

**PRARANCANGAN PABRIK ASAM OKSALAT DIHIDRAT  
DARI GLUKOSA DAN ASAM NITRAT DENGAN  
KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN  
(Perancangan Crystallizer (CR-301))**

**(Skripsi)**

**Oleh:**

**FENTI YUNIARTI  
(1715041048)**



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

## ABSTRAK

### PRARANCANGAN PABRIK ASAM OKSALAT DIHIDRAT DARI GLUKOSA DAN ASAM NITRAT DENGAN KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN (Perancangan Crystallizer (CR-301))

Oleh

FENTI YUNIARTI

Asam oksalat merupakan zat kimia yang banyak digunakan dalam industri pengolahan logam, industri cat dan industri tekstil. Penyediaan kebutuhan asam oksalat dalam negeri saat ini masih sepenuhnya diperoleh dari kegiatan impor, sehingga pendirian pabrik asam oksalat di Indonesia memiliki prospek yang baik. Pabrik asam oksalat dihidrat akan didirikan di kawasan industri Bukit Indah City (BIC), Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat dengan proses oksidasi glukosa dengan asam nitrat menggunakan katalis vanadium pentaoksida. Kapasitas produksi pabrik asam oksalat dihidrat direncanakan sebesar 10.000 ton/tahun dengan 300 hari kerja dalam 1 tahun. Bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 138 orang dengan struktur organisasi *line* dan *staff*.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 344.638.572.738
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 60.818.571.660
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 405.457.144.397
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 36%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 22%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) <sub>b</sub>	= 1,71 tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) <sub>a</sub>	= 2,38 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) <sub>b</sub>	= 41%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) <sub>a</sub>	= 27%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 34,20%

Berdasarkan hasil analisis diatas, maka pendirian pabrik asam oksalat dihidrat ini layak untuk dikaji lebih lanjut karena menguntungkan dari sisi ekonomi dan mempunyai prospek yang baik.

## **ABSTRACT**

### **MANUFACTURING OF OXALIC ACID DIHYDRATE FROM GLUCOSE AND NITRIC ACID WITH CAPACITY 10.000 TONS/YEAR (Design of Crystallizer (CR-301))**

**By**

**FENTI YUNIARTI**

*Oxalic acid is a chemical substance widely used in the metal processing industry, paint industry and textile industry. Domestic supply of Oxalic Acid is still fully obtained from import, so the opportunity to establish Oxalic Acid Dihydrate plant has good prospects. The factory location is planned to be established in the Bukit Indah City (BIC), Purwakarta, West Java. The production capacity of the Oxalic Acid Dihydrate plant is planned to be 10.000 tons/year with 300 working days in 1 year. The required labors are 138 people with a bussines entity form Limited Liability Company (PT) with a line organizational structure.*

*From the economic analysis are obtained:*

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 344.638.572.738
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 60.818.571.660
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 405.457.144.397
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 36%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 22%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) <sub>b</sub>	= 1,71 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) <sub>a</sub>	= 2,38 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) <sub>b</sub>	= 41%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) <sub>a</sub>	= 27%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 34,20%

*Based on the above consideration, the establishment of oxalic acid dihydrate plant should be stuidied further because it is a profitable plant from an economic standpoint and has good prospects.*

**PRARANCANGAN PABRIK ASAM OKSALAT DIHIDRAT  
DARI GLUKOSA DAN ASAM NITRAT DENGAN  
KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN  
(Tugas Khusus Perancangan Crystallizer (CR-301))**

**Oleh**

**Fenti Yuniarti**

**1715041048**

**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 ASAM OKSALAT  
DIHIDRAT ((COOH)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O)) DARI GLUKOSA  
(C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) DAN ASAM NITRAT (HNO<sub>3</sub>)  
DENGAN KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN  
(Perancangan Crystallizer (CR-301))

Nama Mahasiswa : Fenti Yuniarti

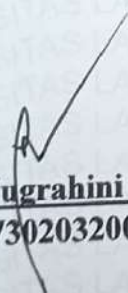
Nomor Pokok Mahasiswa : 1715041048

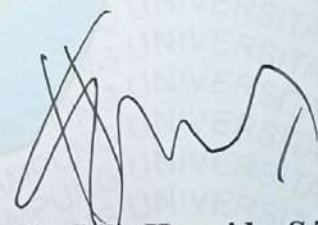
Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

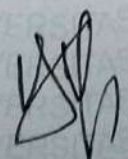


1. Komisi Pembimbing

  
**Panca Nugrahini F, S.T., M.T.**  
**NIP. 197302032000032001**

  
**Dr. Lili Hermida, S.T., M.Sc.**  
**NIP.196902081997032001**

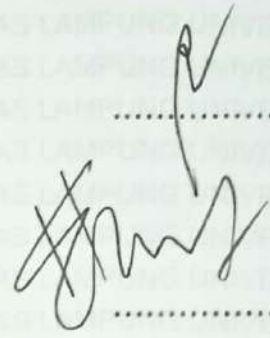
2. Ketua Jurusan

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

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

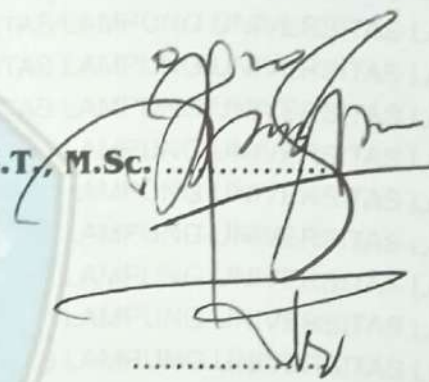
**Ketua : Panca Nugrahini F, S.T., M.T.** .....



**Sekretaris : Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc.** .....

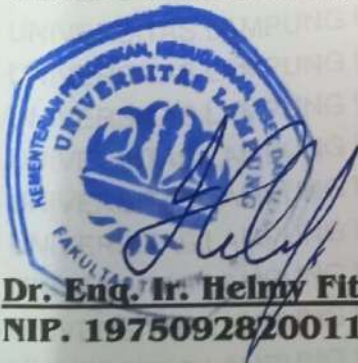
**Penguji**

**Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Joni Agustian, S.T., M.Sc.** .....



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

**2. Dekan Fakultas Teknik**



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

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 03 November 2023**

## PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 20 November 2023



Fenti Yuniarti

NPM. 1715041048

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Simpang Pematang pada tanggal 14 Januari 2000, anak ke-empat dari empat bersaudara dari Bapak Dahnir Dulhani dan Ibu Juhira.

Riwayat pendidikan formal penulis dimulai dari SDN 01 Simpang Pematang (2005-2011), MTsN Seri Tanjung Mesuji (2011-2014) dan menyelesaikan pendidikan Madrasah Aliyah di MAN 1 Mesuji pada tahun 2017.

Pada tahun 2017, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Jalur Masuk Mandiri PMPAP.

Pada tahun 2021 penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Tunas Baru Lampung, Tbk. Pabrik Minyak Kelapa Sawit II, Pancajaya, Mesuji, Lampung dengan tugas khusus “Evaluasi Kinerja *Sterilizer*” serta menjalankan penelitian yang berjudul “Pengaruh Penambahan Kitosan dan Komposisi Massa Pati Kulit Singkong-Selulosa Batang Sorgum pada Sifat Fisik dan Mekanik *Biodegradable Foam*” di Laboratorium Fisika Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Penulis pernah menjadi Asisten Praktikum Mikrobiologi Industri Jurusan Teknik Kimia pada semester ganjil tahun akademik 2019/2020.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi antara lain sebagai Staff Departemen Kesekretariatan Himatemia FT Unila Periode 2018, Staff Departemen Kesekretariatan Himatemia FT Unila Periode 2019, Sekretaris Departemen Hubungan Masyarakat Fossi-FT Unila Periode 2019, serta Wakil Ketua Umum Paguyuban Karya Salemba Empat Universitas Lampung Periode 2020/2021.



## *Motto dan Persembahan*

“Dan jika kamu menghitung-hitung nikmat Allah, niscaya kamu tidak akan dapat menentukan jumlahnya. Sesungguhnya Allah benar-benar Maha Pengampun lagi Maha Penyayang”  
(QS. An-Nahl Ayat 18)

“Milik Allah-lah apa yang ada di langit dan di bumi. Dan Allah Maha Mengetahui terhadap apa yang kamu kerjakan”  
(QS. Ali 'Imran Ayat 180)

“Tidak akan bergeser dua telapak kaki seorang hamba pada hari kiamat sampai dia dimintai pertanggungjawaban tentang umurnya kemana dihabiskan, tentang ilmunya bagaimana ia mengamalkannya, tentang hartanya darimana dia peroleh dan kemana dibelanjakan, serta tentang tubuhnya untuk apa digunakannya”  
(HR. Tirmidzi no. 2417)

## *Sebuah Karya*

*Dengan sepenuh hati kupersembahkan tugas akhir ini kepada:*

### *Allah SWT*

*Hanya dengan berkat kasih sayang-Nya aku dapat menyelesaikan karyaku ini dan mampu bertahan selama ini.*

### *Kedua Orang Tuaku*

*Terima kasih atas segala doa, kasih sayang, pengorbanan, keikhlasan serta kesabarannya. Terimakasih terus mendukungku selama ini.*

### *My Lovely Sisters*

*Terimakasih mba-mba atas dukungan, doa dan bantuannya ;)*

### *Teman-temanku,*

*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

Bismillah

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan judul "Prarancangan Pabrik Asam Oksalat Dihidrat dari Glukosa dan Asam Nitrat dengan Kapasitas 10.000 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 ku. Ayah, Ibu, Mba, Kakak Ipar dan Keponakan ku yang sejak awal telah membersamai, memberikan doa, semangat, biaya, dan bantuan untuk kelancaran proses dalam menempuh pendidikan ini.
2. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung sekaligus Dosen Pembimbing dalam Penelitian dan Kerja Praktek. Terimakasih telah memberikan motivasi serta senantiasa mengingatkan dalam penyelesaian tugas akhir.
3. Ibu Panca Nugrahini F, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
4. Ibu Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Joni Agustian, S.T., M.Sc dan Ibu Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc. selaku Dosen Peguji I dan Dosen Peguji II yang telah memberikan saran dan masukan yang sangat membangun dan bermanfaat dalam

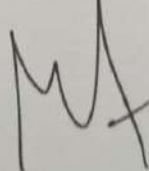
penyelesaian tugas akhir, serta terima kasih telah mengaktifkan logika berfikir terhadap tugas akhir yang dikerjakan.

