

**PRA RANCANGAN PABRIK ASAM OKSALAT DIHIDRAT
KAPASITAS 4.500 TON PER TAHUN**



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan
Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Berkelanjutan
Jurusan Teknik Kimia
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Oleh:

MASNA WAHIDA (43121016)

NUR LAILA IDRIS (43121019)

**PROGRAM STUDI D4 TEKNOLOGI REKAYASA KIMIA BERKELANJUTAN
JURUSAN TEKNIK KIMIA
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini dengan judul **Pra Rancangan Pabrik Asam Oksalat Dihidrat Kapasitas 4.500 ton/tahun** oleh Masna Wahida NIM 431 21 016 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2025

Menyetujui,

Pembimbing I


Dr. Joice Manga, S.T., M.T.
NIP. 19731215 200312 2 001

Pembimbing II


Muhammad Saleh S. T., M. Si.
NIP. 19671008 199303 1 001

Mengetahui,

Koodinator Program Studi
D4 Teknologi Rekayasa Kimia
Berkelanjutan


Yuliani HR, S.T., M.Eng
NIP. 19730409 200312 2 002

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini dengan judul **Pra Rancangan Pabrik Asam Oksalat Dihidrat Kapasitas 4.500 Ton/Tahun** oleh Nur Laila Idris NIM 431 21 019 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2025

Pembimbing I

Dr. Joice Manga, S.T., M.T.
NIP. 19731215 200312 2 001

Pembimbing II

Muhammad Saleh S. T., M. Si
NIP. 19671008 199303 1 001

Mengetahui,

Koodinator Program Studi
D4 Teknologi Rekayasa Kimia
Berkelanjutan

Yuliani HR, S.T., M.Eng
NIP. 19730409 200312 2 002

DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR GAMBAR.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR SIMBOL.....	Error! Bookmark not defined.
RINGKASAN	x
BAB I PENDAHULUAN	12
1.1 Latar Belakang	12
1.2 Kapasitas Rancangan Pabrik.....	13
1.2.1 Kapasitas Pabrik yang Telah Beroperasi secara Global.....	13
1.2.2 Ketersediaan Bahan Baku	14
1.2.3 Kapasitas Produksi.....	15
1.3 Penentuan Lokasi Pabrik.....	18
1.4 Tinjauan Pustaka	22
1.4.1 Bahan Baku	23
1.4.2 Bahan Pendukung	24
1.4.3 Produk	25

1.4.4 Tinjauan Proses	26
BAB II DESKRIPSI PROSES	Error! Bookmark not defined.
2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk	Error! Bookmark not defined.
2.1.1 Spesifikasi Bahan Baku.....	Error! Bookmark not defined.
2.1.2 Spesifikasi Bahan Pendukung	Error! Bookmark not defined.
2.1.3 Spesifikasi Produk.....	Error! Bookmark not defined.
2.1.4 Spesifikasi Produk Samping	Error! Bookmark not defined.
2.2 Konsep Proses	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Dasar Reaksi.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Kondisi Operasi.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.3 Tinjauan Termodinamika	Error! Bookmark not defined.
2.3 Langkah Proses	Error! Bookmark not defined.
2.3.1 Tahap Preparasi Sampel.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.2 Tahap Persiapan Bahan Baku.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.3 Tahap Pembentukan Produk	Error! Bookmark not defined.
2.3.4 Tahap Pemurnian Produk.....	Error! Bookmark not defined.
2.4 Diagram Alir Proses Produksi Asam Oksalat Dihidrat	Error! Bookmark not defined.
not defined.	
BAB III NERACA MASSA	Error! Bookmark not defined.
3.1 Neraca Massa Tangki Pengenceran (M-01).....	Error! Bookmark not defined.
defined.	
3.2 Neraca Massa Reaktor Hidrolisis (R-01)	Error! Bookmark not defined.
3.3 Neraca Massa Cooler (Cl-01).....	Error! Bookmark not defined.

3.4 Neraca Massa Filter Press (FP-01).....	Error! Bookmark not defined.
3.5 Neraca Massa Evaporator (Ev-01).....	Error! Bookmark not defined.
3.6 Neraca Massa Cooler (Cl-02).....	Error! Bookmark not defined.
3.7 Neraca Massa Reaktor Oksidasi (R-02) ..	Error! Bookmark not defined.
3.8 Neraca Massa Filter Press (FP-02).....	Error! Bookmark not defined.
3.9 Neraca Massa Evaporator (Ev-02).....	Error! Bookmark not defined.
3.10 Neraca Massa Kristalizer (Cr-01)	Error! Bookmark not defined.
3.11 Neraca Massa Centrifuge (CF-01)	Error! Bookmark not defined.
3.12 Neraca Massa Rotary Dryer (RD-01) ...	Error! Bookmark not defined.
BAB IV NERACA PANAS.....	Error! Bookmark not defined.
4.1 Neraca Panas Reaktor Hidrolisis (R-01) ..	Error! Bookmark not defined.
4.2 Neraca Panas Cooler (Cl-01)	Error! Bookmark not defined.
4.3 Neraca Panas Evaporator (Ev-01).....	Error! Bookmark not defined.
4.4 Neraca Panas Condensor (C-01).....	Error! Bookmark not defined.
4.5 Neraca Panas Cooler (Cl-02)	Error! Bookmark not defined.
4.6 Neraca Panas Reaktor Oksidasi (R-02)...	Error! Bookmark not defined.
4.7 Neraca Panas Evaporator (Ev-02).....	Error! Bookmark not defined.
4.8 Neraca Panas Condensor (C-02)	Error! Bookmark not defined.
4.9 Neraca Panas Kristallizer (Cr-01)	Error! Bookmark not defined.
4.10 Neraca Panas Rotary Dryer (RD-01)	Error! Bookmark not defined.
BAB V SPESIFIKASI ALAT	Error! Bookmark not defined.
5.1 Silo (Sl-01).....	Error! Bookmark not defined.
5.2 Tangki Penyimpanan (T-01)	Error! Bookmark not defined.

5.3 Tangki Pengencer (M-01)	Error! Bookmark not defined.
5.4 Reaktor Hidrolisis (R-01).....	Error! Bookmark not defined.
5.5 Cooler (Cl-01)	Error! Bookmark not defined.
5.6 Filter Press (FP-01)	Error! Bookmark not defined.
5.7 Evaporator (Ev-01).....	Error! Bookmark not defined.
5.8 Condensor (C-01).....	Error! Bookmark not defined.
5.9 Cooler (Cl-02)	Error! Bookmark not defined.
5.10 Tangki Penyimpanan (T-02)	Error! Bookmark not defined.
5.11 Bin Penyimpanan (Bin-01)	Error! Bookmark not defined.
5.12 Reaktor Oksidasi (R-02)	Error! Bookmark not defined.
5.13 Blower (Bl-01)	Error! Bookmark not defined.
5.14 Filter Press (FP-02)	Error! Bookmark not defined.
5.15 Evaporator (Ev-02).....	Error! Bookmark not defined.
5.16 Condensor (C-02).....	Error! Bookmark not defined.
5.17 Kristallizer (Cr-01).....	Error! Bookmark not defined.
5.18 Centrifuge (Cf-01).....	Error! Bookmark not defined.
5.19 Blower (Bl-02)	Error! Bookmark not defined.
5.20 Heat Exchanger (HE-01).....	Error! Bookmark not defined.
5.21 Rotary Drayer (RD-01)	Error! Bookmark not defined.
5.22 Silo (Sl-02).....	Error! Bookmark not defined.
5.23 Bucket Elevator (BE-01).....	Error! Bookmark not defined.
5.24 Bucket Elevator (BE-02).....	Error! Bookmark not defined.
5.25 Bucket Elevator (BE-03).....	Error! Bookmark not defined.

