

**PRARANCANGAN PABRIK SODIUM SULFAT DARI SODIUM
KLORIDA DAN ASAM SULFAT DENGAN PROSES MANNHEIM
KAPASITAS 75.000 TON/TAHUN**

(Tugas Khusus Perancangan *Grate Cooler* (GC-101))

(Skripsi)

Oleh

AMANDHA PUTRI ELTRI

1915041010



JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2024

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK SODIUM SULFAT (Na_2SO_4) DARI SODIUM KLORIDA (NaCl) DAN ASAM SULFAT (H_2SO_4) DENGAN PROSES MANNHEIM KAPASITAS 75.000 TON/TAHUN (Perancangan *Grate Cooler* (GC-101))

Oleh

AMANDHA PUTRI ELTRI

Pabrik sodium sulfat (Na_2SO_4) berbahan baku sodium klorida (NaCl) dan asam sulfat (H_2SO_4) direncanakan didirikan di Tuban, Jawa Timur. Pendirian pabrik didasarkan atas pertimbangan ketersediannya bahan baku, sarana transportasi yang memadai, dan tenaga kerja yang mudah didapatkan serta kondisi lingkungan sekitar lokasi pabrik akan didirikan.

Pabrik dirancang akan memproduksi sodium sulfat sebanyak 75.000 ton/tahun, dengan waktu operasi yaitu 24 jam/hari, 330 hari/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah sodium klorida sebanyak 7995,864 kg/jam dan asam sulfat sebanyak 7995,864 kg/jam.

Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik terdiri dari unit pengadaan air, pengadaan listrik, dan pengadaan udara *instrument*.

Bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) menggunakan struktur organisasi *line* dan *staff* dengan jumlah karyawan sebanyak 140 orang.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	=	Rp814.510.063.999,-
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	=	Rp143.737.070.117,-
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	=	Rp958.247.134.116,-
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	=	41,58%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	=	21,86%

<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	=	2,08 tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	=	2,85 tahun
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	=	32,80%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	=	40,09%

Mempertimbangkan paparan diatas, sudah selayaknya pendirian pabrik sodium sulfat ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dari sisi ekonomi dan mempunyai prospek yang relatif cukup baik.

ABSTRACT

PLANT PREDESIGN OF SODIUM SULFATE (Na_2SO_4) FROM SODIUM CHLORIDE (NaCl) AND SULFURIC ACID (H_2SO_4) WITH MANNHEIM PROCESS 75.000 TONS/YEARS CAPACITY (Grate Cooler Design (GC-101))

By

AMANDHA PUTRI ELTRI

Sodium sulfate (Na_2SO_4) plant from sodium chloride (NaCl) and sulfuric acid (H_2SO_4) is planned to be built in Tuban, East Java. The establishment of this factory is based on considerations of the availability of raw materials, adequate transportation facilities, and available labor as well as environmental conditions around the location where the factory will be built.

The factory is designed to produce 75,000 tons of sodium sulfate per year, with an operating time of 24 hours/day, 330 days/year. The raw materials used are 7995.864 kg/hour of sodium chloride and 7995.864 kg/hour of sulfuric acid.

Provision of this factory utility needs consists of water procurement, electricity procurement and instrument air procurement units.

The form of this company is a Limited Liability Company (LLC) using a line and staff organizational structure with a total of 140 employees.

From the economic analysis it is obtained:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	=	Rp814.510.063.999,-
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	=	Rp143.737.070.117,-
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	=	Rp958.247.134.116,-
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	=	41,58%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	=	21,86%

<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	=	2,08 tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	=	2,85 tahun
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	=	32,80%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	=	40,09%

Considering the explanation above, it is appropriate to study the establishment of this sodium sulphate factory further, because it is profitable from economic perspective and has relatively good prospects.

**PRARANCANGAN PABRIK
SODIUM SULFAT DARI SODIUM KLORIDA DAN ASAM SULFAT
DENGAN PROSES MANNHEIM KAPASITAS 75.000 TON/TAHUN**

(Tugas Khusus Perancangan *Grate Cooler* (GC-101))

Oleh

AMANDHA PUTRI ELTRI

1915041010

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

2024

Judul Skripsi

**: PRARANCANGAN PABRIK SODIUM SULFAT
DARI SODIUM KLORIDA DAN ASAM
SULFAT DENGAN PROSES MANNHEIM
KAPASITAS 75.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Grate Cooler
(GC-101))**

Nama Mahasiswa

: Amandha Putri Eltri

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915041010

Program Studi

: Teknik Kimia

Fakultas

: Teknik



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

Muhammad Haviz, S.T., M.T.
NIP. 19900128201903015

2. Ketua Jurusan Teknik Kimia

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Sekretaris : Muhammad Haviz, S.T., M.T.

