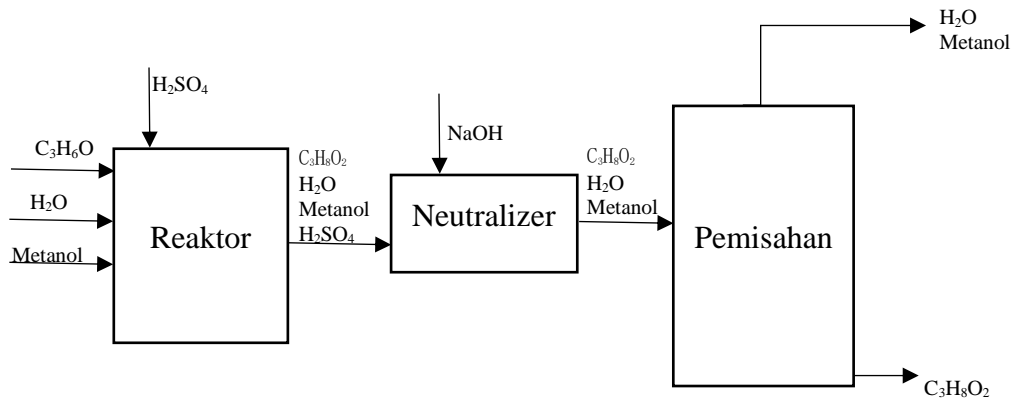
Dalam pembuatan Propilen glikol secara industri dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain:

1. Hidrasi Propilen Oksida

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



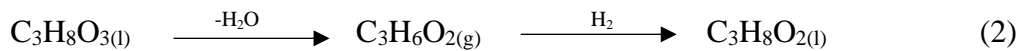
Propilen glikol ($C_3H_8O_2$) diproduksi dari propilen oksida (C_3H_6O) melalui hidrolisis fase cair dengan air serta dengan adanya asam sulfat sebagai katalis. Reaksi berlangsung pada suhu lingkungan pada sebuah reaktor alir tangki berpengaduk. Metanol ditambahkan untuk mencegah terjadinya pemisahan fasa dikarenakan propilen oksida tidak larut didalam air. Konversi reaksi yang dihasilkan sebesar 90% dengan tingkat kemurnian mencapai 99% (Chan dan Seider, 2004)



Gambar 2. 1. Blok Diagram Pembuatan Propilen Glikol Melalui Proses Hidrasi Propilen Oksida

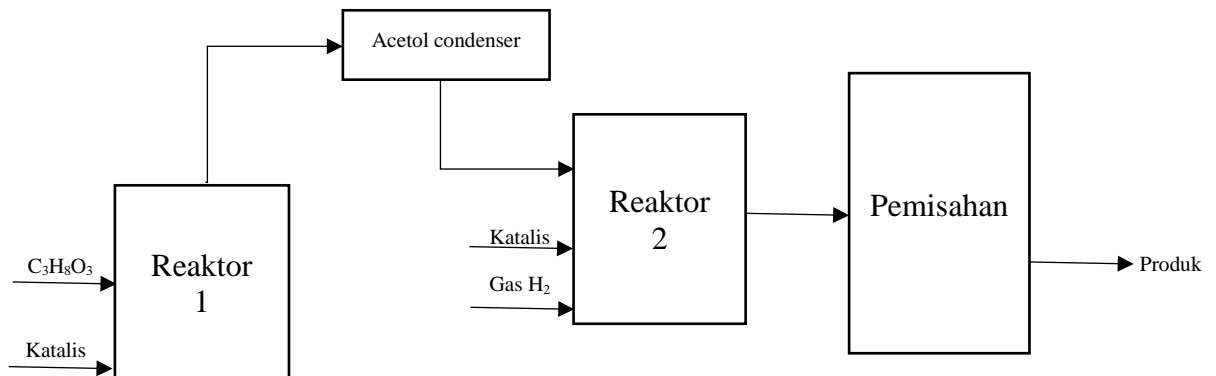
2. Hidrogenolisis Gliserol

Gliserol dapat di hidrogenasi menjadi Propilen glikol dengan adanya katalis logam. Reaksi berlangsung dalam 2 tahapan proses, pertama gliserol didehidrasi menjadi asetol dengan bantuan katalis logam, setelah itu asetol dihidrogenasi menjadi Propilen glikol menggunakan katalis yang sama. Selektivitas produk bergantung pada katalis yang digunakan, dan katalis terbaik merupakan *copper chromite* (Ullman, 2019). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Reaksi berlangsung pada suhu 200°C dan tekanan gas hidrogen sebesar 200 psi.

Yield Propilen glikol yang dihasilkan sebesar 85% (Dasari, et al., 2005).



Gambar 2. 2. Blok Diagram Pembuatan Propilen Glikol Melalui Proses Hidrogenolisis Gliserol

2.2 Tinjauan Proses

1. Berdasarkan Kelayakan Ekonomi

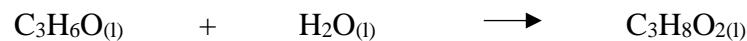
Kapasitas produksi yang dirancang pada pendirian pabrik *propylene glycol* di tahun 2027 ini sebesar 45.000 ton/ tahun. Dalam satu tahun, pabrik dirancang untuk beroperasi selama 330 hari, maka kapasitas produksi untuk setiap $\frac{kg}{jam}$ sebesar :

$$\frac{45.000 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1.000 \text{ kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} = \frac{5.682,0562 \text{ kg}}{\text{jam}}$$

Tabel 2. 1. Tabel Berat Molekul dan Harga Komponen Bahan Baku dan Produk

Komponen	BM (kg/jam)	Harga (\$/kg)
C ₃ H ₆ O _(l)	0,05808	1,8
H ₂ O _(l)	0,01801	-
C ₃ H ₈ O _{3(l)}	0,09209	1,3
C ₃ H ₆ O _{2(l)}	0,07401	1,2
H _{2(g)}	0,001	3
C ₃ H ₈ O _{2(l)}	0,07609	2,8