5.26 Belt Conveyor (BC-01)	Error! Bookmark not defined.
5.27 Srew Conveyor.....	Error! Bookmark not defined.
5.28 Pompa.....	Error! Bookmark not defined.
BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH Error! Bookmark not defined.	
6.1 Sistem Utilitas	Error! Bookmark not defined.
6.1.1 Kebutuhan Air	Error! Bookmark not defined.
6.1.2 Sistem Pengolahan Utilitas	Error! Bookmark not defined.
6.2 Pengolahan Limbah.....	Error! Bookmark not defined.
BAB VII INSTRUMENTASI DAN KESELAMATAN KERJA..... Error! Bookmark not defined.	
7.1 Instrumentasi.....	Error! Bookmark not defined.
7.2 Keselamatan Kerja	Error! Bookmark not defined.
BAB VIII STRUKTUR ORGANISASI	
8.1 Bentuk Badan Usaha	Error! Bookmark not defined.
8.2 Struktur Organisasi Perusahaan	Error! Bookmark not defined.
8.3 Manajemen Perusahaan.....	Error! Bookmark not defined.
8.4 Uraian Tugas, Wewenang dan Tangung Jawab	Error! Bookmark not defined.
defined.	
8.5 Pembagian jam kerja karyawan	Error! Bookmark not defined.
8.6 Status Karyawan Dan Sistem Upah	Error! Bookmark not defined.
8.7 Penggolongan Jabaran, Karyawan Dan Gaji.....	Error! Bookmark not defined.
defined.	

BAB IX LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK **Error! Bookmark not defined.**

9.1 Lokasi Pabrik **Error! Bookmark not defined.**

9.2 Tata Letak Pabrik **Error! Bookmark not defined.**

9.3 Tata Letak Alat Proses **Error! Bookmark not defined.**

BAB X ANALISA EKONOMI **Error! Bookmark not defined.**

10.1 *Total Capital Investment* (Total Investasi) **Error! Bookmark not defined.**

10.1.1 *Fixed Capital Investment* (Modal Investasi Tetap) **Error! Bookmark not defined.**

10.1.2 *Working Capital Investment* (Modal Kerja) **Error! Bookmark not defined.**

10.1.3 *Total Production Cost* (Biaya Produksi Total) . **Error! Bookmark not defined.**

10.2 Analisa Aspek Ekonomi **Error! Bookmark not defined.**

10.2.1 Laba/Keuntungan **Error! Bookmark not defined.**

10.2.2 *Return On Investment* (ROI) **Error! Bookmark not defined.**

10.2.3 *Internal Rate of Return* (IRR) **Error! Bookmark not defined.**

10.2.4 *Pay Out Time* (POT) **Error! Bookmark not defined.**

10.2.5 *Break Event Point* (BEP) **Error! Bookmark not defined.**

10.2.6 *Shut Down Point* (SDP) **Error! Bookmark not defined.**

BAB XI KESIMPULAN 32

DAFTAR PUSTAKA 34

LAMPIRAN A NERACA MASSA LA- **Error! Bookmark not defined.**

LAMPIRAN B NERACA PANAS..... LB-**Error! Bookmark not defined.**

LAMPIRAN C SPESIFIKASI ALAT**Error! Bookmark not defined.**

LAMPIRAN D UTILITAS**Error! Bookmark not defined.**

LAMPIRAN E ANALISA EKONOMI**Error! Bookmark not defined.**



RINGKASAN

Pra rancangan pabrik Asam Oksalat Dihidrat dengan kapasitas 4.500 ton per tahun. Pra rancangan pabrik ini diharapkan akan menghasilkan $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$ (asam oksalat dihidrat) untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Pabrik ini direncanakan akan didirikan di Kawasan Industri Tuban, Jawa Timur. Pembuatan asam oksalat dihidrat ini dilakukan dengan metode oksidasi karbohidrat. Proses oksidasi karbohidrat direncanakan akan beroperasi pada suhu $71^\circ C$ dengan tekanan 1 atm menggunakan reaktor alir tangki berpengaduk dengan konversi reaksi sebesar 85%. Perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan bentuk organisasi tipe garis dan staf dimana jumlah karyawan sebanyak 143 orang. Pabrik beroperasi

selama 24 jam tiap hari, dan 330 hari tiap tahun dengan pembagian kerja dilakukan berdasarkan sistem sift untuk karyawan operasional.

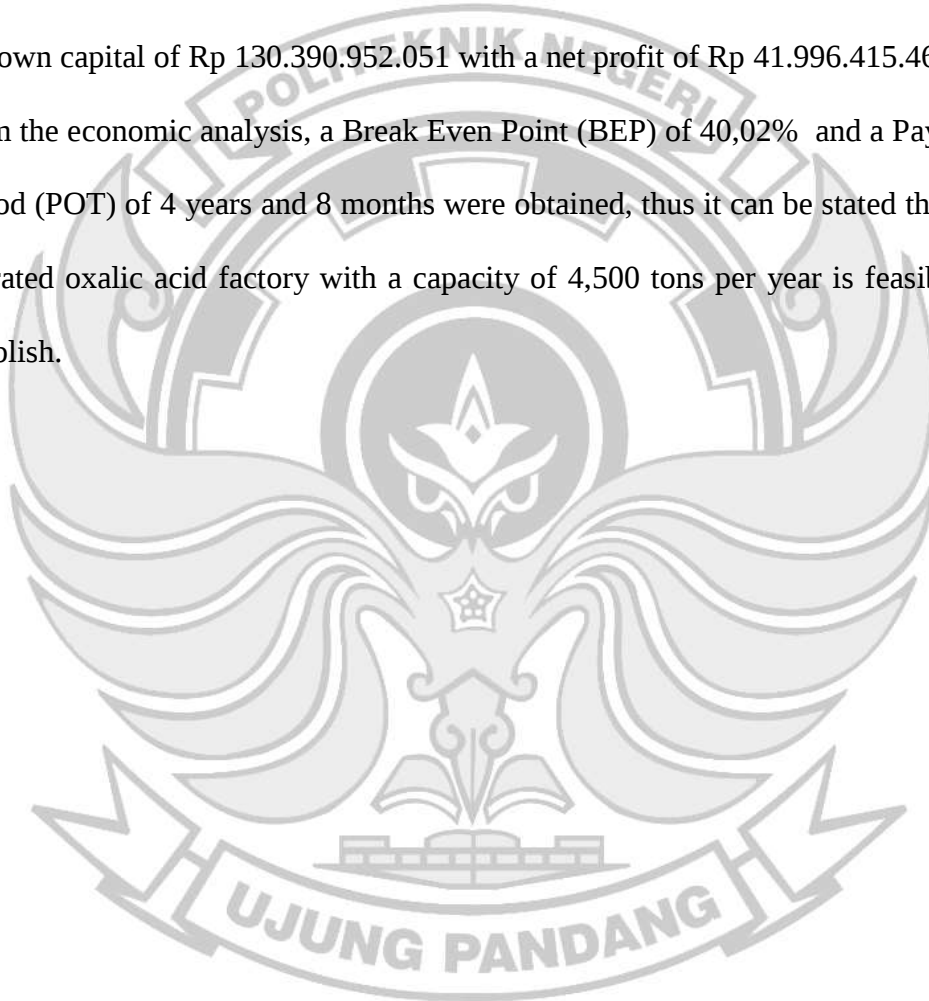
Berdasarkan hasil perhitungan analisa ekonomi, untuk pendirian pabrik $C_2H_2O_4.2H_2O$ dari tepung tapioka ini dibutuhkan total investasi sebesar Rp 217.317.420.085,12 tiap tahun terdiri dari modal pinjaman Rp 86.510.764.850,27 dan modal sendiri Rp 130.390.952.051 dengan laba bersih Rp 41.996.415.468,32. Dari hasil analisa ekonomi diperoleh *Break Event Point* (BEP) sebesar 40,02% dan POT 4 tahun 8 bulan, sehingga dapat dinyatakan bahwa pabrik asam oksalat dihidrat dengan kapasitas 4.500 ton per tahun ini layak untuk didirikan (*feasible*).