**Penguji
Bukan Pembimbing : Ir. Azhar, M.T.**

Donny Lesmana, S.T., M.Sc.

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)
NIP. 197509282001121001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 14 Juni 2024

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, 10 Juli 2024



Amandha Putri Eltri

NPM. 1915041010

RIWAYAT HIDUP



Amandha Putri Eltri, penulis dilahirkan di Tangerang, Banten pada tanggal 19 Maret 2002 sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Ruswana dan Ibu Herni.

Penulis menyelesaikan pendidikan pertamanya di Sekolah Dasar Negeri Sukatani 03 pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Rajeg pada tahun 2016, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 13 Kabupaten Tangerang pada tahun 2019.

Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai mahasiswa jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Pada tahun 2021, penulis melakukan Kerja Praktik di PT. Kimia Farma Sungwun Pharmacopia, Bekasi, Jawa Barat dengan Tugas Khusus “Analisa Kinerja *Boiler* (BG – 901) pada Unit Utilitas”. Pada tahun 2022, penulis melakukan penelitian dengan judul “Optimasi Perolehan Rendemen Minyak Atsiri Daun Jeruk Purut (*Citrus hystrix*) oleh Variasi Massa Bahan dengan Metode *Hydro-steam Distillation*” di Laboratorium Energi Baru dan Terbarukan Teknik Kimia FT Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (Himatemia) sebagai staff magang divisi *Chemical Engineering English Club* (CEEC) pada periode 2019, staff divisi SCET pada periode 2020, dan Kepala Departemen Edukasi pada periode 2021. Penulis juga rutin menjadi pemateri *training aplikasi/tutorial* mata kuliah di Himatemia. Selain itu, penulis pernah menjadi asisten mata kuliah Aplikasi Komputer (MATLAB dan Aspen HYSYS) di tahun 2023 dan Asisten Laboratorium Unit Layanan Komputer (ULK) dari Agustus 2022 – Desember 2023. Selain organisasi intrakampus, penulis juga

aktif melakukan penelitian dan pengabdian yang dipublikasikan dan diseminarkan baik di jurnal nasional maupun internasional seperti SENAPATI, JTII, ULICoSTE, dan Coffee Science UFLA.

MOTTO

When you feel it is difficult , please remember this

...

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا {٥} إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا {٦}

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan, ada kemudahan.
Sesungguhnya bersama kesulitan, ada kemudahan."

[Q.S. Al-Insyirah (94): 5-6]

*Sebuah Karyaaku....
Dengan sepenuh hati kupersembahkan tugas akhir ini
kepada:*

Allah SWT

*Karena kehendak-Nya, semua ini dapat ku peroleh
Atas berkah dan karunia-Nya, aku bisa menyelesaikan
karya kecil ini
Atas anugerah-Nya, aku bisa bertahan selama ini.*

*Kedua orang tuaku dan seluruh keluarga besar,
terima kasih atas doa, kasih sayang, pengorbanan, dan
keikhlasannya.
Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa dibandingkan
dengan pengorbanan dan kasih sayang selama ini*

*Sahabat-sahabatku,
terimakasih atas dukungan, doa, dan ketulusannya selama
ini.*

*Para pengajar sebagai tanda hormatku,
terima kasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini, baik
itu berupa ilmu teknik kimia, maupun ilmu kehidupan yang
tentunya sangat berguna dan bermanfaat.*

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

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT. yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Prarancangan Pabrik Sodium Sulfat dari Sodium Klorida dan Asam Sulfat dengan Proses Mannheim Kapasitas 75.000 Ton/Tahun” dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar sarjana (S-1) Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih atas bantuan dan kerja sama yang baik dari berbagai pihak sehingga dapat diselesaikan dengan baik. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Ibu Herni dan Bapak Ruswana selaku kedua orang tua dan Kakak penulis I Aditya Silarizki dan Dian Rusdiana Pramuditya yang telah memberikan dukungan moril dan materil selama berlangsungnya penyusunan tugas akhir.
2. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.
3. Ibu Panca Nugrahini F., S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan ilmu, saran, bimbingan, nasehat, pengertian dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir. serta kalimat semangat yang menjadi penguat bagi penulis. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
4. Bapak Muhammad Haviz, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan ilmu, saran dengan perspektif yang berbeda, bimbingan, nasehat, pengertian dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir sehingga penulis mendapat banyak masukan dan sudut pandang baru yang sebelumnya tidak pernah terpikirkan. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
5. Bapak Ir. Azhar, M.T. selaku Dosen Penguji I, yang telah memberikan ilmu, saran, dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir, serta apresiasi positif

kepada Penulis. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.