1. Hidrasi Propilen Oksida



Stoikiometri persamaan proses Hidrasi Propilen Oksida

	C ₃ H ₆ O _(l)	+	H ₂ O _(l)	→	C ₃ H ₈ O _{2(l)}	
Mula-mula	n_{A0}		n_{B0}		-	
Bereaksi	$-n_{A0} \cdot X$		$-n_{A0} \cdot X$		$n_{A0} \cdot X$	mol/jam
Sisa	$n_{A0} \cdot (1 - X)$		$n_{B0} - n_{A0} \cdot X$		$n_{A0} \cdot X$	mol/jam

Untuk kapasitas produksi C₃H₈O_{2(l)} sebesar $\frac{5.682,0562 \text{ kg}}{\text{jam}}$ dengan besar konversi sebesar 90% terhadap C₃H₆O (Chen and Seider, 2014), maka jumlah mol/jam C₃H₈O₂ yang dihasilkan sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Mol C}_3\text{H}_8\text{O}_2 &= \frac{\text{massa}}{\text{BM}} \\ &= \frac{5.682,0562 \text{ kg jam}}{76,09 \text{ g/mol}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$= 74.675,4659 \text{ mol/jam}$$

Karena koefisien $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2 = \text{C}_3\text{H}_6\text{O}$, maka mol $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$ yang terbentuk sama dengan mol $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ yang bereaksi, sehingga mol $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ umpan masuk reaktor dapat dicari dengan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} \text{mol C}_3\text{H}_6\text{O} &= n_{A0} \cdot X \\ 74.675,4659 \text{ mol} &= n_{A0} \cdot 0,90 \\ n_{A0} &= \frac{74.675,4659 \text{ mol}}{0,90} \\ n_{A0} &= 82.972,73 \text{ mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari mol H_2O mula-mula dapat diperoleh melalui:

$$n_B = n_{B0} - n_{A0} \cdot X$$

Dengan $n_B = 0$, karena H_2O habis bereaksi, maka

$$\begin{aligned} n_B &= n_{B0} - n_{A0} \cdot X \\ 0 &= n_{B0} - (82.972,73 \text{ mol} \cdot 0,90) \\ n_{B0} &= 74.675,46 \text{ mol} \end{aligned}$$

Maka diperoleh:

	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_{(l)}$	+	$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	\longrightarrow	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_{2(l)}$	
Mula-mula	82.972,73		74.675,46		-	
Bereaksi	82.972,73*90%		74.675,46		82.972,73*90%	mol/jam
Sisa	8.297,27		0		74.675,46	mol/jam

➤ Propylene Oxide ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) yang dibutuhkan sebagai umpan

$$\begin{aligned} \text{Massa mula-mula} &= \text{mol} \times \text{BM} \\ &= 82.972,73 \text{ mol/jam} \times 0,05808 \text{ kg/mol} \\ &= 4.819,05 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cost C}_3\text{H}_6\text{O} &= \text{massa} \times \text{harga/kg} \\ &= 4.819,05 \text{ kg/jam} \times 1,8 \text{ \$/kg} \\ &= 8.674,30 \text{ \$/jam} \end{aligned}$$

➤ Propylene glycol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$) yang dihasilkan

$$\text{Massa yang dihasilkan} = \text{mol} \times \text{BM}$$

$$= 74.675,46 \text{ mol/jam} \times 0,07609 \text{ kg/mol}$$

$$= 5.682,06 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Cost C}_3\text{H}_6\text{O}_2 = \text{massa yang dibutuhkan} \times \text{harga/kg}$$

$$= 5.682,06 \text{ kg/jam} \times 2,8 \text{ \$/kg}$$

$$= 15.909,75 \text{ \$/jam}$$

$$\text{Keuntungan} = \text{Harga produk} - \text{Harga bahan baku}$$

$$= 15.909,75 \text{ \$/jam} - 8.674,30 \text{ \$/jam}$$

$$= 7.235,45 \text{ \$/jam}$$

$$= 57.304.805,51 \text{ \$/tahun}$$

2. Hidrogenasi Gliserol

Reaksi pembentukan *propylene glycol* dari gliserol melalui reaksi sebagai berikut:



Stoikiometri persamaan kedua:

	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2(\text{g})$	+	$\text{H}_2(\text{g})$	\longrightarrow	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2(\text{l})$	
Mula-mula	n_{A0}		n_{B0}		-	
Bereaksi	$-n_{A0} \cdot X$		$-n_{A0} \cdot X$		$n_{A0} \cdot X$	mol/jam
Sisa	$n_{A0} \cdot (1 - X)$		$n_{B0} - n_{A0} \cdot X$		$n_{A0} \cdot X$	mol/jam

Untuk kapasitas produksi $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2(\text{l})$ sebesar $\frac{5.682,0562 \text{ kg}}{\text{jam}}$ dengan besar konversi

reaksi sebesar 85% (Sharanda, dkk, 2015), maka jumlah mol/jam $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$ yang dihasilkan sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Mol C}_3\text{H}_8\text{O}_2 &= \frac{\text{massa}}{\text{BM}} \\ &= \frac{5.682,0562 \text{ kg/jam}}{76,09 \text{ g/mol}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \\ &= 74.675,4659 \text{ mol/jam} \end{aligned}$$