SUMMARY

Preliminary design of a Hydrated Oxalic Acid with a capacity of 4,500 tons per year. This preliminary design is expected to produce $C_2H_2O_4.2H_2O$ (hydrated oxalic acid) to meet domestic needs. The plant is planned to be established in the Tuban Industrial Area, East Java. The production of hydrated oxalic acid will be carried out using the carbohydrate oxidation method. The carbohydrate oxidation process is planned to operate at a temperature of 71°C with a pressure of 1 atm using a stirred tank reactor with a reaction conversion of 85%. The company is in the form of a Limited Liability Company (PT) with a line and staff type organizational structure, employing a total of 143 people. The plant operates 24 hours a day, and

330 days a year, with work assignments based on a shift system for operational employees.

Based on the results of the economic analysis, the establishment of the $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$ factory from tapioca starch requires a total investment of Rp 217.317.420.085,12 per year consisting of loan capital of Rp 86.510.764.850,27 and own capital of Rp 130.390.952.051 with a net profit of Rp 41.996.415.468,32. From the economic analysis, a Break Even Point (BEP) of 40,02% and a Payback Period (POT) of 4 years and 8 months were obtained, thus it can be stated that the hydrated oxalic acid factory with a capacity of 4,500 tons per year is feasible to establish.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan industri adalah bagian penting dari pembangunan jangka panjang untuk menciptakan struktur ekonomi yang kuat, dengan sektor industri maju dan pertanian tangguh. Namun, Indonesia masih bergantung pada impor bahan baku dan beberapa produk kimia, yang meningkatkan pengeluaran negara. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan upaya meningkatkan produksi bahan kimia dalam negeri, termasuk asam oksalat, guna untuk mengurangi ketergantungan impor. (Sutrisno, A. R., & Santoso, M., 2018).

Asam oksalat dihidrat ($C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$) merupakan salah satu senyawa kimia organik yang memiliki nilai strategis dalam berbagai sektor industri. Senyawa ini dikenal sebagai agen pengelat (*chelating agent*) yang sangat efektif, dengan aplikasi meluas di industri tekstil, logam, farmasi, elektronik, dan kimia analitik. Dalam industri tekstil, asam oksalat digunakan sebagai agen pemutih, sedangkan di industri logam, senyawa ini berfungsi sebagai pembersih untuk menghilangkan karat dan noda logam (Dewi, 2023).

Pabrik pembuatan asam oksalat ini dirancang untuk memanfaatkan bahan baku yaitu tepung tapioka yang dipasok dari pabrik-pabrik tepung tapioka di Indonesia. Dengan ketersediaan tepung tapioka yang dihasilkan secara lokal, industri dapat mengandalkan pasokan bahan baku yang stabil dan berkualitas. Jika dibanding dengan etilen glikol dan propilen, tepung tapioka memiliki harga yang lebih murah dan mudah untuk diperoleh karena sudah banyak diproduksi di dalam negeri. Selain

itu, pemanfaatan tepung tapioka dari produsen dalam negeri ini berkontribusi pada optimalisasi rantai pasok domestik, efisiensi biaya logistik, serta penguatan daya saing industri kimia nasional. (Wahyudi, A., & Suryanto, D., 2019).

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah impor kebutuhan asam oksalat pada tahun 2023 mencapai 2.663.336 kg/tahun atau sekitar 2.663,336 ton/tahun. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan asam oksalat di Indonesia cukup besar dan hanya bergantung pada impor, sehingga diperlukan suatu solusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor. Oleh karena itu, pendirian pabrik asam oksalat di Indonesia perlu direalisasikan untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor.

1.2 Kapasitas Rancangan Pabrik

1.2.1 Kapasitas Pabrik yang Telah Beroperasi secara Global

Beberapa pabrik asam oksalat yang telah beroperasi secara global ditunjukkan pada Tabel 1. 1 berikut.

Tabel 1.1 Pabrik Asam Oksalat yang Beroperasi secara Global

Data Pabrik Produsen Asam Oksalat		
Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
Indian Oxalate Limited	India	7.200
Oxaquim	Spanyo	25.000
Shijiazhuang Taihe Chemical Co., Ltd.	China	20.000
Fujian Shaowu Fine Chemical Faktory	China	55.000
Hefei DongFeng General Chemical Plant	China	60.000
Shandong Fengyuan ChemicalCo., ltd	China	120.000

Sumber : Global Chemical Network, (2024)

1.2.2 Ketersediaan Bahan Baku

Pabrik yang didirikan harus dapat memperoleh *supply* bahan baku secara terus menerus (*continue*). Bahan baku utama yang digunakan adalah tepung tapioka yang dihidrolisis menjadi glukosa dengan bantuan katalis asam klorida. Dimana glukosa inilah yang nantinya akan di oksidasi dengan asam nitrat dengan bantuan katalis padat vanadium pentoksida. Pabrik bahan baku seperti tepung tapioka, asam nitrat serta katalis asam klorida sudah banyak di Indonesia, sedangkan untuk katalis vanadium pentoksida masih bergantung pada impor. Adapun beberapa data ketersediaan bahan baku produksi asam oksalat sebagai berikut:

1) Ketersediaan Tepung Tapioka sebagai Bahan Baku Utama

Tabel berikut menunjukkan beberapa pabrik produsen tepung tapioka yang beroperasi di Indonesia

Tabel 1.2 Beberapa Pabrik Produksi Tepung Tapioka di Indonesia

Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
Wira Jatim Bangun	Jawa Timur	37.000
PT. Budi Strach & Sweetener Tbk	Jawa Timur	60.000
PT. Sumber Tani	Jawa Timur	4.800
PT. Hamparan Bumi Mas Abadi	Jawa Timur	48.000
PT. Bumi Acid Jaya	Lampung Tengah	75.000
PT. Eka Inti Tapioka	Lampung Tengah	37.500
PT. Sinar Pematang Mulia	Lampung Selatan	165.000
PT. Cheil Jedang Indonesia	Jawa Tengah	850.000
PT. Cassava Buana Wira Jatim	Jawa Timur	37.500
PT. Melati Putra Jaya	Jawa Tengah	16.500

Sumber: Kementerian Perindustrian Indonesia, (2025)

2) Ketersediaan Asam Nitrat

Hingga saat ini produsen utama asam nitrat di Indonesia ada dua yaitu pabrik PT. Multi Nitrotama kimia dengan kapasitas 150.000 ton/tahun dan pabrik PT. Kaltim Amonium Nitrat dengan kapasitas 75.000 ton/tahun.