6. Bapak Prof. Dr. Ir. Joni Agustian, S.T., M.Sc dan Bapak Dr. Heri Rustamaji, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi dan semangat selama masa kuliah.
7. Ayahanda dan Ibunda Yayasan Karya Salemba Empat yang telah memberikan beasiswa dan *support* dana perkuliahan.
8. Kak Yesi Nurbaiti sebagai partner Tugas Akhir. Terimakasih sudah banyak membantu dan berjuang bersama untuk menyelesaikan tahapan menuju Sarjana ini.
9. Sahabat, Teman, sekaligus keluarga Teknik Kimia Unila angkatan 2017. Terimakasih telah menemani Fenti ber-*progress* untuk selalu semangat dan optimis di dunia perkuliahan dan terimakasih banyak atas kebersamaannya selama ini. Waktu, dukungan, informasi dan pengetahuan, juga cerita kalian sangat berarti bagiku.
10. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
11. 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, 20 November 2023

Penulis,



Fenti Yuniarti

NPM. 1715041048

## 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>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Kegunaan Produk.....	3
1.3 Ketersediaan Bahan Baku .....	5
1.4 Kapasitas Produksi.....	6
1.5 Lokasi Pabrik .....	10
<b>BAB II PEMILIHAN DAN URAIAN PROSES</b>	
2.1 Jenis Proses .....	15
2.2 Pemilihan Proses .....	18
2.3 Uraian Proses .....	37
<b>BAB III SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK</b>	
3.1. Spesifikasi Bahan Baku .....	40
3.2. Spesifikasi Produk .....	42
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN ENERGI</b>	
4.1. Neraca Massa .....	43
4.2. Neraca Energi.....	50

**BAB V SPESIFIKASI ALAT**

- 5.1 Spesifikasi Alat Unit Proses.....61  
 5.2 Spesifikasi Alat Unit Utilitas .....83

**BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH**

- 6.1. Unit Pendukung Proses .....117  
 6.2. Pengolahan Limbah .....135  
 6.3. Labolatorium.....137  
 6.4. Instrumentasi dan Pengendalian Proses .....141

**BAB VII LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK**

- 7.1. Lokasi Pabrik .....144  
 7.2. Tata Letak Pabrik.....151

**BAB VIII SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI**

- 8.1. Bentuk Perusahaan.....159  
 8.2. Struktur Organisasi Perusahaan .....163  
 8.3. Tugas dan Wewenang .....167  
 8.4. Status Karyawan dan Sistem Penggajian .....179  
 8.5. Kesejahteraan Karyawan .....191

**BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI**

- 9.1. Investasi .....197  
 9.2. Evaluasi Ekonomi .....204

**BAB X SIMPULAN DAN SARAN**

- 10.1. Simpulan .....211  
 10.2. Saran .....211

**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**

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Data Sumber Bahan Baku .....	6
Tabel 1.2. Data Impor Asam Oksalat di Indonesia .....	7
Tabel 1.3. Data Impor Asam Oksalat Malaysia, Filipina dan Vietnam .....	9
Tabel 2.1. Harga Bahan Baku dan produk .....	18
Tabel 2.2. Data $\Delta H_f^\circ$ dan $\Delta G^\circ$ pada 25°C .....	26
Tabel 2.3. Data Kapasitas Bahan Komponen.....	27
Tabel 2.4. Perbandingan Proses Pembuatan Asam Oksalat.....	36
Tabel 4.1. Komposisi Bahan Baku <i>Glucose</i> ( $C_6H_{12}O_6$ ) .....	44
Tabel 4.2. Komposisi Bahan Baku Nitric Acid ( $HNO_3$ ) .....	44
Tabel 4.3. Berat Molekul Komponen.....	44
Tabel 4.4. Neraca Massa pada <i>Mixing Point</i> 1 (MP-101).....	45
Tabel 4.5. Neraca Massa pada <i>Mixing Point</i> 2 (MP-102) .....	45
Tabel 4.6. Neraca Massa pada Reaktor (RE-201).....	46
Tabel 4.7. Neraca Massa pada Evaporator (EV-301) .....	46
Tabel 4.8. Neraca Massa pada <i>Crystallizer</i> (CR-301) .....	47
Tabel 4.9. Neraca Massa pada <i>Centrifuge</i> (CF-301).....	47
Tabel 4.10. Neraca Massa pada <i>Rotary Dryer</i> (RD-301).....	48
Tabel 4.11. Neraca Massa pada Reaktor (RE-301).....	48
Tabel 4.12. Neraca Massa pada Absorber (AB-301).....	49
Tabel 4.13. Neraca Energi pada <i>Heat Exchanger</i> (HE-101).....	54
Tabel 4.14. Neraca Energi pada <i>Mixing Point</i> 1 (MP-101) .....	54
Tabel 4.15. Neraca Energi pada <i>Heat Exchanger</i> (HE-102).....	55
Tabel 4.16. Neraca Energi pada <i>Mixing Point</i> 2 (MP-102) .....	55
Tabel 4.17. Neraca Energi pada Reaktor (RE-201) .....	56
Tabel 4.18. Neraca Energi pada Evaporator (EV-301).....	56
Tabel 4.19. Neraca Energi pada <i>Crystallizer</i> (CR-301).....	57
Tabel 4.20. Neraca Energi pada <i>Centrifuge</i> (CF-301).....	57

Tabel 4.21. Neraca Energi pada <i>Rotary Dryer</i> (RD-301) .....	58
Tabel 4.22. Neraca Energi pada <i>Condensor</i> (CD-301) .....	58
Tabel 4.23. Neraca Energi pada Reaktor (RE-301) .....	59
Tabel 4.24. Neraca Energi pada <i>Cooler</i> (C-301) .....	59
Tabel 4.25. Neraca Energi pada Absorber (AB-301).....	60
Tabel 5.1.1 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-101) .....	61
Tabel 5.1.2 Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-101).....	62
Tabel 5.1.3 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-102) .....	63
Tabel 5.1.4 Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-102).....	64
Tabel 5.1.5 Spesifikasi Reaktor (RE-201) .....	65
Tabel 5.1.6 Spesifikasi Pompa Proses (PP-101) .....	66
Tabel 5.1.7 Spesifikasi Pompa Proses (PP-102) .....	66
Tabel 5.1.8 Spesifikasi Pompa Proses (PP-103) .....	67
Tabel 5.1.9 Spesifikasi <i>Evaporator</i> (EV-301) .....	68
Tabel 5.1.10 Spesifikasi Pompa Proses (PP-201) .....	69
Tabel 5.1.11 Spesifikasi Pompa Proses (PP-301) .....	69
Tabel 5.1.12 Spesifikasi Pompa Proses (PP-302) .....	70
Tabel 5.1.13 Spesifikasi Pompa Proses (PP-303) .....	71
Tabel 5.1.14 Spesifikasi <i>Crystallizer</i> (CR-301).....	72
Tabel 5.1.15 Spesifikasi <i>Centrifuge</i> (CF-301) .....	73
Tabel 5.1.16 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-301).....	73
Tabel 5.1.17 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-301) .....	74
Tabel 5.1.18 Spesifikasi <i>Rotary Dryer</i> (RD-301) .....	75
Tabel 5.1.19 Spesifikasi <i>Silo Storage</i> (SS-301).....	76
Tabel 5.1.20 Spesifikasi Gudang Penyimpanan (GD-301).....	77
Tabel 5.1.21 Spesifikasi Blower Gas NO (BL-201) .....	78
Tabel 5.1.22 Spesifikasi Reaktor (RE-301) .....	78
Tabel 5.1.23 Spesifikasi Blower Gas NO <sub>2</sub> (BL-301).....	79
Tabel 5.1.24 Spesifikasi <i>Cooler</i> (C-301) .....	79
Tabel 5.1.25 Spesifikasi Blower Gas NO <sub>2</sub> (BL-302).....	80
Tabel 5.1.26 Spesifikasi <i>Compressor</i> (CP-301).....	80
Tabel 5.1.27 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-103).....	81



Tabel 5.1.28 Spesifikasi <i>Absorber</i> (AB-301).....	82
Tabel 5.2.1. Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-401) .....	83
Tabel 5.2.2 Spesifikasi Tangki Alum (ST-401) .....	84
Tabel 5.2.3 Spesifikasi Tangki NaOH (ST-402).....	85
Tabel 5.2.4 Spesifikasi <i>Dissolving Tank</i> Kaporit (ST-403) .....	86
Tabel 5.2.5 Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CL-401) .....	87
Tabel 5.2.6 Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-401).....	88
Tabel 5.2.7 Spesifikasi Tangki Air Filter (ST-404).....	89
Tabel 5.2.8 Spesifikasi Tangki Air Demin ST- 408).....	90
Tabel 5.2.9 Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-401) .....	91
Tabel 5.2.10 Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB - 401) .....	91
Tabel 5.2.11 Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (ST-405) .....	92
Tabel 5.2.12 Spesifikasi Tangki Dispersant (ST-406).....	93
Tabel 5.2.13 Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST-407) .....	94
Tabel 5.2.14 Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-401) .....	95
Tabel 5.2.15 Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-401) .....	96
Tabel 5.2.16 Spesifikasi <i>Deaerator</i> (DA-401).....	97
Tabel 5.2.17 Spesifikasi Tangki Hidrazin (ST-408) .....	98
Tabel 5.2.18 Spesifikasi <i>Boiler</i> (BO-401).....	99
Tabel 5.2.19 Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-410).....	100
Tabel 5.2.20 Spesifikasi <i>Steam Blower</i> (SB-401).....	100
Tabel 5.2.21 Spesifikasi <i>Cyclone</i> (CY- 401).....	101
Tabel 5.2.22 Spesifikasi <i>Air Dryer</i> (AD-401).....	101
Tabel 5.2.23 Spesifikasi <i>Air Compressor</i> (AC- 401) .....	102
Tabel 5.2.24 Spesifikasi <i>Blower</i> Udara (BU - 401).....	102
Tabel 5.2.25 Spesifikasi <i>Blower</i> Udara (BU - 402).....	103
Tabel 5.2.26 Spesifikasi <i>Blower</i> Udara (BU - 403).....	103
Tabel 5.2.27 Spesifikasi <i>Blower</i> Udara (BU - 404).....	103
Tabel 5.2.28 Spesifikasi <i>Heater</i> Utilitas (HE - 401) .....	104
Tabel 5.2.29 Spesifikasi Generator Listrik (GS - 401).....	105
Tabel 5.2.30 Spesifikasi Pompa (PU - 401) .....	105
Tabel 5.2.31 Spesifikasi Pompa (PU - 402) .....	106

Tabel 5.2.32 Spesifikasi Pompa (PU – 403) .....	107
Tabel 5.2.33 Spesifikasi Pompa (PU – 404) .....	107
Tabel 5.2.34 Spesifikasi Pompa (PU – 405) .....	108
Tabel 5.2.35 Spesifikasi Pompa (PU – 406) .....	108
Tabel 5.2.36 Spesifikasi Pompa (PU – 407) .....	109
Tabel 5.2.37 Spesifikasi Pompa (PU – 408) .....	109
Tabel 5.2.38 Spesifikasi Pompa (PU – 409) .....	110
Tabel 5.2.39 Spesifikasi Pompa (PU – 410) .....	110
Tabel 5.2.40 Spesifikasi Pompa (PU – 411) .....	111
Tabel 5.2.41 Spesifikasi Pompa (PU – 412) .....	111
Tabel 5.2.42 Spesifikasi Pompa (PU – 413) .....	112
Tabel 5.2.43 Spesifikasi Pompa (PU – 414) .....	112
Tabel 5.2.44 Spesifikasi Pompa (PU – 415) .....	113
Tabel 5.2.45 Spesifikasi Pompa (PU – 416) .....	113
Tabel 5.2.46 Spesifikasi Pompa (PU – 417) .....	114
Tabel 5.2.47 Spesifikasi Pompa (PU – 418) .....	114
Tabel 5.2.48 Spesifikasi Pompa (PU – 419) .....	115
Tabel 5.2.49 Spesifikasi Pompa (PU – 420) .....	115
Tabel 5.2.50 Spesifikasi Pompa (PU – 421) .....	116
Tabel 6.1. Kebutuhan Air Pendingin.....	120
Tabel 6.2. Kebutuhan Air Umpan Boiler .....	122
Tabel 6.3. Pengendalian Variabel Utama Proses .....	142
Tabel 6.4. Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian. ....	143
Tabel 7.1. Perencanaan Penggunaan Lahan Industri .....	150
Tabel 8.1. Project Master Schedule Pabrik Asam Oksalat Dihidrat .....	159
Tabel 8.2. Jadwal kerja masing - masing regu .....	184
Tabel 8.3. Perincian Tingkat Pendidikan .....	186
Tabel 8.4. Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat .....	188
Tabel 8.5. Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	189
Tabel 9.1. <i>Fixed Capital Investment</i> .....	198
Tabel 9.2. <i>Manufacturing Cost</i> .....	200
Tabel 9.3. <i>General Expenses</i> .....	201