Karena koefisien $C_3H_8O_2 = C_3H_6O_2$, maka mol $C_3H_8O_2$ yang terbentuk sama dengan mol $C_3H_6O_2$ yang bereaksi, sehingga mol $C_3H_6O_2$ umpan masuk reaktor dapat dicari dengan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} \text{mol } C_3H_6O &= n_{A0} \cdot X \\ 74.675,4659 \text{ mol} &= n_{A0} \cdot 0,85 \\ n_{A0} &= \frac{74.675,4659 \text{ mol}}{0,85} \\ n_{A0} &= 87.853,49 \text{ mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari mol H_2 mula-mula dapat diperoleh melalui:

$$n_B = n_{B0} - n_{A0} \cdot X$$

Dengan $n_B = 0$, karena H_2 habis bereaksi, maka

$$\begin{aligned} n_B &= n_{B0} - n_{A0} \cdot X \\ 0 &= n_{B0} - (87.853,49 \text{ mol} \cdot 0,85) \\ n_{B0} &= 74.675,46 \text{ mol} \end{aligned}$$

Diperoleh:

	$C_3H_6O_{2(g)}$	+	$H_{2(g)}$	\longrightarrow	$C_3H_8O_{2(l)}$	
Mula-mula	87.853,49		74.675,46		-	
Bereaksi	$87.853,49 \cdot 0,9$		$87.853,49 \cdot 0,9$		$87.853,49 \cdot 0,9$	mol/jam
Sisa	13.178,02		0		74.675,46	mol/jam

Dari reaksi 2, diketahui jika dibutuhkan $C_3H_6O_{2(g)}$ sebanyak 87.853,49 mol/jam, dan konversi reaksi sebesar 75% (Bozga, dkk, 2011) maka:

Stoikiometri persamaan pertama:

	$C_3H_8O_{3(g)}$	\longrightarrow	$C_3H_6O_{2(g)}$	+	$H_2O_{(g)}$	
Mula-mula	n_{A0}		-		-	
Bereaksi	$n_{A0} \cdot X$		$n_{A0} \cdot X$		$n_{A0} \cdot X$	mol/jam
Sisa	$n_{A0} \cdot (1 - X)$		$n_{A0} \cdot X$		$n_{A0} \cdot X$	mol/jam

Karena koefisien $C_3H_6O_2 = C_3H_8O_3$, maka mol $C_3H_6O_2$ yang terbentuk sama dengan mol $C_3H_8O_3$ yang bereaksi, sehingga mol $C_3H_8O_3$ umpan masuk reaktor dapat dicari dengan perhitungan berikut:

$$\text{mol } C_3H_6O_2 = n_{A0} \cdot X$$

$$87.853,49 \text{ mol} = n_{A0} \cdot 0,75$$

$$n_{A0} = \frac{87.853,49 \text{ mol}}{0,75}$$

$$n_{A0} = 117.137,99 \text{ mol}$$

Diperoleh :

	$C_3H_8O_3(g)$	\longrightarrow	$C_3H_6O_2(g)$	+	$H_2O(g)$	
Mula-mula	117.137,99		-		-	
Bereaksi	$117.137,99 \cdot 0,75$		87.853,49		87.853,49	mol/jam
Sisa	29.284,50		87.853,49		87.853,49	mol/jam

➤ Gliserol ($C_3H_8O_3$) yang dibutuhkan sebagai umpan

$$\begin{aligned} \text{Massa mula-mula} &= \text{mol} \times \text{BM} \\ &= 117.137,99 \text{ mol/jam} \times 0,09209 \text{ kg/mol} \\ &= 10.787,23 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cost } C_3H_8O_3 &= \text{massa mula-mula} \times \text{harga/kg} \\ &= 10.787,23 \text{ kg/jam} \times 1,3 \text{ \$/kg} \\ &= 14.023,40 \text{ \$/jam} \end{aligned}$$

➤ Gas Hidrogen (H_2) yang dibutuhkan sebagai umpan

$$\begin{aligned} \text{Massa mula-mula} &= \text{mol} \times \text{BM} \\ &= 74.675,46 \text{ mol/jam} \times 0,001 \text{ kg/mol} \\ &= 87,85 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cost } H_2 &= \text{massa mula-mula} \times \text{harga/kg} \\ &= 87,85 \text{ kg/jam} \times 3 \text{ \$/kg} \\ &= 263,56 \text{ \$/kg} \end{aligned}$$

➤ Propylene glycol ($C_3H_8O_2$) yang dihasilkan

$$\begin{aligned} \text{Massa yang dihasilkan} &= \text{mol} \times \text{BM} \\ &= 74.675,46 \times 0,07609 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 5.682,05 \text{ kg/jam} \\
 \text{Cost C}_3\text{H}_8\text{O}_2 &= \text{massa yang dibutuhkan} \times \text{harga/kg} \\
 &= 5.682,05 \text{ kg/jam} \times 2,8 \text{ \$/kg} \\
 &= 15.909,75 \text{ \$/jam} \\
 \\
 \text{Keuntungan} &= \text{Harga produk} - \text{Harga bahan baku} \\
 &= 15.909,75 \text{ \$/jam} - (14.023,40 + 263,56) \text{ \$/jam} \\
 &= 1.622,78 \text{ \$/jam} \\
 &= 12.852.486,15 \text{ \$/tahun}
 \end{aligned}$$

2. Berdasarkan Termodinamika

Pemilihan proses berdasarkan kelayakan termodinamika dapat dilihat dari nilai perubahan entalpi (ΔH) dan perubahan *gibbs free energy* (ΔG). 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).

Panas pembentukan standar (ΔH°_f) merupakan besarnya panas reaksi yang dihasilkan atau dibutuhkan untuk berlangsungnya suatu reaksi kimia. ΔH yang bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut membutuhkan panas pada proses berlangsungnya reaksi (*endoterm*), sedangkan ΔH yang bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi (*eksoterm*).