3) Ketersediaan Bahan Baku Tambahan

Untuk bahan pendukung seperti asam klorida dapat di *supplay* dari pabrik PT. Asahimas Chemical, yang berada di Banten, sedangkan untuk katalis vanadium pentoksida dapat di impor dari pabrik *Shandong Hanxing Bio Tech Co., Ltd*, China.

1.2.3 Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas produksi pabrik yang akan didirikan merupakan salah satu hal yang penting untuk dipertimbangkan dengan baik. Nilai kapasitas pabrik yang ditetapkan akan berpengaruh dalam perhitungan baik dari segi teknis maupun ekonomis. Pabrik asam oksalat direncanakan akan didirikan pada tahun 2030 dengan peluang kapasitas yang ditujukan untuk menutupi nilai impor kebutuhan dari luar negeri. Rumus menghitung kapasitas dapat ditentukan melalui metode *discounted* berikut:

$$M = P (1+i)^n$$

Keterangan:

M = jumlah kebutuhan asam oksalat di tahun 2030

P = data terakhir impor kebutuhan asam

i = rata-rata pertumbuhan impor dari tahun 2019-2023

n = selisih tahun pendirian pabrik (2030-2023 = 7 tahun)

Untuk menghitung rata-rata pertumbuhan setiap tahun digunakan rumus sebagai berikut:

$$i = \frac{(y-x)}{x} \times 100$$

Dimana:

x : jumlah impor tahun awal

y : jumlah impor tahun akhir

Sehingga diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 1.3 Data Impor Kebutuhan Asam Oksalat Dari Tahun 2019-2023

Data Impor Asam Oksalat		
Tahun	kapasitas (ton/tahun)	Pertumbuhan Impor (%)
2019	2.129,786	-
2020	2.932,375	37,684
2021	2.281,678	-22,190
2022	2.435,414	6,738
2023	2.663,336	9,359
Total	12.442,589	31,590
Rata-rata pertumbuhan per tahun		7,898
I		0,07898

Sumber: Badan Pusat Statistik, (2024)

Berdasarkan Tabel 1.3 diperoleh rata-rata kenaikan impor kebutuhan asam (i)=0,07898, sehingga kebutuhan impor pada tahun 2030 adalah:

$$M = P (1+i)^n$$

$$M = 2.663,336 (1+0,07898)^7$$

$$M = 4.534,283 \text{ ton/tahun}$$

Berdasarkan data kenaikan impor kebutuhan asam oksalat dari tahun 2019-2023, impor kebutuhan asam oksalat pada tahun 2030 diperkirakan mencapai 4.534,283 ton/tahun.

Peluang kapasitas pabrik asam oksalat yang akan didirikan pada tahun 2030 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$M1 + M2 + M3 = M4 + M5$$

Dimana:

M1 : Nilai impor (ton)

M2 : Produksi pabrik dalam negeri (ton)

M3 : Kapasitas Pabrik yang akan didirikan (ton)

M4 : Nilai ekspor (ton)

M5 : Nilai Kebutuhan impor pada tahun pabrik akan didirikan

(Mankiw, N. Gregory, 2020)

Jika pabrik berdiri maka impor akan diberhentikan, sehingga $M1 = 0$

Karena di dalam negeri belum ada produksi, maka $M2 = 0$ dan $M4 = 0$

Sehingga diperoleh peluang kapasitas pabrik yang akan didirikan pada tahun 2030 yaitu:

$$M3 = (M4 + M5) - (M1 + M2)$$

$$M3 = (0 + 4.534,283) - (0+0)$$

$$M3 = 4.534,283 \text{ ton/tahun} = 4.500 \text{ ton/tahun}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh kapasitas produksi pabrik yang akan didirikan pada tahun 2030 adalah 4.500 ton/tahun. Dimana kapasitas ini diharapkan dapat menutupi jumlah impor asam oksalat pada tahun 2030 dan memenuhi kebutuhan dalam negeri.

1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Dalam penentuan lokasi pabrik, terdapat berbagai faktor yang perlu dipertimbangkan, seperti ketersediaan bahan baku, transportasi, utilitas, tenaga kerja, serta aspek ekonomi, sosial, dan hukum. Selain itu, terdapat dua pendekatan utama dalam pemilihan lokasi, yaitu orientasi pada sumber bahan baku (*raw market oriented*) dan orientasi pada pasar tujuan (*target market oriented*). Dalam perancangan pabrik ini, lokasi yang dipilih dekat dengan sumber bahan baku untuk mempermudah akses dan transportasi produk.

Berdasarkan faktor-faktor tersebut, maka pembangunan pabrik kimia asam oksalat dari tepung tapioka direncanakan akan dibangun di Kawasan Industri Tuban Jawa Timur. Pemilihan berdasarkan beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Ketersediaan bahan baku

Bahan baku merupakan faktor penting dalam kelangsungan operasi suatu pabrik. Jika lokasi yang dipilih dekat dengan sumber bahan baku, maka akan mengurangi biaya transportasi (pengiriman) bahan baku. Bahan baku tepung tapioka yang digunakan diperoleh dari PT. Budi Strach & Sweeter Tbk dan asam klorida diperoleh dari PT Asahimas Chemical yang ada di Banten, sedangkan asam nitrat diperoleh dari PT. Multi Nitrotama Kimia. Untuk vanadium pentoksida di impor dari *Shandong Hanxing Bio Tech Co., Ltd* di Shandong, China.

2. Sarana Transportasi

Salah satu faktor khusus yang perlu diperhatikan dalam perencanaan pabrik adalah faktor transportasi, baik untuk bahan baku maupun untuk produk-produk yang dihasilkan. Masalah transportasi tidak mengalami kesulitan karena tersedianya sarana perhubungan yang baik.

Dilansir dari website resmi KIT (Kawasan Industri Tuban), kawasan industri ini memiliki jalan utama dengan lebar 8 meter dan jalan sekunder dengan lebar 6 meter. Fasilitas pengangkutan darat dapat dipenuhi dengan adanya jalan raya (Pantura, jalan tol Manyar, Gresik - Surabaya) yang dilalui oleh kendaraan yang bermuatan berat dan fasilitas pengangkutan laut dapat dipenuhi dengan tersedianya pelabuhan-pelabuhan baik di sekitar Surabaya. Untuk transportasi udara dapat dipenuhi melalui bandara udara di Surabaya. Adapun pelabuhan di dekat Tuban yaitu Pelabuhan Sarang dengan jarak pabrik ke pelabuhan tersebut yakni sekitar 48 km dan pelabuhan Tanjung Perak dengan jarak sekitar 130 km. Sedangkan untuk bandara, Kawasan industri ini berjarak sekitar 150 km dari bandara Juanda.