Tabel 9.4. Biaya Administratif.....	202
Tabel 9.5. <i>Minimum Acceptable Percent Return On Investment</i> .....	204
Tabel 9.6. <i>Acceptable Pay Out Time</i> untuk Tingkat Resiko Pabrik.....	205
Tabel 9.7. Hasil Uji Kelayakan Ekonomi .....	209

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Grafik Linier Data Import Asam Oksalat di Indonesia.....	7
Gambar 4.1. Proses Secara Umum Perpindahan Energi Suatu Sistem .....	50
Gambar 6.1. <i>Deaerator</i> .....	124
Gambar 6.2. Diagram Alir Pengolahan Air .....	125
Gambar 7.1. Foto <i>Maps</i> Purwakarta, Jawa Barat.....	148
Gambar 7.2. Foto <i>Maps</i> Lokasi Pabrik Asam Oksalat Dihidrat .....	144
Gambar 7.3. Tata Letak Pabrik .....	154
Gambar 7.4. Tata Letak Alat Proses .....	155
Gambar 8.1. Struktur Organisasi Perusahaan .....	166
Gambar 9.1. Grafik Analisa Ekonomi .....	207
Gambar 9.2. Kurva <i>Cumulative Cash Flow</i> terhadap Umur Pabrik .....	208

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pendirian pabrik asam oksalat dihidrat merupakan salah-satu upaya untuk mendukung Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) tahun 2015-2035 Kementerian Perindustrian Indonesia dengan membangun struktur industri yang kuat dan pembangunan nasional dibidang ekonomi melalui pembangunan industri sebagai penggerak ekonomi (kemenperin.go.id, 2020). Pengembangan sektor perindustrian dalam negeri berupa pembangunan pabrik untuk menghasilkan produk jadi atau komoditas mampu menghentikan atau mengurangi kegiatan impor, bahkan dapat menambah pendapatan kas negara melalui kegiatan ekspor.

Asam oksalat dihidrat memiliki peran penting dalam industri pengolahan logam, industri cat dan industri tekstil. Di Indonesia, kebutuhan asam oksalat dihidrat relatif meningkat setiap tahun. Kegiatan impor asam oksalat dihidrat menjadi langkah yang diambil untuk memenuhi kebutuhan asam oksalat dihidrat dalam negeri, hal ini dilakukan karena belum adanya pabrik yang memproduksi asam oksalat dihidrat di Indonesia.

Berdasarkan data UN.org 2021, tiga negara pengimpor asam oksalat terbesar di Asia Tenggara berturut-turut yaitu Malaysia, Filipina dan Indonesia. Asam oksalat tersedia dipasaran dalam bentuk kristal asam oksalat dihidrat ( $\text{CH}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) yang memiliki ciri tidak berbau, higroskopik dan berwarna putih.

Mendirikan pabrik asam oksalat di Indonesia memiliki prospek yang baik, hal ini ditinjau dari potensi bahan baku maupun industri yang memakainya. Penggunaan asam oksalat di Indonesia terus meningkat, namun hingga saat ini belum terdapat pabrik yang memproduksi senyawa tersebut di Indonesia. Dengan didukung oleh sumber daya alam dan sumber daya manusia, maka pendirian pabrik asam oksalat dihidrat akan dapat terus berlanjut serta memiliki dampak yang baik untuk perkembangan ekonomi di Indonesia.

Asam oksalat dihidrat dapat diproduksi melalui proses oksidasi karbohidrat dengan asam nitrat, proses etilen glikol dan proses propilen (Kirk-Othmer, 1994). Dari ketiga proses tersebut, proses oksidasi karbohidrat lebih mudah direalisasikan di Indonesia karena bahan bakunya terdiri dari glukosa dan asam nitrat dimana kedua bahan tersebut mudah didapatkan, harga bahan bakunya murah, suhu dan tekanan prosesnya lebih rendah dibandingkan proses pembuatan asam oksalat dihidrat lainnya.

## 1.2 Kegunaan Produk

Asam oksalat dihidrat memiliki beragam manfaat di beberapa bidang, terutama industri pengolahan logam, industri tekstil, sebagai *bleaching agent* dan reagen dalam sintesis kimia. Berikut kegunaan asam oksalat dihidrat yang bersumber dari Kirk-Othmer Vol.17 Encyclopedia of Chemical Technology 4<sup>th</sup> Edition dan Encyclopedia of Industrial Chemistry Ullman's:

### 1. Perawatan logam

Pada industri logam, asam oksalat digunakan untuk menghilangkan kotoran dan karat yang menempel pada permukaan logam misalnya pada radiator otomotif, boiler dan pelat baja. Asam oksalat biasa digunakan untuk membersihkan logam, terutama pada tembaga, perak dan aluminium (Clarke & Davis, 1946).

### 2. Reagen dalam sintesis kimia

Sebagai reagen dalam sintesis kimia, asam oksalat adalah zat pendehidrasi dalam proses esterifikasi alkohol sekunder menjadi ester atau dalam reaksi siklisasi (Maurer & Ohloff, 1973). Pada produksi millet jelly, bubuk pati dipanaskan dengan penambahan asam oksalat yang berfungsi sebagai katalis hidrolisis dan dihilangkan dari produk sebagai kalsium oksalat.

3. Penggunaan asam oksalat dalam pemisahan unsur *Rare-Earth*.

*Rare earth* memiliki kelarutan yang rendah dalam larutan asam, sehingga digunakan asam oksalat dihidrat dalam proses isolasi unsur *rare-earth* bijih lantanida atau logam tanah langka, misalnya monasit (Sarrer, 1772). Asam sulfat, asam klorida dan asam fosfat juga dapat digunakan dalam pemisahan unsur tanah langka, namun pengendapan *rare-earth* dengan larutan oksalat kuantitas hasil yang didapatkan lebih besar (Varshal, 1971).

4. Bidang Farmasi

Dibidang farmasi, asam oksalat ditambahkan untuk meningkatkan laju disolusi (salah satu proses biofarmasetik berupa perpindahan molekul obat dari bentuk padat ke dalam larutan media cairan tubuh (Cinantya, 2015).

5. Industri Tekstil

Pada industri tekstil, asam oksalat juga digunakan sebagai mordant pada proses pewarnaan wool dan kapas untuk menambah ketajaman warna serta memperkuat ikatan antara serat serta zat warna. Mordant yang terdiri dari 4% kromium florida dan 2% berat asam oksalat. Asam oksalat akan menetralkan alkali juga untuk menghilangkan bakteri yang ada didalam kain karena memiliki efek antibakteri (Cohen & Linton, 1961).



6. Agen Pemutih (*Bleaching agent*)

Asam oksalat digunakan sebagai pengganti sodium dithionite dalam proses pemutihan pada pengolahan kulit. Selain itu asam oksalat juga digunakan sebagai pemutih gabus, kayu veneer, jerami, tebu dan lilin alami atau lilin sintesis.

7. Penggunaan lainnya dan produk turunan

Penggunaan lain dari asam oksalat yaitu untuk produksi tinta, pigmen dan cat (Andersen, *et al.*, 1973), juga digunakan untuk pemolesan marmer. Produk turunan asam oksalat yaitu pottasium hydrogen oxalate, ammonium oxalate dan ammonium iron (III) oxalate.

### 1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku glukosa didapat dari PT. Associated British Budi di Desa Cikalongsari, Kecamatan Jatisari, Kabupaten Karawang, Jawa Barat dan asam nitrat didapatkan dari PT. Multi Nitrotama Kimia di Cikampek, Karawang, Jawa Barat. Hidrogen peroksida di dapat dari PT. Peroksida Indonesia Pratama yang juga berlokasi di Cikampek, sedangkan bahan pendukung berupa katalis Vanadium Pentaoksida didapatkan dari distributor dan supplier bahan kimia PT. Gael Vada Indonesia di Tangerang Selatan, Banten yang mengimpor dari Shandong Hanxing Bio Tech Co., Ltd di Shandong China.

Tabel 1.1 Sumber Bahan Baku

<b>Bahan Baku</b>	<b>Produsen</b>	<b>Kapasitas Produksi (Ton/Tahun)</b>
*Glukosa	PT. Associated British Budi	93.600
**Asam Nitrat	PT. Multi Nitrotama Kimia	55.000
***Hidrogen Peroksida	PT. Peroksida Indonesia Pratama	24.480
Vanadium Pentaoksida	Shandong Hanxing Bio Tech Co., Ltd	20.000

Sumber : \*budistarchsweetener.com

\*\*mnk.co.id

\*\*\*ptpip.co.id

#### 1.4 Kapasitas Produksi

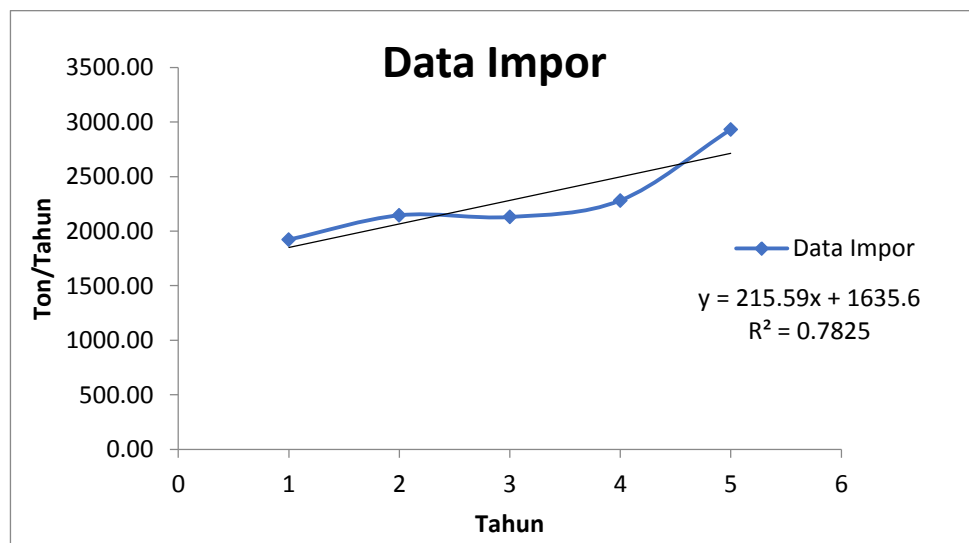
Kapasitas produksi asam oksalat dihidrat ditentukan berdasarkan hasil analisa pasar untuk mengetahui seberapa besar minat pasar terhadap produk asam oksalat berdasarkan data produksi, konsumsi, ekspor dan impor. Kebutuhan asam oksalat dihidrat di Indonesia setiap tahun terus meningkat seiring dengan pesatnya perkembangan di berbagai bidang industri yang menggunakan asam oksalat. Hal tersebut dapat dilihat dari realisasi impor asam oksalat dihidrat yang tercantum pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Data Impor Asam Oksalat di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton)
2017	1922,64
2018	2145,22
2019	2129,78
2020	2281,67
2021	2932,37

Sumber : Badan Pusat Statistik Indonesia, 2017-2021

Apabila data tersebut dibuat grafik, maka akan menghasilkan bentuk liniernya sebagai berikut:



Gambar 1.1 Grafik Linear Data Impor Asam Oksalat di Indonesia

Pada gambar 1.1, didapatkan nilai  $R^2$  pada grafik linear sebesar 0,7825. Berdasarkan perhitungan, prediksi jumlah impor asam oksalat Indonesia pada tahun 2028 yaitu sebesar 4222,68 Ton.