Sedangkan Energi Gibbs standar (ΔG°_f) menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia. ΔG atau perubahan *Gibbs free energy* yang mengidentifikasi apakah sebuah proses berjalan secara spontan ($\Delta G < 0$) dan

hanya sedikit membutuhkan energi, pada kesetimbangan ($\Delta G = 0$) atau proses ($\Delta G > 0$) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga dibutuhkan energi tambahan dari luar. (Lee, 2000). Nilai ΔH dan ΔG reaksi dari kedua proses dapat dihitung sebagai berikut:

1. Hidrasi Propilen Oksida



Tabel 2. 2. Nilai ΔS°_{f298} dan ΔH°_{f298} setiap komponen (Yaws, 1999)

Komponen	ΔH°_{f298} (kJ/mol)	ΔS°_{f298} (J/mol)
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_{(l)}$	-92,76	-224,69
$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	-241,8	10,062
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_{2(l)}$	-433	-431,06

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

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \Delta H_f \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2 - (\Delta H_f \text{C}_3\text{H}_6\text{O} + \Delta H_f \text{H}_2\text{O}) \\ &= -98,44 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui kondisi termodinamika disuhu reaksi 30°C, maka digunakan perhitungan sebagai berikut

$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = \Delta H^\circ_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \cdot dT \quad (\text{Smith } et \text{ al.}, 2001)$$

$$\int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} \cdot dT = \Delta A(T-T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2-T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3-T_0^3) + \frac{\Delta D}{4}(T^4-T_0^4)$$

Berikut ini adalah nilai kapasitas panas (C_p) untuk masing-masing komponen:

Tabel 2. 3. Konstanta Panas (C_p) setiap komponen (Yaws, 1999)

Komponen	Koefisien	A	B	C	D
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_{(l)}$	-1	53,347	0,5154	-1,8029E-03	2,7795E-06
$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	-1	92,053	-3,9953E-02	-2,1103E-04	5,3469E-07
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_{2(l)}$	1	118,614	0,6728	-1,8377E-03	2,1303E-06

Komponen	Koefisien	A	B	C	D
	Δ	-26,786	0,197353	0,00017623	-1,1838E-06

$$\int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} \cdot dT = (-26,786)(303,15-298,15) + \frac{0,197353}{2}(303,15^2 - 298,15^2) + \frac{0,00017623}{3}(303,15^3 - 298,15^3) + \frac{-1,1838E-06}{4}(303,15^4 - 298,15^4)$$

$$= 81,5129 \text{ J/mol}$$

$$= 0,0815 \text{ kJ/mol}$$

Sehingga,

$$\Delta H = \Delta H^0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT$$

$$= (-98,44 \text{ kJ/mol}) + ((8,314E-03 \text{ kJ/mol}) \times (0,0815 \text{ kJ/mol}))$$

$$= -98,4393 \text{ kJ/kmol}$$

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

$$\Delta G_{303} = \Delta H_{303} - T\Delta S_{303}$$

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

$$S_{303} = S_{298} + C_p \ln \frac{T_1}{T_2}$$

$$C_p = A + B.T + C.T^2 + D.T^3$$

Dengan data S_1 pada Tabel 2.3 dan data konstanta kapasitas panas pada Tabel 2.4 maka C_p dan S pada suhu 30°C dapat dihitung dan didapatkan hasil sebagai berikut

Tabel 2. 4 Nilai C_{p303} dan S_{303} Setiap Komponen

Komponen	C_{p303} (J/mol.K)	S_{303} (J/mol.K)
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_{(l)}$	1,2135E+02	-2,2671E+02
$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	7,5444E+01	8,8073E+00
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2_{(l)}$	2,1305E+02	-4,3460E+02

$$\text{Maka, } \Delta S = \sum_i v_i \cdot \Delta S \quad (\text{Chang, 2004})$$

$$\Delta S_{303} = \Delta S \text{ C}_3\text{H}_8\text{O}_2 - (\Delta S \text{ C}_3\text{H}_6\text{O} + \Delta S \text{ H}_2\text{O})$$

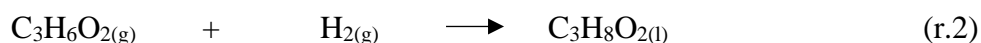
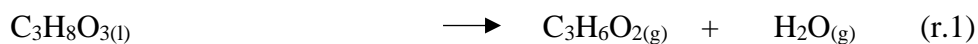
$$= -434,60 - (-226,70 + 8,80)$$

$$= -216,70 \text{ J/mol.K}$$

$$\begin{aligned}
 &= -0,21670 \text{ kJ/mol.K} \\
 \Delta G &= \Delta H - T\Delta S \\
 \Delta G_{303} &= -98,4393 \text{ kJ/mol} - (303,15 \text{ K} \times -0,21670 \text{ kJ/mol.K}) \\
 &= -32,73 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Panas reaksi total = -98,4393 kJ/mol. Panas reaksi bernilai negatif sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa reaksi pembentukan *propylene glycol* melalui hidrasi propilen oksida merupakan reaksi eksotermis. Kemudian berdasarkan nilai ΔG total yang telah didapatkan sebesar -32,73 kJ/mol, nilai ΔG yang bernilai negatif menunjukkan bahwa reaksi dapat berlangsung secara spontan

2. Hidrogenasi Gliserol



Tabel 2. 5. Nilai ΔS°_{f298} dan ΔH°_{f298} setiap komponen (Yaws, 1999)

Komponen	ΔH°_{f298} (kJ/mol)	ΔS°_{f298} (J/mol)
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3(\text{l})$	-582,8	-352,17
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2(\text{g})$	-179,29	-285,76
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2(\text{l})$	-433	-431,06
$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	-241,8	10,062
$\text{H}_2(\text{g})$	-4,2	130,68