3. Peluang pemasaran produk

Asam oksalat direncanakan akan dijual ke industri logam, pelapisan logam, dan industri tekstil serta industri-industri kecil hingga menengah yang membutuhkan asam oksalat. Di daerah Jawa Timur terdapat pabrik-pabrik yang membutuhkan asam oksalat seperti pabrik logam yaitu Jatim Logam dan pabrik industri tekstil seperti PT. Pabrik Tekstil Kasrie. Sebagian dari asam oksalat juga dapat dipasarkan secara umum untuk memenuhi kebutuhan lain dalam negeri dan jika memungkinkan sisanya dapat diekspor.

4. Utilitas

Utilitas merupakan elemen penting yang mendukung kelancaran proses produksi. Penyediaan utilitas ini mencakup unit pembangkit listrik, unit penyediaan bahan bakar, pengolahan air, dan sarana lainnya. Untuk Kebutuhan Listrik akan disuplay dari PLN dengan menggunakan jaringan *underground cable* maupun jaringan udara. Kebutuhan akan listrik dan bahan bakar bagi sebuah industri sangatlah penting untuk menjalankan alat-alat proses maupun penerangan. Bahan bakar untuk pabrik ini akan diperoleh dari Pertamina, dimana lokasi pabrik dengan SPBU Pertamina 18 km sehingga suplay bahan bakar dapat didapat dengan mudah. Untuk kebutuhan air akan diperoleh dari arikawasan atau yang akan dipadukan dengan air PDAM. Air tersebut akan diproses dengan metode pengolahan yang telah dirancang untuk memenuhi kebutuhan air pabrik.

5. Ketersediaan tenaga kerja

Jumlah penduduk usia kerja di Jawa Timur pada Februari 2024 sebesar 33,06 juta orang, bertambah sekitar 305,04 ribu orang (0,93 persen) dibandingkan keadaan setahun yang lalu. Jumlah tersebut terdiri dari 24,14 juta orang penduduk angkatan kerja dan 8,92 juta orang penduduk bukan angkatan kerja. Dengan demikian, Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK) Jawa Timur pada Februari 2024 mencapai 73,02 persen. Dari penduduk angkatan kerja tersebut, terdapat penduduk yang bekerja sebesar 23,24 juta orang, bertambah sekitar 831,28 ribu orang (3,71 persen) dibandingkan keadaan Februari 2023. (Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur).

6. Faktor-faktor ekonomi, sosial dan hukum

Dari segi ekonomi, keberadaan pabrik dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi lokal melalui penciptaan lapangan kerja dan peningkatan pendapatan masyarakat. Selain itu, pabrik juga dapat menarik investasi dan meningkatkan daya saing daerah.

Dari sisi sosial, pembangunan pabrik dapat mempengaruhi struktur sosial masyarakat. Hal ini dapat menciptakan peluang kerja baru, tetapi juga dapat menimbulkan tantangan seperti pergeseran budaya dan dampak terhadap lingkungan. Keterlibatan masyarakat dalam proses pembangunan sangat penting untuk memastikan bahwa manfaatnya dirasakan oleh semua pihak.

Ditinjau dari segi aspek sosial, pabrik yang dibangun juga harus mempunyai unit pengelolaan limbah yang baik agar tidak mencemari lingkungan dan mengganggu kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, dalam pemilihan lokasi pabrik juga harus mempertimbangkan ada atau tidaknya unit pengelolaan limbah pada kawasan industri yang dipilih. Menurut DPMPTSP Provinsi Jawa Timur, KIT (Kawasan Industri Tuban) ini memiliki unit pengolahan limbah dengan kapasitas 500 m³/hari, sehingga sangat cocok untuk dijadikan sebagai lokasi pendirian pabrik.

Dalam aspek hukum, terdapat berbagai regulasi yang harus dipatuhi, termasuk izin lingkungan, peraturan ketenagakerjaan, dan standar keselamatan. Kementerian Investasi/BKPM berperan penting dalam memberikan panduan dan dukungan

untuk memastikan bahwa semua aspek hukum terpenuhi, sehingga pembangunan pabrik dapat berjalan lancar dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.



Gambar 1.1 Rencana Lokasi Pendirian Pabrik

(Sumber: *Google Earth* 2024)

1.4 Tinjauan Pustaka

1.4.1 Bahan Baku

1) Tepung tapioka

Tepung tapioka merupakan produk yang berasal dari ekstraksi pati singkong (*Manihot esculenta*), yang banyak dimanfaatkan dalam industri pangan maupun non-pangan. Kandungan utama dari tepung tapioka adalah karbohidrat, terutama pati, yang terdiri dari molekul amilosa dan amilopektin.

Pati pada tepung tapioka dapat dihidrolisis menjadi glukosa melalui proses enzimatik maupun asam. Hidrolisis pati tepung tapioka dilakukan untuk menghasilkan glukosa sebagai bahan dasar dalam industri fermentasi, bioetanol, maupun farmasi. Proses ini biasanya menggunakan enzim seperti α -amilase untuk memecah ikatan α -(1 $\rightarrow$ 4), diikuti dengan glucoamilase untuk menghidrolisis unit glukosa menjadi monomer. Selain metode enzimatik, hidrolisis juga dapat dilakukan menggunakan asam seperti HCl atau H₂SO₄. (Zhang et al., 2019).

Tabel 1.4 Komposisi Tepung Tapioka

Komposisi	Jumlah
Karbohidrat	87,87 %
Air	7,8 %
Protein	1,6 %
Lemak	0,51 %
Abu	2,22 %
Total	100 %

Sumber : PT. Budi Strach & Sweeter Tbk, (2021)

2) Asam Nitrat

Asam nitrat (HNO₃) merupakan agen pengoksidasi yang sangat efektif dalam pembuatan asam oksalat. Dalam proses ini, asam nitrat bertindak sebagai katalis dan oksidator utama yang memfasilitasi transformasi glukosa menjadi asam oksalat. Reaktivitas tinggi asam nitrat memungkinkan reaksi berjalan dengan

efisien pada kondisi tertentu, seperti suhu dan tekanan yang terkendali. Selama reaksi berlangsung, asam nitrat memecah molekul glukosa melalui serangkaian langkah oksidasi, menghilangkan atom hidrogen, dan memutus rantai karbon untuk menghasilkan produk akhir.

Namun, penggunaan asam nitrat memerlukan pengelolaan yang hati-hati karena sifatnya yang korosif dan potensi dampak lingkungan dari limbah asam yang dihasilkan. Untuk mengatasi hal ini, proses industri sering kali melibatkan sistem pemulihan asam nitrat untuk mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi proses.

1.4.2 Bahan Pendukung

1) Vanadium Pentoksida dan Asam Klorida

Vanadium pentoksida (V_2O_5) dan asam klorida (HCl) memainkan peran kritis dalam proses katalitik oksidasi glukosa menjadi asam oksalat menggunakan asam nitrat. Vanadium pentoksida, sebagai katalis heterogen, secara signifikan mempercepat reaksi oksidasi dengan mekanisme yang melibatkan pembentukan kompleks intermediat yang memfasilitasi pemutusan ikatan karbon dan oksigenasi molekul glukosa. Penelitian Sreenivas et al. (2016) mengungkapkan bahwa rasio optimum katalis memainkan peran penting, dengan konsentrasi V_2O_5 antara 1-2% berat. Menurut Singh et al. (2014), penggunaan V_2O_5 dapat meningkatkan konversi glukosa menjadi asam oksalat hingga 85% dengan selektivitas lebih dari 90%.