Hingga saat ini Indonesia belum menjadikan asam oksalat dihidrat sebagai komoditas ekspor. Untuk mencukupi kebutuhan asam oksalat dihidrat dalam negeri masih mengandalkan dari kegiatan impor dikarenakan belum terdapat pabrik asam oksalat di Indonesia. Peluang kapasitas produksi berdasarkan prediksi produksi, konsumsi, ekspor dan impor adalah sebagai berikut :

$$PK_{2028} = mi + me - mp$$

Dimana :

PK = Peluang Kapasitas pada tahun 2028

mi = Data Impor pada tahun 2028

me = Data Ekspor pada tahun 2028

mp = Data Produksi yang telah ada pada tahun 2028

(Sumber: Kusnarjo, 2010)

Dengan menggunakan rumus diatas, maka didapatkan peluang kapasitas Asam Oksalat pada tahun 2028 yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Peluang Kapasitas}_{2028} &= mi + me - mp \\ &= 4222,68 + 0 - 0 \\ &= 4222,68 \text{ Ton/tahun.} \end{aligned}$$

Setelah peluang kapasitas didapatkan, maka selanjutnya dapat ditentukan kapasitas produksi. Karena belum ada pabrik Asam Oksalat di dalam negeri, maka kapasitas produksi = 0,75 \* peluang kapasitas.

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas Produksi} &= 0,75 * \text{Peluang Kapasitas} \\
 &= 0,75 * 4222,68 \text{ Ton/tahun} \\
 &= 3.167,01 \text{ Ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Selain untuk memenuhi kebutuhan di Indonesia, pabrik asam oksalat yang akan didirikan juga bertujuan untuk memenuhi kebutuhan di luar negeri. Kebutuhan asam oksalat di beberapa negara Asia Tenggara dapat dilihat pada Tabel 1.3 sebagai berikut

Tabel 1.3 Data Impor Asam Oksalat Malaysia, Filipina dan Vietnam

<b>Tahun</b>	<b>Malaysia (Ton)</b>	<b>Filipina (Ton)</b>	<b>Vietnam (Ton)</b>
2017	10.399,70	2.481,68	1.572,93
2018	9.330,16	2.431,84	1.579,98
2019	10.539,93	2.999,08	1.380,33
2020	8.921,09	2.247,30	1.518,51
2021	10.646,97	2.283,34	2.045,72

Sumber : comtrade.un.org, 2017-2021

Jumlah impor asam oksalat ketiga negara tersebut pada tahun 2028 berdasarkan perhitungan interpolasi linear diperkirakan sebesar 17.689,26 Ton/tahun, yaitu Malaysia sebanyak 10.044,46 Ton/tahun, Filipina 2.415,23

Ton/tahun dan Vietnam 2.198,95 Ton/tahun. Kapasitas produksi dari pabrik Asam Oksalat Dihidrat yang akan didirikan pada tahun 2028 adalah sebesar 10.000 Ton/Tahun. Sebanyak 3.167,01 ton diperuntukkan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan 6.832,99 ton akan diekspor ke negara tetangga seperti Malaysia, Filipina dan Vietnam.

## **1.5 Lokasi Pabrik**

Dalam pendirian suatu pabrik, penentuan lokasi merupakan salah satu pertimbangan yang sangat penting. Proses dan distribusi produksi menjadi hal utama yang terpengaruh secara langsung oleh lokasi pendirian suatu pabrik. Pada prarancangan Pabrik Asam Oksalat Dihidrat ( $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$ ) dari Glukosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) dan Asam Nitrat ( $HNO_3$ ) dengan kapasitas 10.000 Ton/tahun ini didirikan di kawasan industri Bukit Indah City (BIC), Desa Dangeur, Kecamatan Bungur Sari, Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat.

Pemilihan lokasi tersebut berdasarkan pertimbangan beberapa hal utama, antara lain:

1. Ketersediaan bahan baku

Bahan baku utama pembuatan asam oksalat dihidrat merupakan Glukosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) dan asam nitrat ( $HNO_3$ ). Bahan baku glukosa didapat dari PT. Associated British Budi di Desa Cikalongsari, Kecamatan Jatisari, Kabupaten Karawang, Jawa Barat dan asam nitrat juga hidrogen pentaoksida didapatkan dari PT. Multi Nitrotama Kimia yang berlokasi di kawasan industri Kujang, Cikampek, Karawang, Provinsi Jawa Barat.

Bahan pendukung katalis Vanadium Pentaoksida didapatkan dari distributor dan supplier bahan kimia PT. Gael Vada Indonesia di Tangerang Selatan, Banten yang mengimpor dari Shandong Hanxing Bio Tech Co., Ltd di Shandong China. Pendirian pabrik yang berdekatan dengan lokasi bahan baku akan meminimalisir biaya distribusi dan transportasi bahan baku tersebut.

2. Sarana Transportasi

Sarana transportasi menjadi penunjang utama pendistribusian produk maupun bahan baku, sehingga semakin beragam dan mudah sarana serta prasarana transportasi akan menentukan kelancaran distribusi bahan baku dan produk.

Pemilihan lokasi pabrik di daerah Purwakarta, Jawa Barat Jawa Barat memenuhi pertimbangan diatas karena lokasi dekat dengan pasar atau target market utama produk asam oksalat dihidrat yaitu industri pengolahan logam. Akses darat berupa jalan tol Trans Jawa, sedangkan akses distribusi laut memanfaatkan salah satu pelabuhan terbesar di Indonesia yaitu Pelabuhan Tanjung Priok. Akses darat dan laut yang mudah terjangkau tersebut sangat mendukung distribusi bahan baku dan produk dengan optimal.

### 3. Ketersediaan Utilitas

Utilitas menjadi sarana pendukung dan penunjang dalam pendirian suatu pabrik, utilitas yang paling dibutuhkan adalah air dan listrik. Sumber air sebagai bahan utilitas, air proses, sanitasi, konsumsi dan media pemadam kebakaran diperoleh dengan memanfaatkan aliran Sungai Citarum yang memiliki debit air sebesar  $78,74 \text{ m}^3/\text{s}$  serta didukung dengan pembuatan beberapa sumur bor di lingkungan pabrik. Sedangkan aliran listrik yang digunakan oleh pabrik bersumber dari PT. PLN setempat dan membuat beberapa generator sebagai cadangan aliran listrik.



#### 4. Tenaga Kerja

Lokasi pabrik yang dipilih dekat dengan sarana pendidikan dan pelatihan, sehingga untuk memenuhi kebutuhan tenaga kerja tidak mengalami kesulitan. Jumlah angkatan kerja di Kabupaten Purwakarta pada 2020 berjumlah 619.690 orang ([purwakartakab.bps.go.id](http://purwakartakab.bps.go.id)), sehingga memudahkan untuk mendapatkan tenaga kerja lokal baik tenaga kerja belum terdidik maupun tenaga kerja ahli.

Tenaga kerja, terdidik, terlatih dan pekerja kasar di serap dari masyarakat di lingkungan maupun dari daerah luar pabrik. Sedangkan tenaga ahli di serap dari lulusan perguruan tinggi yang terdapat di Jawa barat, hal tersebut di dukung oleh adanya beberapa universitas terkemuka di Jawa barat seperti Institut Teknologi Bandung (ITB) dan Institut Pertanian Bogor (IPB). Namun tenaga ahli juga berpotensi di serap dari lulusan berbagai perguruan tinggi di Indonesia.

#### 5. Karakterisasi lokasi

Kabupaten Purwakarta sangat mendukung untuk pendirian suatu pabrik karena memiliki relief bumi yang merupakan dataran dan berada pada daerah cekungan aliran Sungai Citarum dan Cimalaya, sehingga cenderung memiliki sumber daya alam

berupa air yang sangat melimpah. Upah Minimum Regional (UMR) di Purwakarta pada tahun 2023 sebesar Rp4.464.675,02 nilai tersebut cukup besar karena Purwakarta merupakan daerah Industri. Namun bila dibandingkan dengan daerah sekitar yang merupakan daerah industri pula seperti Karawang dan Bekasi yang memiliki UMR yang hampir Rp.5.180.000, maka nilai tersebut tergolong menengah.

Pengeluaran pembayaran upah yang cukup tinggi tersebut harus diimbangi dengan kualitas pekerja yang baik, maka dalam seleksi penerimaan pekerja di pabrik harus di pilih pekerja yang dapat berkontribusi maksimal. Kebijakan pemerintah di Purwakarta sangat mendukung untuk pendirian suatu pabrik juga memudahkan izin pendirian pabrik pada daerah yang memang merupakan sentra industri.

## II. PEMILIHAN DAN URAIAN PROSES

Asama oksalat merupakan senyawa kimia dengan rumus  $H_2C_2O_4$  dan memiliki nama sistematis asam etanadioat. Pada industri manufaktur, asam oksalat diproduksi dalam bentuk kristal dihidrat  $((COOH)_2 \cdot 2H_2O)$ . Asam oksalat disintesa pertama kali pada tahun 1776 oleh Scheele dengan mengoksidasi gula dengan asam nitrat.

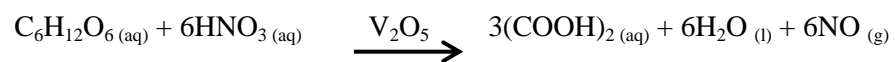
### 2.1 Jenis Proses

Jenis-jenis proses pembuatan asam oksalat adalah sebagai berikut:

#### a. Proses Oksidasi Karbohidrat

Proses pembuatan asam oksalat dengan menggunakan proses oksidasi karbohidrat banyak digunakan terutama di Negara China dan India. Asam oksalat didapatkan dari proses oksidasi karbohidrat, seperti molase, pati, glukosa, sukrosa dengan asam nitrat. Fruktosa dan glukosa sebagai monosakarida paling cocok digunakan sebagai bahan awal yang nantinya akan dioksidasi menggunakan asam nitrat, sebab penggunaan bahan baku molase dan pati harus dihidrolisis terlebih dahulu agar bentuknya lebih sederhana menjadi monosakarida seperti glukosa.

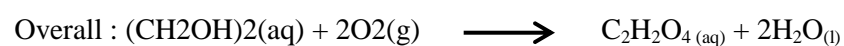
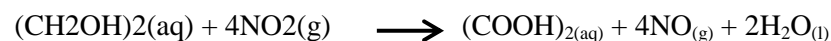
Glukosa akan dioksidasi menggunakan asam nitrat dengan katalis vanadium pentaoksida. Kondisi proses ini yaitu pada suhu 66-71°C. dan tekanan 1 atm. Berikut merupakan reaksi pembentukan asam oksalat yang menggunakan proses oksidasi karbohidrat.