6. Donny Lesmana, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji II, yang telah memberikan ilmu, saran, dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir, serta apresiasi positif kepada Penulis. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
7. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
8. Ni Putu Ariessa N., sahabat, partner Kerja Praktik, Penelitian, Tugas Akhir yang telah menemani penulis bersama-sama berjuang menamatkan gelar sarjana.
9. Ecclesia Agata S., Agata Sekar A., Alvita Fiksi A., Galuh Saputra, Mutia Sulha, Dhini Cahya P., sahabat yang telah banyak mendukung dan jadi teman berbincang selama masa perkuliahan.
10. Wasyatun Khasanah yang telah tumbuh dan berkembang bersama penulis, yang selalu ada untuk penulis saat senang maupun sedih, yang tidak pernah lelah mencurahkan segala dukungannya.
11. Kakak tingkat dan adik tingkat di Teknik Kimia Universitas Lampung, yang telah banyak mendukung dan memberi bantuan selama masa perkuliahan.
12. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk penyempurnaan laporan ini. Akhir kata, penulis berharap semoga pengetahuan dan pengalaman yang didapatkan selama penyusunan laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Bandar Lampung, 12 Juli 2024

Amandha Putri Eltri

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN.....	viii
RIWAYAT HIDUP	ix
MOTTO	xi
PERSEMBAHAN.....	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kegunaan Produk	2
1.3 Ketersediaan Bahan Baku	3
1.4 Kapasitas Rancangan.....	3
1.5 Lokasi Pabrik.....	10
BAB II DESKRIPSI PROSES	15
2.1 Jenis – jenis proses	15
2.2 Pemilihan Proses	16
2.3 Tinjauan Termodinamika	36
2.4 Tinjauan Kinetika Reaksi	39

2.5	Uraian Proses.....	40
BAB III SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK.....		44
3.1	Spesifikasi Bahan Baku.....	44
3.2	Spesifikasi Produk.....	45
BAB IV NERACA MASSA DAN ENERGI		47
4.1	Neraca Massa	47
4.2	Neraca Energi	53
BAB V SPESIFIKASI ALAT.....		62
5.1	Peralatan Proses.....	62
5.2	Peralatan Utilitas	79
BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....		107
6.1	Unit Pendukung Proses	107
6.2	Unit Pengolahan Limbah.....	111
6.3	Laboratorium	112
6.4	Instrumentasi dan Pengendalian Proses	115
6.5	Keselamatan Kerja	118
BAB VII TATA LETAK PABRIK.....		127
7.1	Lokasi Pabrik.....	127
7.2	Tata Letak Pabrik	129
7.3	Estimasi Area Pabrik	132
7.4	Tata Letak Peralatan Proses.....	134
BAB VIII SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI PERUSAHAAN		138
8.1	Bentuk Perusahaan	138
8.2	Struktur Organisasi Perusahaan	140
8.3	Tugas Dan Wewenang.....	143

8.4	Status Karyawan Dan Sistem Penggajian.....	148
8.5	Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	149
8.6	Penggolongan Jabatan Dan Jumlah Karyawan.....	151
8.7	Kesejahteraan Karyawan.....	156
BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....		159
9.1	Investasi.....	159
9.2	Evaluasi Ekonomi.....	165
9.3	Angsuran Pinjaman	168
9.4	<i>Discounted Cash Flow</i> (DCF).....	169
BAB X SIMPULAN DAN SARAN.....		171
10.1	Simpulan	171
10.2	Saran.....	171
DAFTAR PUSTAKA.....		172