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

$$\begin{aligned}
 \Delta H^\circ_{r.1} &= (\Delta H^\circ_f \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2 + \Delta H^\circ_f \text{H}_2\text{O}) - \Delta H^\circ_f \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 \\
 &= (-179,29 + (-241,8)) - (-582,8) \\
 &= 161,71 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H^\circ_{r.2} &= \Delta H^\circ_f \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2 - (\Delta H^\circ_f \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2 + \Delta H^\circ_f \text{H}_2) \\
 &= -433 - (-179,29 + (-4,2)) \\
 &= -249,51 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H^\circ \text{ total reaksi} &= 161,71 \text{ kJ/mol} + (-249,51) \text{ kJ/mol} \\
 &= -87,80 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui kondisi termodinamika disuhu reaksi 200°C, maka digunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\Delta H_{\text{reaksi}}^{\circ} = \Delta H_0^{\circ} + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \cdot dT \quad (\text{Smith } et \text{ al.}, 2001)$$

$$\int_{T_0}^T \frac{C_p}{R} \cdot dT = \Delta A(T-T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2-T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3-T_0^3) + \frac{\Delta D}{4}(T^4-T_0^4)$$

Berikut ini adalah nilai kapasitas panas (Cp) untuk masing-masing komponen

Tabel 2. 6. Konstanta Panas (Cp) setiap komponen (Yaws, 1999)

Komponen	A	B	C	D
C ₃ H ₈ O _{3(l)}	90,105	0,8601	-1,9745E-03	1,8068E-06
C ₃ H ₆ O _{2(g)}	57,308	0,5154	-1,80E-03	2,7795E-06
C ₃ H ₈ O _{2(l)}	118,614	0,6728	-1,8377E-03	2,1303E-06
H ₂ O _(g)	33,933	-8,4186E-03	2,9906E-05	-1,7825E-08
H _{2(g)}	25,399	2,0178E-02	-3,8549E-05	3,1880E-08

$$\Delta H_{\text{reaksi}(r.1)}^{\circ} = 161,69 \text{ kJ/mol} + (0,003418 \times (-5,6489 \text{ kJ/mol})) = 161,69 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}(r.2)}^{\circ} = -249,51 \text{ kJ/mol} + (0,003418 \times (8,232 \text{ kJ/mol})) = -249,47 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}}^{\circ} \text{ total} = 161,69 \text{ kJ/mol} + (-249,48) \text{ kJ/mol} = -87,8 \text{ kJ/mol}$$

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

$$\Delta G_{303} = \Delta H_{303} - T\Delta S_{303}$$

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

$$S_{303} = S_{298} + C_p \ln \frac{T_1}{T_2}$$

$$C_p = A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3$$

Dengan data S₁ pada Tabel 2.6 dan data konstanta kapasitas panas pada Tabel 2.7 maka Cp dan S pada suhu 200°C dapat dihitung dan didapatkan hasil sebagai berikut

Tabel 2. 7. Nilai Cp₄₇₃ dan S₄₇₃ Setiap Komponen

Komponen	Cp ₄₇₃ (J/mol.K)	S ₄₇₃ (J/mol.K)
C ₃ H ₈ O _{3(l)}	246,41	-196,89

$C_3H_6O_2(l)$	191,96	-164,79
$H_2(g)$	29,25	-412,62
$H_2O(g)$	35,13	31,30
$C_3H_8O_2(l)$	251,20	288,97

$$\text{Maka, } \Delta S = \sum_i v_i \cdot \Delta S \quad (\text{Chang, 2004})$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{473(r.1)} &= (\Delta S C_3H_6O_2 + \Delta S H_2O) - \Delta S C_3H_8O_3 \\ &= 70,873 \text{ J/mol.K} = 0,0708 \text{ kJ/mol.K} \end{aligned}$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$$\begin{aligned} \Delta G_{473(r.1)} &= 161,68 \text{ kJ/mol} - (473,15 \text{ K} \times 0,03210 \text{ kJ/mol.K}) \\ &= 126,72 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{473(r.2)} &= \Delta S C_3H_8O_2 - (\Delta S C_3H_6O_2 + \Delta S H_2) \\ &= 847,5 \text{ J/mol.K} = 0,8475 \text{ kJ/mol.K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G_{473(r.2)} &= -249,48 \text{ kJ/mol} - (473,15 \text{ K} \times 0,8475 \text{ kJ/mol.K}) \\ &= -667,423 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{total}} &= 126,72 \text{ kJ/mol} + -650,47 \text{ kJ/mol} \\ &= -540,69 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Panas reaksi pada reaksi 1 = 161,69 kJ/mol, sedangkan pada reaksi 2 = -249,47. Panas reaksi pada reaksi 1 bernilai positif, menunjukkan bahwa reaksi bersifat endotermis, sedangkan pada reaksi 2 panas reaksi bernilai negatif yang menunjukkan bahwa reaksi bersifat eksotermis. Kemudian berdasarkan nilai ΔG reaksi 1 didapatkan sebesar 126,72 kJ/mol menunjukkan bahwa reaksi tidak dapat berlangsung secara spontan, pada reaksi 2 nilai ΔG didapatkan sebesar -540,69 kJ/mol yang menunjukkan reaksi dapat berlangsung secara spontan .