(G.Widiyarti, 2002)

#### b. Proses Etilen Glikol

Asam oksalat juga diperoleh dari hasil oksidasi etilen glikol dan asam nitrat. Pembuatan asam oksalat dengan proses etilen glikol hampir sama dengan proses karbohidrat. Mitsubishi Gas Chemical di Jepang menerapkan proses ini dalam pembuatan asam oksalat dengan kapasitas 12.000 Ton/Tahun. Pada proses oksidasi etilen glikol dilakukan pencampuran asam nitrat 60% dengan 0,001-0,1% vanadium pentoksida. Suhu prosesnya yaitu 80°C dan tekanan 0,3 MPa. Yield asam oksalat yang diperoleh dari proses ini sebesar 90%. Reaksi pada proses ini yaitu sebagai berikut:



Etilen Glikol

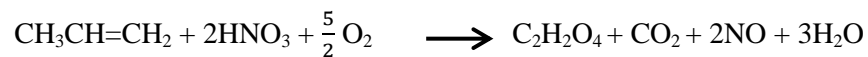
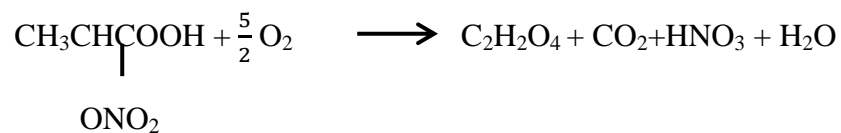
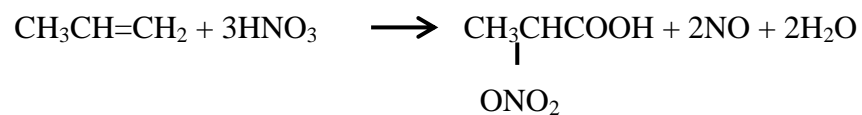
Air

Asam Oksalat

Air

### c. Proses Propilen

Pada tahun 1978, produksi asam oksalat sebesar 65.000 ton/tahun di seluruh dunia menggunakan reaksi ini. Pada tahun 1990 proses pembuatan asam oksalat dengan metode ini hanya digunakan oleh Rhdpne-Poulenc. Reaksi pembuatan asam oksalat dengan proses propilen adalah sebagai berikut.



Langkah pertama proses propilen yaitu pembentukan  $\alpha$ -nitratolactic dari propilena 50-75% yang direaksikan dengan asam nitrat pada suhu 10-40°C dan rasio molar terhadap propilena berkisar antara 0,01 sampai 0,5. Asam  $\alpha$ -nitratolactic yang terbentuk dioksidasi oleh oksigen pada suhu 45- 100°C dengan menggunakan katalis untuk menghasilkan asam oksalat. Bahan baku propilena terkonversi sebanyak 77,5% dan yield asam oksalat yang didapatkan adalah >90%

## 2.2 Pemilihan Proses

### 2.2.1 Tinjauan Ekonomi

Berdasarkan proses yang telah di uraikan di atas maka dapat kita bandingkan dari segi tinjauan ekonomi sebagai berikut:

Tabel 2.1 Harga Bahan Baku dan Produk

<b>Komponen</b>	<b>Rumus Kimia</b>	<b>BM (kg/kmol)</b>	<b>Harga Rupiah</b>
Glukosa	$C_6H_{12}O_6$	180	8.650,06
Asam nitrat	$HNO_3$	63	3.844,08
Asam oksalat	$C_2H_2O_4$	90	58.977,68
Nitrogen Monoksida	$NO$	30	29.214,97
Air	$H_2O$	18	0
Etilen glikol	$C_2H_6O_2$	62	12.424,64
Oksigen	$O_2$	32	0
Propilen	$C_3H_6$	42	25.541,56
Karbondioksida	$CO_2$	44	15.727,38

Sumber : [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com) 03 Desember 2022

[www.icis.com](http://www.icis.com) 03 Desember 2022

## a. Proses Oksidasi Karbohidrat

Reaksi :



	A	B	C	D	E
<b>Komponen</b>	<b>Mula-mula</b>	<b>Bereaksi</b>	<b>Sisa</b>		
A	nAo	-nAo.X	nA= nAo-nAo.X		
B	nBo	-6nAo.X	nB= nBo-6nAo.X		
C	nCo	+3nAo.X	nC= nCo+3nAo.X		
D	nDo	+6nAo.X	nD= nDo+6nAo.X		
E	nEo	+6nAo.X	nE=nEo+6nAo.X		

Konversi (X) = 76%

Jika terbentuk 1 kg Asam Oksalat, maka :

$$n \text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 = \frac{m \text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4}{\text{BM C}_2\text{H}_2\text{O}_4} = \frac{1 \text{ kg}}{90 \text{ kg/mol}} = 0,01111 \text{ kmol}$$

Dimana :

$$n \text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 = n\text{C}$$

$$n\text{C} = n\text{Co} + 3n\text{Ao}.X$$

$$0,01111 \text{ kmol} = 0 + 3n\text{Ao} (0,76)$$

$$3n\text{Ao} = 0,01462 \text{ kmol}$$

$$n\text{Ao} = 0,00487 \text{ kmol}$$

$$m\text{Ao} = n\text{Ao} \times \text{BM A} = 0,00487 \text{ kmol} \times 180 \text{ kg/kmol}$$

$$m \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 0,87719 \text{ kg}$$

**Harga  $C_6H_{12}O_6 = 0,87719 \text{ kg} \times \text{Rp. } 8.650,06/\text{kg} = \text{Rp.}7587,77$**

$$n_{Bo} = n_A \times 6 = 0,02222 \text{ kmol}$$

$$m_{Bo} = n_{Bo} \times \text{BM B} = 0,02222 \text{ kmol} \times 63 \text{ kg/kmol}$$

$$m \text{ HNO}_3 = 1,4 \text{ kg}$$

**Harga  $\text{HNO}_3 = 1,4 \text{ kg} \times \text{Rp. } 3.844,08/\text{kg} = \text{Rp.}5381,71$**

$$n_{NO} = n_E$$

$$n_E = n_{Eo} + 6n_{Ao} \cdot X$$

$$n_E = 0 + 6 (0,00487 \text{ kmol}) (0,76)$$

$$n_E = 0,02222 \text{ kmol}$$

$$m_E = n_E \times \text{BM E} = 0,02222 \text{ kmol} \times 30 \text{ kg/kmol}$$

$$m \text{ NO} = 0,66667 \text{ kg}$$

**Harga  $\text{NO} = 0,66667 \text{ kg} \times \text{Rp. } 29.214,97/\text{kg} = \text{Rp.}19.476,65$**

Potensi Ekonomi

$$EP = \text{Nilai produk} - \text{Biaya bahan baku} \quad (\text{Smith, R. 2005})$$

$$= (\text{Rp.}58.977,68 + \text{Rp.}19.476,65) - (\text{Rp.}7.587,77 +$$

$$\text{Rp.}5.381,71)$$

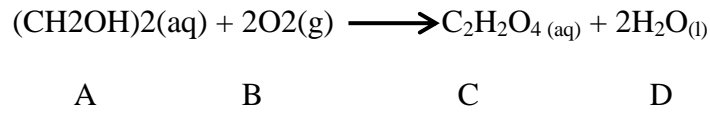
$$= \text{Rp. } 65.484,84$$

Jadi, keuntungan yang didapat dari kegiatan produksi asam oksalat menggunakan proses oksidasi karbohidrat adalah Rp. 65.484,84/ kg.



b. Proses Etilen Glikol

Reaksi :



Komponen	Mula-mula	Bereaksi	Sisa
A	$n_{A0}$	$-n_{A0} \cdot X$	$n_A = n_{A0} - n_{A0} \cdot X$
B	$n_{B0}$	$-2n_{A0} \cdot X$	$n_B = n_{B0} - 2n_{A0} \cdot X$
C	$n_{C0}$	$+n_{A0} \cdot X$	$n_C = n_{C0} + n_{A0} \cdot X$
D	$n_{D0}$	$+2n_{A0} \cdot X$	$n_D = n_{D0} + 2n_{A0} \cdot X$

Konversi (X) = 90%

Jika terbentuk 1 kg Asam Oksalat, maka :

$$n_{\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4} = \frac{m_{\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4}}{\text{BM}_{\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4}} = \frac{1 \text{ kg}}{90 \text{ kg/mol}} = 0,01111 \text{ kmol}$$

Dimana :

$$n_{\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4} = n_C$$

$$n_C = n_{C0} + n_{A0} \cdot X$$

$$0,01111 \text{ kmol} = 0 + n_{A0} (0,90)$$

$$n_{A0} = 0,01235 \text{ kmol}$$

$$m_{A0} = n_{A0} \times \text{BM}_A = 0,01235 \text{ kmol} \times 62 \text{ kg/kmol}$$

$$m_{\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2} = 0,76543 \text{ kg}$$

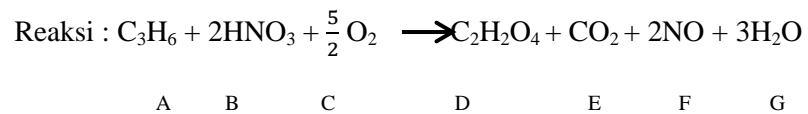
$$\text{Harga } \text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2 = 0,76543 \text{ kg} \times \text{Rp.12.424,64/kg} = \text{Rp.9.510,21}$$

## Potensi Ekonomi

$$\begin{aligned}
 EP &= \text{Nilai produk} - \text{Biaya bahan baku} && (\text{Smith, R. 2005}) \\
 &= \text{Rp. } 58.977,68 - \text{Rp. } 9.510,21 \\
 &= \text{Rp. } 49.467,47
 \end{aligned}$$

Jadi, keuntungan yang didapat dari kegiatan produksi asam oksalat dengan menggunakan proses etilen glikol adalah Rp. Rp. 49.467,47/ kg.

## c. Proses Propilen



Komponen	Mula-mula	Bereaksi	Sisa
A	nAo	-nAo.X	nA= nAo-nAo.X
B	nBo	-2nAo.X	nB= nBo-2nAo.X
C	nCo	-5/2nAo.X	nC= nCo-5/2nAo.X
D	nDo	+nAo.X	nD= nDo+nAo.X
E	nEo	+nAo.X	nE= nEo+nAo.X
F	nFo	+2nAo.X	nF= nFo+2nAo.X
G	nGo	+3nAo.X	nG= nGo+3nAo.X

Konversi (X) = 77,5%

Basis : 1 kg Asam Oksalat

Jika terbentuk 1 kg Asam Oksalat, maka :

$$n \text{ C}_2\text{H}_2\text{O}_4 = \frac{m \text{ C}_2\text{H}_2\text{O}_4}{\text{BM C}_2\text{H}_2\text{O}_4} = \frac{1 \text{ kg}}{90 \text{ kg/mol}} = \mathbf{0,01111 \text{ kmol}}$$

Dimana :

$$n \text{ C}_2\text{H}_2\text{O}_4 = nD$$

$$nD = nD_0 + nA_0 \cdot X$$

$$0,01111 \text{ kmol} = 0 + nA_0 (0,775)$$

$$nA_0 = 0,01434 \text{ kmol}$$

$$mA_0 = nA_0 \times \text{BM A} = 0,01434 \text{ kmol} \times 42 \text{ kg/kmol}$$

$$m \text{ C}_3\text{H}_6 = 0,60215 \text{ kg}$$

$$\mathbf{\text{Harga C}_3\text{H}_6 = 0,60215 \text{ kg} \times \text{Rp. } 25.541,56/\text{kg} = \text{Rp.}15.379,86}$$

$$nB_0 = nA \times 2 = 0,02222 \text{ kmol}$$

$$mB_0 = nB_0 \times \text{BM B} = 0,02222 \text{ kmol} \times 63 \text{ kg/kmol}$$

$$m \text{ HNO}_3 = 1,4 \text{ kg}$$

$$\mathbf{\text{Harga HNO}_3 = 1,4 \text{ kg} \times \text{Rp.}3.844,08/\text{kg} = \text{Rp.}5.381,71}$$

$$n\text{CO}_2 = nE$$

$$nE = nE_0 + nA_0 \cdot X$$

$$nE = 0 + (0,01434 \text{ kmol}) (0,775)$$

$$nE = 0,01111 \text{ kmol}$$

$$mE = nE \times BM E = 0,01111 \text{ kmol} \times 44 \text{ kg/kmol}$$

$$m \text{ CO}_2 = 0,48889 \text{ kg}$$

$$\text{Harga CO}_2 = 0,48889 \text{ kg} \times \text{Rp.15.727,38/kg} = \text{Rp.7688,94}$$

$$nNO = nF$$

$$nF = nF_o + 2nA_o \cdot X$$

$$nF = 0 + 2 (0,01434 \text{ kmol}) (0,775)$$

$$nF = 0,02222 \text{ kmol}$$

$$mF = nF \times BM F = 0,02222 \text{ kmol} \times 30 \text{ kg/kmol}$$

$$m \text{ NO} = 0,66667 \text{ kg}$$

$$\text{Harga NO} = 0,66667 \text{ kg} \times \text{Rp. 29.214,97/kg} = \text{Rp.19.476,65}$$

Potensi Ekonomi

$$EP = \text{Nilai produk} - \text{Biaya bahan baku} \quad (\text{Smith,R. 2005})$$

$$= (\text{Rp.58.977,68} + \text{Rp.7688,94} + \text{Rp.19.476,65}) -$$

$$(\text{Rp.15.379,86} + \text{Rp.5.381,71})$$

$$= \text{Rp. 65.381,69}$$

Jadi, keuntungan yang didapat dari kegiatan produksi asam oksalat menggunakan proses propilen adalah Rp.65.381,69/ kg.