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Produsen Bahan Baku Sodium Sulfat	3
Tabel 1.2 Data Impor Sodium Sulfat Tahun 2018 – 2022	4
Tabel 1.3 Data Ekspor Sodium Sulfat Tahun 2018 – 2022.....	6
Tabel 1.4 Data Konsumsi Sodium Sulfat beberapa Industri Kimia di Indonesia	7
Tabel 1.5 Data Impor Sodium Sulfat di Luar Negeri.....	8
Tabel 1.6 Kapasitas Pabrik Sodium Sulfat di Dunia.....	9
Tabel 1.7 Data Pabrik Berbahan Baku Sodium Sulfat.....	12
Tabel 2.1 Harga Produk dan Bahan Baku	17
Tabel 2.2 Harga Produk dan Bahan Baku	20
Tabel 2.3 Data Panas Pembentukan Standar (ΔH°_f) pada suhu 25°C (298,15 K)	25
Tabel 2.4 Data konstanta A, B, C, D untuk C_p dalam kJ/kmol	25
Tabel 2.5 Data Energi Bebas Gibbs (ΔG°_f) pada suhu 25°C (298,15 K) ...	31
Tabel 2.6 Perbandingan Nilai <i>Gibbs Free Energy</i> dan Entalpi Reaksi pada Proses Produksi Sodium Sulfat	36
Tabel 2.7 Perbandingan Proses Produksi Sodium Sulfat.....	38
Tabel 4.1 Neraca Massa <i>Furnace</i> (F-101)	48
Tabel 4.2 Neraca Massa <i>Grate Cooler</i> (GC-101)	49
Tabel 4.3 Neraca Massa <i>Ball Mill</i> (BM-201).....	50
Tabel 4.4 Neraca Massa <i>Screen</i> (SC-201)	51
Tabel 4.5 Neraca Massa <i>Partial Condensor</i> (PC-401) dan.....	52
<i>Knockout Drum</i> (KO-401)	52
Tabel 4.6 Neraca Panas Total <i>Heater</i> (HE -101)	53

Tabel 4.7 Neraca Panas Total <i>Furnace</i> (F-101).....	55
Tabel 4.8 Neraca panas total <i>Grate Cooler</i> (GC-101).....	56
Tabel 4.9 Neraca Panas Total <i>Expansion Valve</i> (EV-401)	57
Tabel 4.10 Neraca Panas Total <i>Cooler</i> (CO-401).....	58
Tabel 4.11 Neraca Panas Total <i>Partial Condensor</i> (PC-401).....	59
Tabel 4.12 Neraca Panas Total <i>Knockout Drum</i> (KO-401)	60
Tabel 4.13 Neraca Panas Total <i>Cooler</i> (CO-402).....	61
Tabel 5.1 Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (TK – 101).....	62
Tabel 5.2 Spesifikasi Pompa Asam Sulfat (PP – 101).....	63
Tabel 5.3 Spesifikasi Gudang Common Salt (GD – 101).....	63
Tabel 5.4 Spesifikasi <i>Belt Conveyor Common Salt</i> (BC – 101)	64
Tabel 5.5 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE – 101).....	65
Tabel 5.6 Spesifikasi <i>Bin Sodium Klorida</i> (BIN – 101)	65
Tabel 5.7 Spesifikasi <i>Heater</i> (HE – 101)	66
Tabel 5.8 Spesifikasi <i>Furnace</i> (F – 101).....	67
Tabel 5.9 Spesifikasi <i>Blower Fan</i> (BF – 101).....	68
Tabel 5.10 Spesifikasi <i>Grate Cooler</i> (GC – 101)	69
Tabel 5.11 Spesifikasi <i>Belt Conveyor Sodium Sulfat</i> (BC – 102)	69
Tabel 5.12 Spesifikasi <i>Ball Mill</i> (BM – 201).....	70
Tabel 5.13 Spesifikasi <i>Screen</i> (SC – 201).....	70
Tabel 5.14 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE – 201).....	71
Tabel 5.15 Spesifikasi <i>Bucket Elevator Sodium Sulfat</i> (BE – 301).....	71
Tabel 5.16 Spesifikasi <i>Bin Sodium Sulfat</i> (BIN – 301).....	72
Tabel 5.17 Spesifikasi <i>Packaging Unit</i> (UP – 301).....	72
Tabel 5.18 Spesifikasi <i>Belt Conveyor Sodium Sulfat</i> (BC – 301)	73

Tabel 5.19 Spesifikasi Gudang Penyimpanan Produk Sodium Sulfat (GD – 301)	74
Tabel 5.20 Spesifikasi <i>Expansion Valve</i> (EV – 401)	74
Tabel 5.21 Spesifikasi <i>Blower Fan</i> (BF – 401).....	75
Tabel 5.22 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO – 401).....	75
Tabel 5.23 Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (TK – 401).....	76
Tabel 5.24 Spesifikasi <i>Knockout Drum</i> (KO – 401)	77
Tabel 5.25 Spesifikasi Pompa Asam Klorida (PP – 401)	77
Tabel 5.26 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO – 402).....	78
Tabel 5.27 Spesifikasi Tangki Penyimpanan HCl (TK – 401)	79
Tabel 5.29 Spesifikasi Screen Air Sungai (SC – 501)	79
Tabel 5.30 Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS – 501).....	80
Tabel 5.31 Spesifikasi Tangki Soda Abu (DT – 501).....	80
Tabel 5.32 Spesifikasi Tangki Alum (DT – 502).....	81
Tabel 5.33 Spesifikasi Tangki Kaporit (DT – 503).....	81
Tabel 5.34 Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CL – 501)	82
Tabel 5.35 Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF – 501).....	83
Tabel 5.36 Spesifikasi <i>Storage Tank Water Filter</i> (ST – 501)	84
Tabel 5.37 Spesifikasi Hot Basin (HB – 501).....	84
Tabel 5.38 Spesifikasi Tank Dispersant (ST – 502)	85
Tabel 5.39 Spesifikasi Storage Tank Inhibitor (ST – 502)	86
Tabel 5.40 Spesifikasi Cooling Tower (CT – 501).....	87
Tabel 5.41 Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB – 501)	87
Tabel 5.42 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 501)	88
Tabel 5.43 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 502)	88