2.3 Pemilihan Proses

Dari uraian jenis jenis proses dan seleksi proses pembuatan *propylene glycol* melalui reaksi hidrasi *propylene oxide* dan melalui reaksi hidrogenasi *glycerol* di atas, dapat disimpulkan sebagai berikut :

Tabel 2. 8. Perbandingan Antara Proses Pembuatan *Propylene Glycol* Melalui Reaksi Hidrasi *Propylene Oxide* Dan Melalui Reaksi Hidrogenasi *Glycerol*

Tinjauan	Hidrasi <i>Propylene Oxide</i>	Hidrogenasi <i>Glycerol</i>
Bahan baku	<i>Propylene oxide</i> (impor), air	<i>Glycerol</i> (lokal), gas hidrogen
Reaktor	CSTR	<i>Packed bed reactor</i>
Suhu (°C)	30	220
Tekanan (atm)	1	13,06
Konversi (%)	90	Rx.1: 75 Rx.2: 85
Pemurnian	Menara Distilasi	Menara Distilasi
Fase Reaksi	Cair - cair	Rx.1: cair - gas Rx.2: gas - cair
Katalis	H ₂ SO ₄	<i>copper chromite</i>
ΔH_r (kJ/mol)	-98,44	-87,8
ΔG_r (kJ/mol)	-32,389	-540,69
Profit (\$/tahun)	57.302.404,22	12.852.486,15

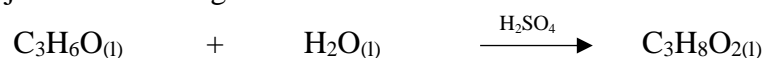
Melalui perbandingan Tabel 2.9, maka proses yang dipilih adalah proses hidrasi Propilen glikol dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Suhu reaksi dan tekanan reaksi lebih rendah
2. Reaksi hanya berlangsung 1 tahap, dan konversi reaksi mencapai 90%.
3. Keuntungan yang dicapai lebih besar.

2.4 Deskripsi Proses

Proses pembuatan Propilen glikol dari propilen oksida dan air dapat dilakukan secara hidrasi dengan menggunakan katalis asam sulfat yang berlangsung dalam suatu reaktor alir tangki berpengaduk (CSTR) yang beroperasi secara kontinu pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm (Chen dan Seider, 2004). Umpan masuk yaitu propilen oksida dengan kemurnian 99%, metanol dengan kemurnian 98%, air dan arus *recycle* dari keluaran atas menara distilasi yang sebelumnya dikondensasi, dialirkan

menuju reaktor dengan ditambahkan katalis asam sulfat sebanyak 0,1% dari total berat umpan dialirkan menuju reaktor pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



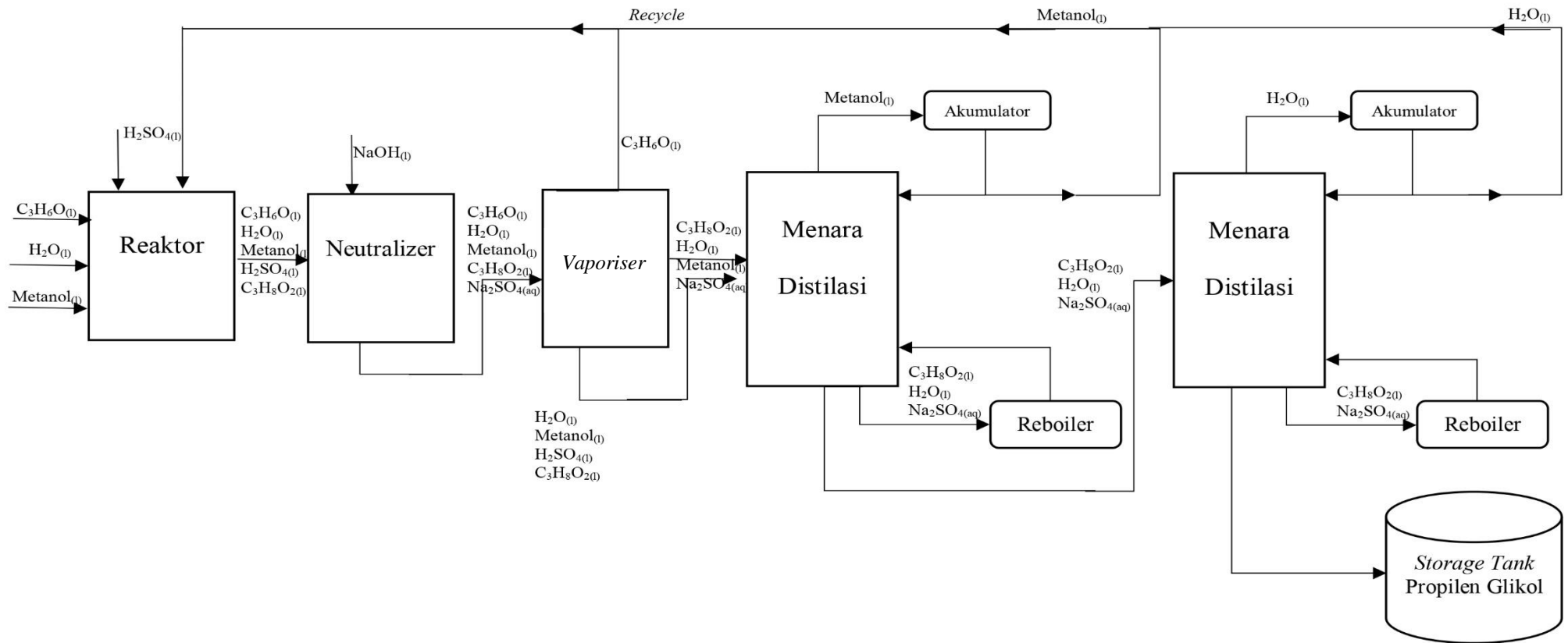
Dengan data perbandingan mol umpan masuk propilen oksida : metanol : air = 1 : 1,66 : 8,65

Konversi Propilen glikol adalah 90% terhadap bahan baku propilen oksida dengan jenis reaksinya adalah reaksi hidrasi. Reaksi yang terjadi bersifat eksotermis atau menghasilkan panas, sehingga untuk menjaga agar kondisi operasi di reaktor tetap isothermal maka digunakan jaket dengan air pendingin didalamnya untuk mengambil panas reaksi.