### 2.2.2 Berdasarkan Tinjauan Termodinamika

Reaksi berjalan eksotermis atau endotermis dapat ditentukan dengan meninjau panas pembentukan standar ( $\Delta H_f$ ) pada  $25^\circ\text{C}$ . Nilai  $\Delta H$  menunjukkan panas reaksi yang dihasilkan selama proses berlangsungnya reaksi kimia. Nilai  $\Delta H$  positif (+) menunjukkan bahwa dibutuhkan panas untuk berlangsungnya reaksi. Semakin besar nilai  $H$ , maka energi yang dibutuhkan akan semakin besar. Jika nilai  $H$  bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa selama proses berlangsungnya reaksi, reaksi tersebut menghasilkan panas atau disebut juga dengan eksotermis.

Energi Gibbs ( $\Delta G$ ) menunjukkan apakah reaksi dapat berlangsung secara spontan atau tidak.  $\Delta G$  bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga membutuhkan energi dari luar sistem. Jika nilai  $\Delta G$  negatif, maka hal ini menunjukkan bahwa reaksi berlangsung secara spontan dan hanya membutuhkan sedikit energi. Data energi pembentukan ( $\Delta H_f^\circ$ ) dan Data  $\Delta G^\circ$  pada  $25^\circ\text{C}$  untuk masing –masing komponen terdapat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2. Data  $\Delta H_f^\circ$  dan  $\Delta G^\circ$  pada 25°C

Komponen	Rumus	$\Delta H_f^\circ$	$\Delta G^\circ$
	Kimia	(kJ/mol)	(kJ/mol)
Glukosa	$C_6H_{12}O_{6(l)}$	-1262,2	-915,9
Asam nitrat	$HNO_{3(l)}$	-173,008	-79,705
Asam oksalat	$C_2H_2O_{4(l)}$	-826,78	-697,91
Nitrogen Monoksida	$NO_{(g)}$	90,374	86,688
Air	$H_2O_{(l)}$	-285,84	-237,191
Etilen glikol	$C_2H_6O_{2(l)}$	-454,8	-323,08
Oksigen	$O_{2(g)}$	0	0
Propilen	$C_3H_{6(g)}$	19,71	62,205
Karbon dioksida	$CO_{2(g)}$	-393,514	-394,384

(Sumber : Perry Ed.9<sup>th</sup>, 2019 & Smith, J.M., Ed.8<sup>th</sup>, 2018, Appx. C)

Beberapa istilah yang digunakan dalam menentukan energi bebas gibbs dan entalpi reaksi;

$\Delta G_f^0$  = energi bebas gibbs pembentukan standar (kJ/mol)

$\Delta G^0$  = energi bebas gibbs reaksi standar (kJ/mol)

$\Delta G$  = energi bebas gibbs reaksi (kJ/mol)

$\Delta H_f^0$  = entalpi pembentukan molar standar (kJ/mol).

$\Delta H^0$  = entalpi reaksi standar (kJ/mol)

$\Delta H$  = entalpi reaksi (kJ/mol)

- T = suhu (K)
- R = tetapan gas ideal (8,314 J/mol.K)
- $K_c$  = konstanta kesetimbangan
- v = koefisien reaksi
- $C_p$  = kapasitas panas (kJ/mol.K)

Tabel 2.3 Nilai Kapasitas panas komponen pada suhu operasi

Komponen	$C_p = A+BT+CT^2+DT^3+ET^4$					Suhu (J/mol.K)		
	A	B	C	D	E	344.15	353.15	345.15
*C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	748.120	-0.00059	3.5923E-06			32176.87		
HNO <sub>3</sub>	214.478	-0.76762	0.001497	-3.02E-07		4832.59		5293.15
**C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0.0631	0.19992				2750.61	3584.19	3025.27
NO	33.227	-0.02363	5.3156E-05	-3.79E-08	9.12E-12	1288.59		1408.48
H <sub>2</sub> O	92.053	-0.03995	-0.000211	5.3469E-07		3234.91	4136.42	3535.31
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	75.878	0.64182	-0.0016493	1.69E-06			9266.09	
O <sub>2</sub>	29.526	-0.0089	3.8083E-05	-3.26E-08	8.86E-12		1630.32	1391.89
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	31.298	0.072449	0.0001948	-2.16E-07	-6.2974E-11			3143.83

Sumber : *Yaws, 1999*

*\*Barbosa, 2003*

*\*\*Perry Ed.9<sup>th</sup>, 2019*

a. Proses Oksidasi Karbohidrat

Reaksi :



Glukosa                      Asam Nitrat                      Asam Oksalat + Air + Nitrogen Monoksida

- Pada kondisi standar (T = 298,15 K)

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}_{298} &= H \text{ produk} - H \text{ reaktan} \\ &= [(3(-826,78) + 6(-285,84) + 6(90,374)) - \\ &\quad [(-1262,2) + 6(-173,008)]] \\ &= (-3653,13) - (-2254,25) \\ &= -1398,88 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ}_{298} &= \Delta G^{\circ} \text{ produk} - \Delta G^{\circ} \text{ reaktan} \\ &= [(3(-697,91) + 6(-237,191) + 6(86,688)) - \\ &\quad [(-915,9) + 6(-79,705)]] \\ &= (-2996,74) - (-1394,13) \\ &= -1602,61 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

- Pada kondisi operasi (T = 344,15 K, P = 1 atm)

$$\begin{aligned} \Delta C_p &= \sum_i v C_{p_i} && \text{(Smith et al., 2001)} \\ &= (v_{\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4} C_{p_{\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4}}) + (v_{\text{H}_2\text{O}} C_{p_{\text{H}_2\text{O}}}) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
& + (v_{\text{NO}} C_{p\text{NO}}) - (v_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} C_{p\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}) - \\
& (v_{\text{HNO}_3} C_{p\text{HNO}_3}) \\
& = (3 \times 2750.61 \text{ J/mol}) + (6 \times 3234.91 \text{ J/mol}) + (6 \times \\
& \quad 1288.59 \text{ J/mol}) - (1 \times 32176.87 \text{ J/mol}) - (6 \times \\
& \quad 4832.59 \text{ J/mol}) \\
& = -25.779,5949 \text{ J/mol} \\
& = -25,78 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta H & = \Delta H^0 + \Delta C_p (T - T_0) \quad (\text{Smith et al., 2001}) \\
& = -1398,88 \text{ kJ/mol} + = -25,78 \text{ kJ/mol} \\
& = -1424,66 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Menghitung  $\Delta G$

Dengan konstanta kesetimbangan pada kondisi standar diperoleh:

$$\begin{aligned}
K_{c1} & = e^{-\Delta G^0/RT} \quad (\text{Bird, 1987}) \\
& = e^{-\frac{-1602,61 \text{ kJ/mol}}{0,008314 \text{ kJ/mol.K} \cdot 298,15 \text{ K}}} \\
& = 1,998.10^{228}
\end{aligned}$$

Maka, konstanta kesetimbangan pada kondisi operasi dapat diperoleh:

$$\ln \frac{K_{c1}}{K_{c2}} = \frac{\Delta H^0}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (\text{Bird, 1987})$$

$$\ln \frac{1,998 \cdot 10^{228}}{K_{c2}} = \frac{-3020,7750 \text{ kJ/mol}}{0,008314 \text{ kJ/mol.K}} \left( \frac{1}{341,15 \text{ K}} - \frac{1}{298,15 \text{ K}} \right)$$

$$\ln \frac{1,998 \cdot 10^{228}}{K_{c2}} = 153,6019$$

$$\frac{1,998 \cdot 10^{228}}{K_{c2}} = e^{153,6019}$$

$$\frac{1,998 \cdot 10^{228}}{K_{c2}} = 5,1106 \cdot 10^{66}$$

$$K_{c2} = \frac{1,998 \cdot 10^{228}}{5,1106 \cdot 10^{66}}$$

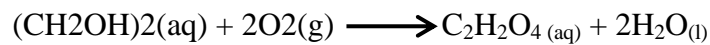
$$= 3,9104 \cdot 10^{161}$$

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln K_c \quad (\text{Bird, 1987})$$

$$= -1303,07 \text{ kJ/mol} + (0,008314 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \cdot \text{K} \cdot 341,15 \text{ K} \cdot \ln 3,9104 \cdot 10^{161})$$

$$= -247,7301 \text{ kJ/mol}$$

b. Proses Etilen Glikol



Etilen Glikol      Air                      Asam Oksalat      Air

- Pada kondisi standar (T = 298,15 K)

$$\Delta H_{f298}^0 = H \text{ produk} - H \text{ reaktan}$$

$$= [(-723,7) + 2(-285,83)] - [(-454,8) + 2(-11,7)]$$

$$= -817,16 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^{\circ}_{298} &= \Delta G^{\circ} \text{ produk} - \Delta G^{\circ} \text{ reaktan} \\
 &= [(-661) + 2(-237,129)] - [(-323,08) + 2(16,4)] \\
 &= -844,98 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

- Pada kondisi operasi (T = 353,15 K, P = 3 atm)

$$\begin{aligned}
 \Delta C_p &= \sum_i v_i C_{p_i} && \text{(Smith et al., 2001)} \\
 &= (v_{(CH_2OH)_2} C_{p_{(CH_2OH)_2}}) + (v_{O_2} C_{p_{O_2}}) \\
 &\quad + (v_{C_2H_2O_4} C_{p_{C_2H_2O_4}}) + (v_{H_2O} C_{p_{H_2O}}) \\
 &= (1 \times 171,44 \text{ J/mol.K}) + (2 \times 1063,6 \text{ J/mol.K}) + \\
 &\quad (717,99 \text{ J/mol.K}) + (2 \times 75,174 \text{ J/mol.K}) \\
 &= 3167,0185 \text{ J/mol.K} = 3,1670185 \text{ KJ/mol.K}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H &= \Delta H^0 + \Delta C_p (T - T_0) && \text{(Smith et al., 2001)} \\
 &= -817,16 \text{ kJ/mol} + [3,1670185 \text{ kJ/mol.K} \times (353,15 \\
 &\quad \text{K} - 298,15 \text{ K})] \\
 &= -642,9740 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

### Menghitung $\Delta G$

Dengan konstanta kesetimbangan pada kondisi standar diperoleh:

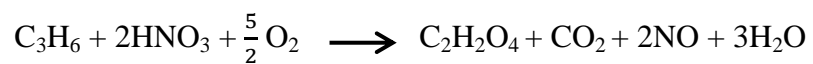
$$\begin{aligned}
 K_{c1} &= e^{-\Delta G^0/RT} && \text{(Bird, 1987)} \\
 &= e^{-\frac{-844,98 \text{ kJ/mol}}{0,00834 \text{ kJ/mol.K} \cdot 298,15 \text{ K}}} \\
 &= 1,101 \cdot 10^{148}
 \end{aligned}$$