Asam klorida berperan sebagai katalis asam pada proses hidrolisis pati menjadi glukosa. Asam klorida merupakan larutan akuatik dari gas hidrogen klorida. Senyawa ini digunakan secara luas dalam industri. Asam klorida harus ditangani

dengan tepat karena asam klorida (HCl) merupakan cairan yang sangat korosif. Asam-asam mineral kuat seperti asam sulfat dan asam klorida biasa digunakan dalam proses hidrolisis pati, namun karena asam klorida sangat mudah diperoleh dan juga titik didihnya yang hanya berada pada kisaran 100°C sehingga mudah untuk diuapkan, asam klorida lebih sering digunakan dalam proses hidrolisis pati (Yustinah dkk., 2012). Konsentrasi HCl yang digunakan pada proses hidrolisis pati menjadi glukosa yaitu HCl 2% dengan penambahan sekitar 0,5 N (1,56%) berat umpan. (Fibarzi, Nurlaila, Sirait, Sulhatun, Ibrahim Ihak, et al., 2023)

1.4.3 Produk

Asam oksalat, atau dikenal juga sebagai asam etanadioat, adalah senyawa kimia dengan rumus molekul $C_2H_2O_4$. Dalam bentuk dihidrat ($C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$), senyawa ini berbentuk kristal berwarna putih dengan sifat higroskopis dan tidak berbau. Asam oksalat memiliki kelarutan tinggi dalam air serta beberapa pelarut organik seperti etanol, tetapi tidak larut dalam pelarut non-polar seperti benzena dan petroleum eter. Titik leburnya berada pada kisaran 101–102°C, dengan kelarutannya meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Dalam kondisi komersial, asam oksalat biasanya tersedia dalam bentuk dihidrat dengan kandungan anhidrat mencapai 71,42%. (Kirk-Othmer, 1978).

Asam oksalat dapat diperoleh dengan menghidrolisis pati menggunakan air dan katalis asam klorida (HCl) yang kemudian menghasilkan glukosa. Glukosa inilah yang akan di oksidasi dengan asam nitrat (HNO_3) menggunakan katalis vanadium pentoksida (V_2O_5). Penggunaan asam oksalat pada berbagai industri diantaranya adalah sebagai berikut (Kirk-Othmer, 1982).

- 1) Dalam industri logam, asam oksalat digunakan sebagai penghilang kotoran-kotoran yang menempel pada permukaan logam yang akan di cat. Selain itu, asam oksalat dapat juga digunakan untuk melapisi *stainless steel*, *nickel alloy*, titanium, dan kromium.
- 2) Dalam industri tekstil, asam oksalat digunakan sebagai pembersih tenun dan zat warna. Dalam pencucian, asam oksalat sebagai zat asam dapat menetralkan kelebihan alkali dan melarutkan kotoran pada pewarnaan tenun.
- 3) Dalam *waste water treatment plant*, asam oksalat dapat digunakan sebagai pH control.

1.4.4 Tinjauan Proses

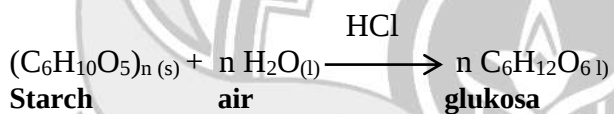
Dalam proses pembuatannya, proses pembuatan asam oksalat dihidrat telah mengalami banyak kemajuan sejak sintesis pertama ditemukan. Berikut adalah beberapa proses yang telah digunakan diseluruh dunia dalam proses pembuatan asam oksalat dihidrat yakni:

1) Proses Oksidasi Karbohidrat

Cara ini ditemukan oleh “*Scheele*” pada tahun 1977. Asam oksalat diproduksi dengan mengoksidasi karbohidrat seperti glukosa, sukrosa, starch, dextrin dan selulosa dengan menggunakan asam nitrat. Biasanya untuk proses ini bahan yang digunakan adalah bahan yang banyak mengandung karbohidrat, misalnya tepung. Tepung yang digunakan biasanya adalah tepung jagung, tepung gandum dan tepung tapioka. Pemilihan sumber bahan baku karbohidrat tergantung pada ketersediaan bahan baku, faktor ekonomi, dan karakteristik operasi proses.

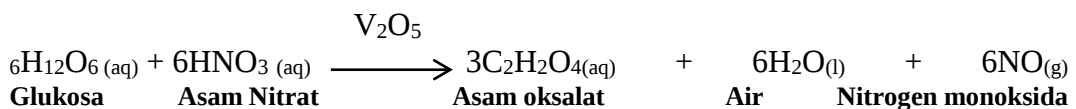
Pada proses pembuatan asam oksalat dengan menggunakan starch atau pati, hal yang harus diperhatikan antara lain: temperatur reaksi, rate penambahan asam nitrat, pengadukan serta pengambilan nitrogen oxide yang dihasilkan dalam proses tersebut. Hal-hal tersebut perlu diperhatikan karena sangat mempengaruhi efisiensi proses dan yield asam oksalat.

Pati tepung tapioka sangat cocok digunakan sebagai *starting material* karena mengandung 87,87% karbohidrat. Dimana tepung tapioka akan dihidrolisis dengan bantuan katalis asam klorida dan menghasilkan glukosa. Glukosa kemudian dioksidasi dengan asam nitrat dengan bantuan katalis vanadium pentoksida. (V_2O_5). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

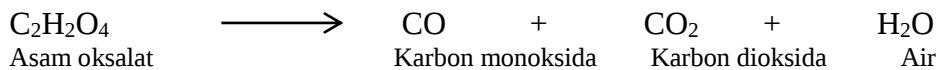


Proses hidrolisis berlangsung pada suhu 120°C dengan waktu reaksi selama 2 jam. Setelah 2 jam, 97% starch akan terhidrolisa menjadi monosakarida yang kaya akan glukosa. (Kirk RE, Orthmer D.F., 1945).

Larutan glukosa yang dihasilkan kemudian dioksidasi menggunakan asam nitrat dengan bantuan katalis vanadium pentoksida dan menghasilkan asam oksalat, air dan gas NO_x . Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



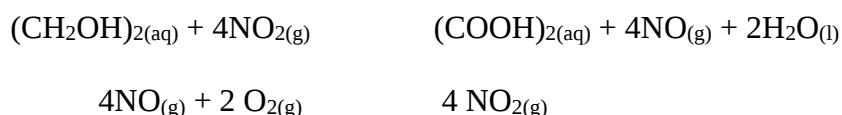
Menurut Rahayu Mayati, 2012 proses ini berlangsung pada suhu 71°C dengan yield asam oksalat 63-65%. Kemudian 30% asam oksalat yang terbentuk teroksidasi lanjut menjadi CO, CO₂ dan H₂O. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



2) Proses Etilen Glikol

Asam oksalat juga dapat dibuat dengan mengoksidasi etilen glikol dalam asam nitrat, dan prosesnya kurang lebih sama dengan oksidasi karbohidrat kecuali alat *hydrolyzer*. Dalam proses etilen glikol, campuran larutan oksidasinya terdiri atas 30-40% asam sulfat, dan 20-25% asam nitrat dalam presentase 0,001- 0,1% vanadium pentoksida pada suhu 50-70°C sehingga akan didapat yield dengan presentase 93%.