Produk keluaran reaktor kemudian dialirkan kedalam *neutralizer* untuk menetralkan asam sulfat, selanjutnya produk keluaran *neutralizer* dipisahkan dari sisa propilen oksida yang tidak terkonversi menggunakan *flash drum*. Propilen oksida yang terpisah *direcycle* dan dimasukkan kembali kedalam reaktor. Proses penetralan dilakukan dengan menambahkan sodium hidroksida. Reaksi yang terjadi dalam *neutralizer* adalah sebagai berikut:



Produk bawah yang keluar dari *flash drum* kemudian dimurnikan kembali menggunakan dua buah menara distilasi. Menara distilasi dioperasikan secara seri, menara distilasi pertama digunakan untuk memisahkan metanol dari campuran lainnya sedangkan menara distilasi kedua digunakan untuk memisahkan air dari produk akhir. Hasil atas kedua menara distilasi dikondensasikan dan kemudian di *recycle* menuju reaktor.



Gambar 2. 3 Blok Diagram Proses Pembuatan Propilen Glikol

III. SIFAT DAN SPESIFIKASI BAHAN BAKU

3.1 Spesifikasi Bahan Baku Utama

1. Propilen Oksida (C₃H₆O)

Keadaan Fisik	: Cairan tidak berwarna, berbau seperti alkohol
Berat Molekul	: 58,08 g/mol
Titik Didih	: 34°C (1 atm)
Titik Beku	: -112°C (1 atm)
Titik Nyala	: -37°C (Cawan tertutup)
Densitas	: 0,830 kg/m ³ (30°C)
Viskositas	: 0,302 cp (30 °C)
Konduktivitas Termal	: 0,1705 W.cm ⁻¹ .K ⁻¹ (30°C)
Kemurnian	: 99%
<i>Impurities</i>	: Air 1%
Kelarutan	: 14,7 wt % (Dalam air pada suhu 30°C) 65,5 wt % (Dalam metanol pada suhu 30°C) (Dow <i>Technical Data Sheet, Propylene Oxide</i>)

2. Air (H₂O)

Wujud	: Cairan tidak berwarna, dan tidak berasa
Berat Molekul	: 18,01 g/mol
Titik Didih	: 100°C (1 atm)
Titik Beku	: 0°C (1 atm)
Titik Leleh	: -97, 8°C (1 atm)
Densitas	: 997 kg/m ³ (30°C)
Viskositas	: 0,911 cp (30 °C)
Konduktivitas Termal	: 0,607 W.cm ⁻¹ .K ⁻¹ (30°C)

Kelarutan : Larut dalam asam asetat. Larut dalam aseton. Larut dalam amonia. Larut dalam amonium klorida. Larut dalam etanol. Larut dalam gliserol. Larut dalam asam klorida. Larut dalam metanol. Larut dalam asam nitrat. Larut dalam asam sulfat. Larut dalam larutan natrium hidroksida. Larut dalam Propilen glikol

(LabChem)

3.2 Spesifikasi Bahan Baku Penunjang

1. Metanol (CH₃OH)

Wujud : Cairan tidak berwarna
 Berat Molekul : 32,04 g/mol
 Titik Didih : 64,7°C (1 atm)
 Titik Nyala : 10 °C (Cawan tertutup)
 Titik Lebur : -97,8°C (1 atm)
 Densitas : 729 kg/m³ (30°C)
 Viskositas : 0,597 cp (30 °C)
 Kemurnian : 98%
Impurities : Air 2%
 Kelarutan Dalam Air : 1000 g/l (30°C)

(PT Kaltim Metanol Industri, MSDS of *Methanol*)

2. Asam Sulfat (H₂SO₄)

Wujud : Cairan tidak berwarna
 Berat Molekul : 38,08 g/mol
 Titik Didih : 270 °C (1 atm)
 Titik Lebur : 10,36 °C (1 atm)
 Densitas : 1.840 kg/m³ (30°C)

Kemurnian	: 98%
<i>Impurities</i>	: Air 2%
Kelarutan Dalam Air	: 106 mg/L (30°C)

(Petrokimia Gresik, MSDS Asam Sulfat)

3. Sodium Hidroksida (NaOH)

Wujud	: Cairan tidak berwarna
Berat Molekul	: 39,98 g/mol
Titik Didih	: 120°C (1 atm)
Titik Leleh	: 9°C (1 atm)
Densitas	: 1,35 g/cm ³ (20°C)
Kemurnian	: 78%
<i>Impurities</i>	: Air 2%
Kelarutan Dalam Air	: 1000 g/l (25°C)

(Asiamarco Pacific, MSDS Sodium Hydroxide, Liquid (L-NaOH))

3.3 Spesifikasi Produk

1. Propilen Glikol sebagai produk utama (C₃H₈O₂)

Keadaan Fisik	: Cairan tidak berwarna
Berat Molekul	: 76,09 g/mol
Titik Didih	: 187 °C (1 atm)
Titik Beku	: < -70°C (1 atm)
Titik Nyala	: 87 °C (Cawan tertutup)
Densitas	: 1,056 g/cm ³ (30°C)
Viskositas	: 2,49 mPas (28°C)
Konduktivitas Termal	: 0,2006 W.cm ⁻¹ .K ⁻¹ (30°C)
Kemurnian	: 99,44%
<i>Impurities</i>	: Air 0,06%; Na ₂ SO ₄ 0,5%
Kelarutan	: Larut dalam air, etanol, dan aseton.

(Dow *Technical Data Sheet, Propylene Glycol*)

X. KESIMPULAN DAN SARAN

10.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi pabrik *Propylene Glycol* dari *Propylene Oxide* dan Air dengan katalis Asam Sulfat kapasitas 45.000 ton/tahun, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1) *Percent Return on Investment* (ROI)

Presentase ROI sebelum pajak sebesar 37,15% dan ROI setelah pajak sebesar 29,72%. Syarat ROI sebelum pajak untuk pabrik kimia beresiko rendah minimum adalah 11% (Aries & Newton, 1955, hal 193). Pabrik ini telah memenuhi syarat batas ROI sebelum pajak yang disyaratkan.