Maka, konstanta kesetimbangan pada kondisi operasi dapat diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \ln \frac{K_{c1}}{K_{c2}} &= \frac{\Delta H^0}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) && \text{(Bird, 1987)} \\
 \ln \frac{1,101 \cdot 10^{148}}{K_{c2}} &= \frac{-642,9740 \text{ kJ/mol}}{0,008314 \text{ kJ/mol.K}} \left( \frac{1}{353,15 \text{ K}} - \frac{1}{298,15 \text{ K}} \right) \\
 \ln \frac{1,101 \cdot 10^{148}}{K_{c2}} &= 40,3972 \\
 \frac{1,101 \cdot 10^{148}}{K_{c2}} &= e^{40,3972} \\
 \frac{1,101 \cdot 10^{148}}{K_{c2}} &= 3,502 \cdot 10^{17} \\
 K_{c2} &= \frac{1,101 \cdot 10^{148}}{3,502 \cdot 10^{17}} \\
 &= 3,15 \cdot 10^{130}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G &= \Delta G^0 + RT \ln K_c && \text{(Bird, 1987)} \\
 &= -844,98 \text{ kJ/mol} + \left(0,008314 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \cdot \text{K} \cdot 353,15 \text{ K} \cdot \right. \\
 &\quad \left. \ln 3,15 \cdot 10^{130}\right) \\
 &= 37,2638 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

c. Proses Propilen



- Pada kondisi standar (T = 298,15 K)

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{f298}^0 &= H \text{ produk} - H \text{ reaktan} \\
 &= [(-723,7) + (-393,509) + (2(90,25) + 3(-285,83))] - \\
 &\quad [(19,71) + 2(0) + 5/2(-11,7)] \\
 &= -1784,66 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G_{298}^0 &= \Delta G^0 \text{ produk} - \Delta G^0 \text{ reaktan} \\
 &= [(-661) + (-394,359) + (2(86,55) + 3(-237,129))] - \\
 &\quad [(62,205) + 2(-111,25) + 5/2(-16,4)] \\
 &= -1392,351 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

- Pada kondisi operasi ( $T = 343,15 \text{ K}$ ,  $P = 3 \text{ atm}$ )

$$\begin{aligned}
 \Delta C_p &= \sum_i v_i C_{p_i} && \text{(Smith et al., 2001)} \\
 &= (v_{C_3H_6} C_{p_{C_3H_6}}) + (v_{HNO_3} C_{p_{HNO_3}}) + (v_{O_2} C_{p_{O_2}}) \\
 &\quad + (v_{C_2H_2O_4} C_{p_{C_2H_2O_4}}) + (v_{CO_2} C_{p_{CO_2}}) \\
 &\quad + (v_{NO} C_{p_{NO}}) + (v_{H_2O} C_{p_{H_2O}}) \\
 &= (1 \times -65593,58 \text{ J/mol.K}) + (2 \times 60427,502 \text{ J/mol.K}) \\
 &\quad + \left(\frac{5}{2} \times -283161,1 \text{ J/mol.K}\right) + \\
 &\quad (80105,85 \text{ J/mol.K}) + (-937698 \text{ J/mol.K}) + \\
 &\quad (2 \times 2171,5682 \text{ J/mol.K}) + (3 \times -8427,051 \text{ J/mol.K}) \\
 &= -1531172 \text{ J/mol.K} = -1531,172 \text{ kJ/mol.K}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H &= \Delta H^0 + \Delta C_p (T - T_0) && \text{(Smith et al., 2001)} \\
 &= -1784,66 \text{ kJ/mol} + [-1531,172 \text{ kJ/mol.K} \times (343,15 \\
 &\quad \text{K} - 298,15 \text{ K})] \\
 &= -70687,38 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Menghitung  $\Delta G$

Dengan konstanta kesetimbangan pada kondisi standar diperoleh:

$$K_{c1} = e^{-\Delta G^0/RT} \quad \text{(Bird, 1987)}$$

$$= e^{-\frac{-1392,351 \text{ kJ/mol}}{0,008314 \text{ kJ/mol.K} \cdot 298,15 \text{ K}}}$$

$$= 8,77 \cdot 10^{243}$$

Maka, konstanta kesetimbangan pada kondisi operasi dapat diperoleh:

$$\ln \frac{K_{c1}}{K_{c2}} = \frac{\Delta H^0}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (\text{Bird, 1987})$$

$$\ln \frac{8,77 \cdot 10^{243}}{K_{c2}} = \frac{-70687,38 \text{ kJ/mol}}{0,008314 \text{ kJ/mol.K}} \left( \frac{1}{343,15 \text{ K}} - \frac{1}{298,15 \text{ K}} \right)$$

$$\ln \frac{8,77 \cdot 10^{243}}{K_{c2}} = 373,6036$$

$$\frac{8,77 \cdot 10^{243}}{K_{c2}} = e^{373,6036}$$

$$\frac{8,77 \cdot 10^{243}}{K_{c2}} = 1,79 \cdot 10^{162}$$

$$K_{c2} = \frac{8,77 \cdot 10^{243}}{1,79 \cdot 10^{162}}$$

$$= 4,886 \cdot 10^{81}$$

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln K_c \quad (\text{Bird, 1987})$$

$$= -1392,351 \text{ kJ/mol} + \left( 0,008314 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \cdot \text{K} \cdot 343,15 \text{ K} \cdot \right.$$

$$\left. \ln 4,886 \cdot 10^{81} \right)$$

$$= -855,7235 \text{ kJ/mol}$$

Perbandingan proses pembuatan asam oksalat berdasarkan uraian diatas dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.4 Perbandingan Proses-Proses Pembuatan Asam Oksalat

<b>Keterangan</b>	<b>Proses Oksidasi Karboidrat</b>	<b>Proses Etilen Glikol</b>	<b>Proses Propilen</b>
Bahan Baku	Glukosa	Etilen glikol	Propilen
	HNO <sub>3</sub>	O <sub>2</sub>	HNO <sub>3</sub>
			O <sub>2</sub>
Katalis	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-
Kondisi Operasi	T = 71°C	T = 80°C	T = 72°C
	P = 1 atm	P = 3 atm	P = 3 atm
Konversi reaktan (%)	76	90	77,5
Purity (%)	98	96	96
$\Delta H^{\circ}_{298}$ (kJ/mol)	-1398,88	-817,16	-1784,66
$\Delta H^{\circ}_{Operasi}$ (kJ/mol)	-1424,66	-642,9740	
$\Delta G^{\circ}_{298}$ (kJ/mol)	-1602,61	-844,98	-1392,351
$\Delta G^{\circ}_{Operasi}$ (kJ/mol)	-247, 7301	37,2638	-855,7235
Keuntungan/kg	Rp.64.520,37	Rp. 49.467,47	Rp.66.381,99

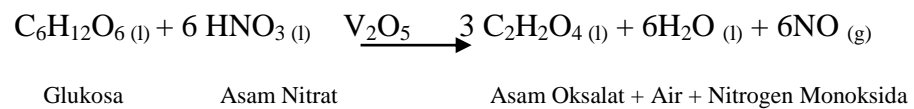
Berdasarkan data dari Tabel 2.4 maka proses oksidasi karbohidrat dengan asam nitrat dipilih untuk pembuatan asam oksalat dihidrat, dengan pertimbangan sebagai berikut:

- Tekanan dan suhu operasi proses oksidasi karbohidrat lebih rendah dibanding dengan proses lain.
- Keuntungan produksi per-kg produk tinggi
- Bahan baku mudah didapatkan dan lebih murah.



### 2.3 Uraian Proses

Asam oksalat diproduksi menggunakan proses oksidasi glukosa dengan asam nitrat menggunakan katalis vanadium pentaoksida di dalam reaktor Fix Bed Multitubular. Reaksi yang terjadi di reaktor berlangsung pada fase cair-cair dengan temperatur 71°C dan tekanan 1 atm dengan konversi sebesar 76%. Reaksi yang terjadi di reaktor adalah :



Produksi asam oksalat dengan proses oksidasi karbohidrat menggunakan bahan baku glukosa dan asam nitrat dilakukan melalui 3 tahapan proses yaitu:

1. Tahap persiapan bahan baku
2. Tahap pembentukan asam oksalat
3. Tahap pemurnian produk dan pembentukan kristal

Uraian tiap tahap proses adalah sebagai berikut:

1. Tahap persiapan bahan baku

Bahan baku berupa Glukosa ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) 60% berat dari tangki penyimpanan glukosa (ST-101) bersuhu 30°C dipompa ke dalam Heat Exchanger (HE-101) untuk dipanaskan sampai 99,24°C. Kemudian glukosa akan bercampur dengan aliran *recycle* yang keluar dari *centrifuge* di *mixing point* (MP-101) kemudian dialirkan menuju Reaktor-1 (RE-201). Asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) 58% dari tangki

penyimpanan asam nitrat (ST-102) bersuhu 30°C dipompa ke dalam Heat Exchanger (HE-102) untuk dipanaskan sampai 63°C. Glukosa yang bercampur dengan aliran recycle di *Mixing Point*-101 (Aliran 4) akan bercampur dengan asam nitrat 63°C di *Mixing Point*-102. Aliran 6 berupa campuran glukosa dan asam nitrat keluaran MP-102 diumpankan ke dalam Reaktor-1 (RE-201).

## 2. Tahap pembentukan asam oksalat

Sintesis produk untuk menghasilkan asam oksalat terjadi di dalam reaktor (RE-201). Reaksi berjalan pada fase cair-cair di dalam reaktor fix bed dengan katalis  $V_2O_5$  yang tertanam di dalam reaktor. Reaksi bersifat eksotermis dan reaktor dioperasikan secara isothermal-non adiabatik. Reaktor beroperasi pada suhu 71°C dan tekanan 1 atm. Umpan glukosa terkonversi sebanyak 76% dan tidak ada asam nitrat yang berlebih. Karena reaksi menghasilkan panas, maka untuk mempertahankan suhu di reaktor tetap konstan digunakan media pendingin berupa *cooling water*.

Produk keluaran reaktor terdiri dari dua aliran, yaitu aliran gas dan aliran liquid. Gas yang dihasilkan dari reaksi ini adalah gas nitrogen monoksida, sedangkan liquid keluaran reaktor terdiri dari asam oksalat, air, dan sisa reaktan glukosa yang tidak tereaksi. Produk keluaran reaktor berupa cairan dipompa menuju evaporator, sedangkan gas NO akan direaksikan dengan oksigen menjadi gas  $NO_2$ .

Gas  $\text{NO}_2$  yang terbentuk selanjutnya diserap menggunakan  $\text{H}_2\text{O}$  menjadi  $\text{HNO}_3$  58% yang kemudian akan dipompa ke ST-102 dan digunakan sebagai bahan baku pembuatan asam oksalat.

3. Tahap pemurnian produk dan pembentukan kristal

Setelah asam oksalat terbentuk di dalam reaktor, maka tahap selanjutnya yaitu pemurnian produk dan pengkristalan asam oksalat. Cairan hasil keluaran reaktor (RE-201) terdiri atas asam oksalat, air dan sisa reaktan selanjutnya dipekatkan menggunakan evaporator yang dibatasi oleh kelarutan asam oksalat untuk mencegah terbentuknya kristal yang dapat menyumbat evaporator. Liquid yang sudah dipekatkan selanjutnya dipompa menuju *Crystallizer* (CR-301) yang beroperasi pada suhu  $31^\circ\text{C}$  untuk menghasilkan kristal asam oksalat.