Proses yang ditingkatkan telah dikembangkan di Jepang oleh *Mitsubishi Gas Chemical*, yang memproduksi 12.000 ton/tahun asam oksalat melalui proses ini. Etilen glikol dioksidasi di dalam kira-kira 60% asam nitrat pada 0,3 Mpa (43,5 psi), 80 °C dengan oksigen. Inisiator, seperti NaNO₂, dapat digunakan untuk membantu pembentukan oksida nitrogen, dan promotor, seperti senyawa vanadium atau asam sulfat, juga dapat digunakan untuk mempercepat oksidasi reaksi. Reaksi berlangsung sesuai dengan persamaan dibawah ini. (Sawada-Murakami, 2000). Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah sebagai berikut:

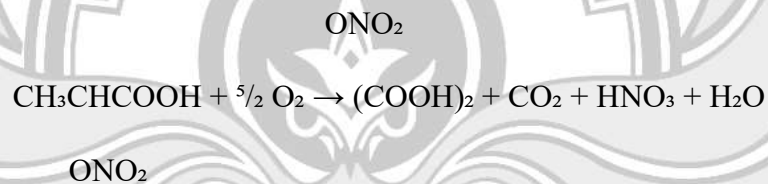


Sehingga secara keseluruhan reaksinya sebagai berikut:



3) Proses Propilen

Oksidasi propilen dengan asam nitrat terbagi atas 2 langkah proses. Pertama, propilen di masukan pada suhu 10-40°C ke dalam asam nitrat yang konsentrasinya dijaga pada 50-75% dan rasio molar terhadap propilen pada 0,01- 0,5 dan akan membentuk *α-nitratolactic acid* dan asam laktat. Kemudian pada tahap kedua, *α-nitratolactic acid* akan di oksidasi dengan oksigen dan katalis vanadium pentoksida pada suhu 45-100°C untuk memproduksi asam oksalat dihidrat. Persentase yield yang didapat pada proses ini yakni lebih dari 90% dan konversi propilen 77,5%. Reaksi-reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (Sawada-Murakami, 2000):



Tabel 1.5 Perbandingan Setiap Proses Produksi Asam Oksalat

Proses	Kelebihan	Kekurangan
Oksidasi Karbohidrat	Sumber bahan baku (tepung tapioka)	
	fleksibel, murah dan mudah diperoleh dengan	Memerlukan katalis V_2O_5
	yield asam oksalat 63- 65%	

Proses	Kelebihan	Kekurangan
Etilen Glikol	Yield asam oksalat dapat mencapai lebih dari 93%	Bahan baku (etilen glikol) lebih mahal dibandingkan bahan baku (tepung tapioka), serta memerlukan katalis V_2O_5
Propilen	Yield asam oksalat lebih dari 90% dan konversi propilen dapat mencapai 77,5%	Bahan baku lebih mahal dibandingkan dua proses di atas serta memerlukan katalis dan memerlukan dua tahap reaksi

Pemilihan proses juga ditinjau dari ketersediaan bahan baku serta kondisi operasi dari setiap proses. Tabel berikut menunjukkan bahan baku dan kondisi operasi dari setiap proses.

Tabel 1.6 Bahan Baku dan Kondisi Operasi Proses Poduksi Asam Oksalat

Proses	Bahan Baku	Kondisi Operasi
Oksidasi Karbohidrat	Tepung tapioka, asam nitrat, asam klorida, Vanadium pentoksida	T=71 °C; P=1 atm; Y=63-65%
Etilen Glikol	Etilen glikol, asam nitrat, asam sulfat, vanadium pentoksida, Nitrogen dioksida	T=80°C; P= 2,9608 atm; Y=93%
Propilen	Propilen, asam nitrat, vanadium pentoksida dan nitrogen dioksida	T=10-40 °C (1); T=40-100°C (2); Y=94%

Proses	Bahan Baku	Kondisi Operasi
		$X = 77,5\%$

Sumber: Sawada-Murakami, 2000 dan Rahayu Mayati, (2012)

Dari ketiga proses yang telah dijelaskan di atas, pada prarancangan pabrik ini, dipilih proses oksidasi karbohidrat dengan asam nitrat untuk memproduksi asam oksalat. Bahan baku utama digunakan tepung tapioka sebagai sumber karbohidrat yang memiliki kandungan zat pati yang tinggi. Dari sisi ketersediaan bahan baku, tepung tapioka mudah didapatkan dalam negeri. Adapun jika dilihat dari kondisi Indonesia, terdapat cukup banyak pabrik tepung tapioka, pabrik asam nitrat dan pabrik asam klorida yang beroperasi di Indonesia sehingga ketersediaan bahan baku maupun bahan pendukung terjamin dengan baik. Dilihat dari segi kondisi operasi, proses oksidasi karbohidrat juga memiliki temperatur dan tekanan proses yang lebih rendah dibandingkan kedua proses lainnya.

BAB XI

KESIMPULAN

Hasil analisa perhitungan Pra Rancangan Asam Oksalat Dihidrat Kapasitas 4.500 Ton/Tahun diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pabrik direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2030 selama 330 hari per tahun dan 24 jam per hari dengan kapasitas 4.500 ton/tahun.
2. Metode yang digunakan adalah metode oksidasi karbohidrat dengan konversi 85%.
3. Bahan baku utama yang digunakan adalah tepung tapioka.
4. Lokasi pendirian pabrik terletak di Kawasan Industri Tuban, Kecamatan Gresik Jawa Timur. Bentuk perusahaan yang direncanakan yaitu Perseroan Terbatas (PT) dengan jumlah karyawan 134 orang.
5. Jumlah kebutuhan utilitas pada perencanaan pabrik asam oksalat dihidrat ini yaitu
 - a) Kebutuhan air = 420,025,57 kg/jam
 - b) Kebutuhan steam = 3.724,04 kg/jam
 - c) Kebutuhan bahan bakar = 36.660,86 liter/pekan.
 - d) Kebutuhan listrik = 175,61 kWh
6. Pabrik ini layak untuk didirikan karena memberikan keuntungan yang ditinjau dari segi ekonomi, dimana data hasil analisis ekonomi yang diperoleh sebagai berikut:
 - a) *Return On Investment* (ROI) = 24,15%

- b) *Internal Rate of Return (IRR)* = 17%
- c) *Pay Out Time (POT)* = 4 tahun 8 bulan
- d) *Break Event Point (BEP)* = 40,02%
- e) *Shut Downt Point (SDP)* = 25,24%



DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, M. (2020). Prarancangan pabrik asam oksalat dihidrat dari molasses dan asam nitrat kapasitas 60.000 ton/tahun [Skripsi]. Universitas Muhammadiyah Surakarta. <https://eprints.ums.ac.id/>
- Aries, R. S., & Newton, R. D. (1955). *Chemical Engineering Cost Estimation*. New Associated British Budi, PT. (2024). Diakses pada 13 Desember 2024, dari www.abudi.co.id
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur. (2024). *Angkatan Kerja di Jawa Timur*. Surabaya: BPS Jawa Timur.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik impor bahan kimia Indonesia 2019-2023*. BPS RI.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. *Tapioka*. SNI 3451:2011. Jakarta
- Bhole, A., & Joshi, R. (2012). Catalytic conversion of glucose to oxalic acid using V_2O_5 and HCl. *Journal of Chemical Engineering*, 45(3), 210-225.
- Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design Handbook*.
- Cotton, F. A., Wilkinson, G., Murillo, C. A., & Bochmann, M. (1999). *Advanced Inorganic Chemistry* (6th Edition). Wiley.
- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. (2005). *Chemical Engineering Design* (R. K. Sinnott, Ed.; Vol. 6).
- Sinnot, R. K. (2005). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Design*. 4th ed. Vol.6. Oxford: Elsevier. https://www.academia.edu/37875648/Coulson_Richardsons_Chemical_Engineering_Vol_6_Chemical_Engineering_Design_4th_Edition
- Dewi, R. (2023). Aplikasi Asam Oksalat dalam Industri Kimia. *Jurnal Kimia Terapan*, 15(2), 45-52.
- Fuchs, G. H., & Watson, W. E. (1970). *Manufacture of oxalic acid* (U.S. Patent No. 3.536,754). United States Patent and Trademark Office.
- Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations*. 3th ed. United States of America: Prentice-Hall International Inc.

- Global Chemical Network. (2024). Diakses pada 13 Desember 2024, dari <https://www.globalchemicalnetwork.com>
- Gunara, S. (2017). Buku Pedoman Pelaksanaan Keselamatan dan Kesehatan Kerja: SCBD. <https://online.fliphtml5.com/ztrej/gflk/>.
- Haryono, H. E. (2019). Kimia Dasar (1st ed.). Yogyakarta: Deepublish.
- Heat Transfer and Mass Transfer. 6th ed. Amsterdam: Elsevier.
- Hefei DongFeng General Chemical Plant. (2023). Tinjauan kapasitas produksi industri tahun 2023 (Laporan No. HDF/PR/2023).
- Indianoxalate.com. (2024). Diakses pada 13 Desember 2024, dari <https://www.indianoxalate.com>
- Kern, D. Q. (1965). Process Heat Transfer. Japan: McGraw-Hill Book Company. <http://archive.org/details/KERNProcessHeatTransfer>
- Kirk-Othmer. (2007). Ensiklopedia teknologi kimia (Ed. ke-5, Vol. 3). John Wiley
- Kontan.co.id. (n.d.). *Singkong melimpah, Budi Starch optimistis genjot produksi tapioka*. Diakses pada 16 Januari 2025, dari <https://amp.kontan.co.id/news/singkong-melimpah-budi-starch>.
- Levenspiel, O. (1999). Chemical Reaktor Engineering (Third Edition). John Wiley & Sons
- Lide, DR (Ed). (1992). *Hanbdbbook of Chemstry and Physics CRC* 73rd ed. CRC Press.
- Fan, C., Zhang, R., Luo, X., Hu, Z., Zhou, W., Zhang, W., ... & Liu, J. (2023).
- Mankiw, N. Gregory. (2020). Principles of Economics (9th ed.). Cengage Learning.
- Maulina, N., & Hasibuan, R. (2016). Penggunaan asam oksalat dalam industri logam dan farmasi. Jurnal Kimia Terapan, 8(4), 112-125.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1993). Unit Operation Of Chemical Engineering (Fifth Edition). McGraw-Hill, Inc.
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2017). *Lehninger Principles of Biochemistry* (7th Edition). W.H. Freeman.
- Oxaquim.com. (2024). Diakses pada 13 Desember 2024, dari <https://www.oxaquim.com>

- Pemerintah Kabupaten Tuban. (nd). Kawasan Industri Tuban: Potensi dan Pengembangannya. Diakses pada 15 Januari 2025, dari <https://tuban.go.id>
- Paters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design And Economics For Chemical Engineers* (4 Th Ed). Mc. Graw-Hill, Inc
- Perry, C., (1999) *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. 7th ed. New York: McGraw-Hill Book Company Inc.
- Perry, R., & Green, D. (2008). *Perry's Chemical Engineer's Handbook 8 ed*. New York: Mc 136 Graw Hill Book Co., Inc.
- Pery, RH, & Green, D. (1984) *Perry's Chemical Engineer Hanbook*. 50th ed. New York: McGraw-Hill Book Company Inc.
- Peters, M. S. & Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Powell, S.T. (1954). *Water Conditioning For Industry* (1st ed.). McGraw-Hill.
- PT Multi Nitrotama Kimia. (t.t.). Profil perusahaan. Diakses pada 13 Desember 2024, dari <https://perusahaan.net/detail/gpZN6/Multi-Nitrotama-Kimia/>
- Purnama, D., Sutanto, H., & Wijaya, K. (2019). Proses pembuatan asam oksalat dari bahan organik. *Jurnal Teknik Kimia*, 2(1), 45-58. <https://ejournal.unis.ac.id/>
- Rase, H. F, & Holmes, J. R. (1977). *Chemical Reactor Design for Process Plant Principles and Techniques*. John Wiley & Sons Inc., Kanada.
- Sawada, H., & Murakami, T., (2000). *Oxalic Acid*. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Tecnology. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Shijiazhuang Taihe Chemical Co., Ltd. (2023). Tinjauan produksi kimia industri 2023 (Laporan No. STC/PR/2023).
- Singh, R., Gupta, A., & Mehta, S. (2014). Vanadium pentoxide as a catalyst in glucose to oxalic acid conversion. *Applied Catalysis A: General*, 385(1), 55-67.
- Sutrisno, A. R., & Santoso, M. (2018). Tantangan pengembangan sektor industri dan pertanian Indonesia dalam perspektif ketahanan ekonomi. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, 11(2), 97-108.

- Sreenivas, K., Kumar, P., & Reddy, M. (2016). Optimization of vanadium pentoxide catalysts in glucose conversion processes. *Chemical Technology Advances*, 22(1), 78-92.
- Ulrich, G. D. (1984a). *A Guide To Chemical Engineering Process Design And Economics* (J. ; S. Wiley, Ed.). University of New Hampshire. https://www.scribd.com/embeds/391855087/content?start_page=1&view_mode=s_croll&access_key=key-fFexxf7r1bzEfWu3HKwf
- Ulrich, G. D. (1984b). *A Guide To Chemical Engineering Proses Design And Economics* (J. & S. Wiley, Ed.). University Of New Hampshire .
- Walas, S. M. (1988). *Chemical Process Equipment Selection And Design* (H. Brenner, Ed.). USA Inc.
- Wahyudi, A., & Suryanto, D. (2019). Pemanfaatan Tepung Tapioka dalam Industri Kimia di Indonesia. *Jurnal Industri Kimia Indonesia*, 13(4), 105-113.
- Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook* . Mc Graw-Hill.
- York: McGraw-Hill, Inc. <http://archive.org/details/chemicalengineer00arie>
- Zhang, Y., Liu, H., & Zhao, Z. (2019). *Acid and enzymatic hydrolysis of cassava starch for glucose production: A comparative study*. *Food Chemistry*, 289, 122–130.