2) *Pay Out Time* (POT)

POT sebelum pajak selama 1,86 tahun dan POT setelah pajak selama 2,2 tahun. Syarat POT sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan resiko rendah maksimum adalah 5 tahun (Aries & Newton, 1955, hal 196).

3) *Break Even Point* (BEP) sebesar 43,27% dari kapasitas produksi. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 24,28%, yakni batasan kapasitas produksi 20–30% sehingga pabrik masih dapat memproduksi karena mendapat keuntungan.

4) *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR) sebesar 25,25%. Suku bunga pinjaman investasi di bank saat ini adalah 9,84% (www.bi.go.id, akhir april 2023). Syarat minimum DCFR adalah di atas suku bunga pinjaman bank yaitu sekitar 1,5 x suku bunga pinjaman bank ($1,5 \times 9,84\% = 14,76\%$).

Dari hasil analisis ekonomi di atas dapat disimpulkan bahwa pabrik *propylene glycol* dari *propylene oxide* dan air dengan kapasitas 45.000 ton per tahun ini layak dan menarik untuk dikaji lebih lanjut.

10.2 Saran

Perancangan Pabrik *Propylene Glycol* dari *Propylene Oxide* dan Air dengan katalis Asam Sulfat kapasitas 45.000 ton per tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut baik dari segi proses maupun ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R.S., Newton, RD., 1955, Chemical Engineering Cost Estimation, Mc.Graw Hill Book Company Inc, New York, Toronto, London.
- Badan Pusat Statistik, 2018-2022, Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia, <http://www.bps.go.id/> , diakses 3 maret 2023, pukul 20.00 WIB.
- Bank Indonesia, 2023, “BI Rate”, (Online), (<https://www.bi.go.id/id/moneter/birate/data/Default.aspx>).
- Brown, G.G, 1956, “Unit Operation”, New York: John Wiley and Son, Inc.
- Brownell, I.E, and Young, E.H., 1959, “Process Equipment Design”, New York: John Wiley and Son, Inc.
- Chan, A., et al. 2004, “Batch Manufacture of Propylene Glycol”, Department of Chemical and Biomolecular Engineering University of Pennsylvania, Pennsylvania.
- Coulson, J.H, and Richardson, J.F., 2005, “Chemical Engineering, An Introducing to Chemical Engineering Design”, vol. 6, Oxford: Pergamon Press.
- Dasari, R., et al. 2005, “Production of Propylene Glycol from Glycerol”, European Patent, EP 2540692 A2.
- Dow Company, Materials Science. 2022, <http://www.Dow.com> ., diakses pada 11 Oktober 2022, pukul 20.00 WIB.
- Fogler, H. Scott. 1999. Elements of Chemical Reaction Envgineering 4 th edition. Prentice Hall International Inc. : United States of America.
- Geankoplis, C.J., 1993, “Transport Processes and Unit Operations”, 3 ed., New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.
- Google Map. 2023. Peta JIPE. Diakses pada 20 mei 2023, pukul 20.00 WIB.

- Himmeblau. David., 1996, Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering, Prentice Hall Inc, New Jersey.
- Kern, D.Q., 1965, "Process Heat Transfer", Kogakusha: Mc. Graw Hill Book Company.
- Kirk, R.E., and Othmer, D.F., 1983, "Encyclopedia of Chemical Technology", 3rd ed., New York: John Wiley and Sons, Inc.
- McCabe. W. L. and Smith. J. C., 1985, Operasi Teknik Kimia, Erlangga, Jakarta.
- Megyesy.E.F., 1983, Pressure Vessel Handbook, Pressure Vessel Handbook Publishing Inc, USA.
- PP Republik Indonesia No.2/2018 tentang Kebijakan Industri Nasional
- Perry, R.H., and Green, D.W., 1986, "Perry's Chemical Engineer's Handbook", 6th ed., New York: Mc Graw Hill Book Co., Inc.
- Peters, M.S., and Timmerhaus, K.D., 1981, "Plant Design and Economics for Chemical Engineers", 3ed, Singapore: Mc. Graw Hill Book Company, Inc.
- Powell, S.P., 1954, "Water Conditioning for Industry", New York: McGraw Hill Book Co., Inc.
- PT Asiamarco Pacific Indonesia, 2022, Produk dan Layanan, <http://www.asiamarcopacific.com>, diakses pada 11 Oktober 2022, pukul 20.00 WIB.
- PT Kaltim Methanol Industries, 2022, Produk dan Layanan, <http://kaltimmethanol.com> diakses pada 11 Oktober 2022, pukul 20.00 WIB.
- PT Petrokimia Gesik, 2014, Bahan Kimia, <http://www.petrokimia.com>, diakses pada 11 Oktober 2022, pukul 20.00 WIB.
- Pubchem, 2022, Material Science, www.pubchem.ncbi.nlm.nih.gov, Diakses pada 11 oktober 2022.

- Smith, J.M., and Van Ness, H.C., 1975, "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics", New York: McGraw Hill Book Co.,Inc.
- Treyball, R.E., 1981, "Mass Transfer Operation", 3 ed., Singapore: Mc. Graw Hill Book Company, Inc.
- Ullman, 2018, Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. A-16, Interscience Encyclopedia, Inc., New York.
- Ulrich, G. D., 1982, A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. University of New Hampshire, USA.
- Walas, S.M ., 1959, "Reaction Kinetics for Chemical Engineer", New York: Mc Graw Hill Book Co., Inc.
- Wordu, A. A & Wosu, C. O., 2019, "CSTR Design for Propylene Glycol Chemical Production", *IJLTEMAS* Vol VIII, Februari 2019.
- Yaws, C.L., 1999, "Chemical Properties Handbook", New York: Mc. Graw Hill Book Company