Keluaran dari CR-301 dipompa menuju Centrifuge (CF-301) untuk memisahkan antara kristal asam oksalat dihidrat yang terbentuk dengan larutan induknya. *Mother liquor* keluaran Centrifuge (CF-301) akan diumpankan kembali ke dalam reaktor dan produk kristal asam oksalat dihidrat dengan kemurnian 99% ditransportasikan menggunakan *screw conveyor* dan *bucket elevator* menuju Silo Storage (SS-301) untuk disimpan kemudian dikemas di unit pengemasan.

### III. SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

#### 3.1 Spesifikasi Bahan Baku

##### A. Glukosa

Rumus molekul	:	$C_6H_{12}O_6$
Wujud	:	Cair
Berat Molekul	:	180 g/mol
Densitas	:	1,35 – 1,45 kg/m <sup>3</sup>
pH	:	4,57
Titik didih	:	104°C
Kemurnian dalam persen massa	:	60% $C_6H_{12}O_6$

##### B. Asam Nitrat

Rumus molekul	:	$HNO_3$
Wujud	:	Cair
Warna	:	Tidak bewarna
Densitas	:	1,41 g/cm <sup>3</sup> (20°C)
Titik lebur	:	-41,6 °C
Titik didih	:	121 °C
Kemurnian dalam persen massa	:	58% $HNO_3$

(PT. Multi Nitrotama Kimia)

**C. Udara**

Komposisi	:	79% N <sub>2</sub> dan 21% O <sub>2</sub>
- Nitrogen		
Rumus Molekul	:	N <sub>2</sub>
Fasa	:	Gas
Berat Molekul	:	28,013 kg/kmol
Tekanan Kritis	:	33,5 atm
Titik Didih	:	-195,8 °C
Titik Beku	:	-210 °C
Suhu Kritis	:	-146,9 °C
- Oksigen		
Rumus Molekul	:	O <sub>2</sub>
Fasa	:	Gas
Berat Molekul	:	31,999 kg/kmol
Tekanan Kritis	:	49,8 atm
Titik Didih	:	-183 °C
Titik Beku	:	-218,8 °C
Suhu Kritis	:	-118,6 °C

**D. Hidrogen Peroksida**

Rumus molekul	:	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Wujud	:	Cair
Warna	:	Tidak bewarna
Densitas	:	1,4425 g/cm <sup>3</sup> (25°C)
Viskositas	:	1,249 mPa.s
Titik didih	:	150,2 °C
Kemurnian dalam persen massa	:	50% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>

(PT. Peroksida Indonesia Pratama)

**E. Katalis Vanadium Pentaoksida**

Rumus molekul	:	$V_2O_5$
Wujud	:	Bubuk padatan
Warna	:	Kuning tua
Berat Molekul	:	181,88 g/mol
Densitas	:	3,357 g/cm <sup>3</sup>
Titik didih	:	1.750°C
Kelarutan dalam air	:	0,8 g/L (20°C)
Kemurnian dalam persen massa	:	99.9% $V_2O_5$ . 0.1% pengotor

**3.2 Spesifikasi Produk****A. Asam Oksalat Dihidrat**

Rumus molekul	:	$C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$
Wujud	:	Kristal putih halus
Berat Molekul	:	126 g/mol
pH	:	1,3
Densitas	:	1,653 g/cm <sup>3</sup> (Dihidrat) 1,900 g/cm <sup>3</sup> (Anhidrat)
Titik didih	:	101,5°C
Kelarutan dalam air	:	11 Kg/100 Kg H <sub>2</sub> O (23°C) 120 Kg/100 Kg H <sub>2</sub> O (100°C)
Kemurnian dalam persen massa	:	98%
		(Kirk and Othmer, 1994)

## **BAB X. SIMPULAN DAN SARAN**

### **10.1 Simpulan**

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Asam Oksalat Dihidrat dengan kapasitas 10.000 ton/tahun dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak sebesar 27%.
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak 2,38 tahun.
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 36,16% dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 21,74%, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 34,20%, lebih besar dari suku bunga bank saat ini, sehingga investor akan lebih memilih untuk menanamkan modalnya ke pabrik ini daripada ke bank.

### **10.2 Saran**

Berdasarkan pertimbangan hasil analisis ekonomi di atas, maka dapat diambil simpulan bahwa pabrik Asam Oksalat Dihidrat dengan kapasitas 10.000 ton/tahun layak untuk dikaji lebih lanjut dari segi proses maupun ekonominya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Advanced Industrial Component. (2019). *AIC shell and tube heat exchangers*. Diakses pada 20 Februari 2023, dari <https://aicheatexchangers.com/shell-and-tube-heat-exchangers/>
- Arief, A. I., Kusnayat, A. & Mufidah, I. (2021). *Perancangan Hopper dan Simulasi Aliran Bahan Baku pada Penampung Hammer Mill Di PT. XYZ dengan Metode Reserve Engineering*. Diakses pada 3 Januari 2023, dari [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/16723/16431&ved=2ahUKEwix9-i0w\\_r5AhW9zjgGHf-ZDSsQFnoECAoQAQ&usg=AOvVaw1EEcYa04VfUiBk7XS7q0Wn](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/16723/16431&ved=2ahUKEwix9-i0w_r5AhW9zjgGHf-ZDSsQFnoECAoQAQ&usg=AOvVaw1EEcYa04VfUiBk7XS7q0Wn)
- Aries, R. S., & Newton, R. D. (1955). *Chemical Engineering Cost Estimation*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Artha Beton. (2022). *Harga Baja Ringan – Jual per Batang ( 6M ) & per Meter*. Diakses pada 7 Mei 2023, dari <https://arthabeton.co.id/product/harga-baja-ringan/>
- Bank Indonesia. (2022). *Data Inflasi*. Diakses pada 7 Juni 2023, dari <https://www.bi.go.id/id/statistik/indikator/data-inflasi.aspx>
- Bird, T. (1987). *Kimia Fisik untuk Universitas*. Jakarta: PT Gramedia.
- Blank, L., & Tarquin, A. (2008). *Basics of Engineering Economy*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J., & Ratnayaka, D. D. (2017). *Water Filtration: Twort's Water Supply*. USA: Elsevier Ltd.
- Brown, G. G. (1950). *Unit Operation*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.



- Chase, M.W., Jr. (1998). *NIST-JANAF Thermochemical Tables* (4<sup>th</sup> ed.). Diakses pada 2 November 2022, dari <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?Source=1998CHA1-1951&Masj=FFF>
- Chemical Engineering. (2022). *The Chemical Engineering Plant Cost Indeks*. Diakses pada 7 Mei 2023, dari <https://www.chemengonline.com/pci-home>
- Chrome-effect. (2021). *Tinggi Tumpukan Maksimum, Persyaratan Keamanan saat Menyimpan Bahan, Metode untuk Meletakkan Barang harus Menyediakan*. Diakses pada 18 Maret 2023, dari <https://chrome-effect.ru/id/drywall/maksimalnaya-vysota-shtabelya-trebovaniya-bezopasnosti-pri/>
- Conveyor Equipment Manufactures Association. (2019). *Screw Conveyors for Bulk Materials: ANSI/CEMA Standart No. 350* (5<sup>th</sup> ed.). Diakses pada 22 Maret 2023, dari <https://cemanet.org/wp-content/uploads/2019/06/ANSI-CEMA-350-FinalReview.pdf>
- Coulson, J. M., Richardson, J. F., Harker, J. H., & Backhurst, J. R. (2002). *Chemical Engineering Volume 2: Particle Technology & Separation Processes* (5<sup>th</sup> ed.). Oxford: Butterworth Heinemann.
- Geankolpis, C. J. (1993). *Transport Process and Unit Operation* (3<sup>rd</sup> ed.). Tokyo: Prentice-Hall International Inc.
- Hasanah, R. (2020). Jenis-Jenis Tangki Penyimpanan Bahan. Diakses pada 10 Agustus 2023, dari <https://kimia.unimudasorong.ac.id/artikel/jenis-jenis-tanki-penyimpanan-bahan>
- Himmelblau, D. M., & Riggs, J. B. (2004). *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering* (7<sup>th</sup> ed.). New Jersey: Prentice Hall Professional Technical Reference.
- Kern, D. Q. (1965). *Process Heat Transfer*. Tokyo: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Kirk, R. E., & Othmer, D. F. (1998). *Encyclopedia of Chemical Technology* (4<sup>th</sup> ed.). New York: John Wiley & Sons Inc.

- Linquip. (2022). *What are Double Pipe Heat Exchangers and Their Working Principles?*. Diakses pada 20 April 2023, dari <https://www.linquip.com/blog/double-pipe-heat-exchangers/>
- Matches. (2014). *Matches' Process Equipment Cost Estimates*. Diakses pada 28 April 2023, dari <http://www.matche.com/equipcost/Default.html>
- McCabe, W. L., Smith, J.C., & Harriott. (1993). *Unit Operation of Chemical Engineering* (5<sup>th</sup> ed.). New York: McGraw-Hill, Inc.
- Mulin J.W. (2001). *Crystallization* (4<sup>th</sup> ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (7<sup>th</sup> ed.). New York: McGraw-Hill Companies Inc.
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K.D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (4<sup>th</sup> ed.). New York: McGraw-Hill, Inc.
- Powell, S. T. (1954). *Water Conditioning for Industry*. New York: Mc Graw Hill Book Company.
- Rase, H. F. (1977). *Chemical Reactor Design for Process: Principles and Techniques*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Safety Data Sheet. (2019). *S120 Demineralized Water*. Diakses pada 24 Mei 2023, dari [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.generalpaint.biz/tdsmsds/us/gen2o/msds/msdsS120\\_S120\\_DEMINERALIZED\\_WATER\\_ENUS.pdf&ved=2ahUKEwibwPfrtJL1AhVCR2wGHXjpCBEQFn\\_oECAsQAQ&usg=AOvVaw3mhO5qFkFkna5C1BMwTAw7](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.generalpaint.biz/tdsmsds/us/gen2o/msds/msdsS120_S120_DEMINERALIZED_WATER_ENUS.pdf&ved=2ahUKEwibwPfrtJL1AhVCR2wGHXjpCBEQFn_oECAsQAQ&usg=AOvVaw3mhO5qFkFkna5C1BMwTAw7)
- Severns, W. H. & Degler, H. E. (1939). *Steam, Air and Gas Power*. New York: J. Wiley & Sons Inc.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2001). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics* (6<sup>th</sup> ed.). New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Syahwardini, T. (2014). *Utilitas Pabrik*. Diakses pada 21 Agustus 2022, pada <https://id.scribd.com/doc/240963277/utilitas-Pabrik-ppt#>

- Towler, G., & Sinnott, R. (2008). *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*. USA: Elsevier Inc.
- Ullmann's. (2005). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (7<sup>th</sup> ed.). Inggris: Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Ulrich, G. D. (1984). *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Wagiman. (2020). *Gudang, Pengemasan, dan Cara Penyimpanan*. Diakses pada 11 Juli 2022, pada <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://hpt.faperta.ugm.ac.id/wp-content/uploads/sites/446/2020/10/Pak-Wagiman-Kuliah-4b.-GUDANG-TEKNIK-PENYIMPANAN.pdf&ved=2ahUKEwiM6eqT2pH5AhXvSGwGHRGNCzcQFnoECAsQAQ&usg=AOvVaw3Bc2nHGCVnyPYsbVxwpVRh>
- Walas, S. M. (1990). *Chemical Proses Equipment Selection and Design*. Boston: Butterworth-Heinemann.
- Wilson, E. T. (2005). *Clarifier Design*. London: Mc Graw Hill Book Company.
- Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.