Tabel 5.44 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 503)	89
Tabel 5.45 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 504)	90
Tabel 5.46 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 505)	90
Tabel 5.47 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 506)	91
Tabel 5.48 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 507)	92
Tabel 5.49 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 508)	93
Tabel 5.50 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 509)	93
Tabel 5.51 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 510)	94
Tabel 5.52 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 511)	95
Tabel 5.53 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 512)	95
Tabel 5.54 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 513)	96
Tabel 5.55 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 514)	97
Tabel 5.56 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 515)	97
Tabel 5.57 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU – 516)	98
Tabel 5.58 Spesifikasi Generator (GS – 701)	99
Tabel 5.59 Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (TK – 801)	99
Tabel 5.60 Spesifikasi Tangki Bahan Bakar Metana (TK – 802)	100
Tabel 5.61 Spesifikasi Pompa Bahan Bakar Generator (PU – 801)	100
Tabel 5.62 Spesifikasi Pompa Bahan Bakar Metana (PU – 802)	102
Tabel 5.63 Spesifikasi <i>Cyclone</i> (CY – 601)	103
Tabel 5.64 Spesifikasi Air Dryer (AD – 601)	103
Tabel 5.65 Spesifikasi Air Compressor (AC – 601)	104
Tabel 5.66 Spesifikasi Blower Udara (BU – 601)	104
Tabel 5.67 Spesifikasi Blower Udara (BU – 602)	105
Tabel 5.68 Spesifikasi Blower Udara (TK – 603)	105

Tabel 5.69 Spesifikasi Blower Udara (BU – 604)	106
Tabel 5.70 Spesifikasi Flare (F – 601)	106
Tabel 6.1 Kebutuhan Air untuk <i>General Uses</i>	108
Tabel 6.2 Kebutuhan Air Pendingin	110
Tabel 6.3 Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian	118
Tabel 6.4 Jenis dan Jumlah <i>Fire – Extinguisher</i>	120
Tabel 7.1 Perincian Luas Area Pabrik Sodium Sulfat	132
Tabel 8.1 Jadwal Kerja Masing-Masing Regu	150
Tabel 8.2 Perincian Tingkat Pendidikan	151
Tabel 8.3 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses	153
Tabel 8.4 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Utilitas	154
Tabel 8.5 Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan	154
Tabel 9.1 <i>Fixed capital investment</i>	160
Tabel 9.2 <i>Manufacturing cost</i>	162
Tabel 9.3. <i>General expenses</i>	163
Tabel 9.4 Biaya Administratif	163
Tabel 9.5 <i>Minimum acceptable percent return on investment</i>	166
Tabel 9.6 <i>Acceptable payout time</i> untuk tingkat resiko pabrik	167
Tabel 9.7 Hasil uji kelayakan ekonomi	169

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lokasi dan Luasan Pabrik.....	10
Gambar 7.1 Tata Letak Pabrik.....	132
Gambar 7.2 Tata Letak Alat Proses	136
Gambar 7.3 Lokasi Pabrik.....	137
Gambar 7.4 Peta Kabupaten Jawa Timur	137
Gambar 8.1 Struktur Organisasi Perusahaan.....	142
Gambar 9.1 Grafik Analisa Ekonomi	168
Gambar 9.2 Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i>	169

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sektor industri, termasuk industri kimia, berkembang semakin pesat seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi. Pada umumnya, sektor industri merupakan sektor utama dalam perekonomian dunia, termasuk Indonesia. Di bidang industri kimia, Indonesia memberikan perhatian yang cukup besar. Indonesia merupakan salah satu negara yang sedang berkembang. Dengan adanya peningkatan industri kimia tersebut, maka kebutuhan akan bahan baku, bahan-bahan kimia untuk industri-industri, maupun tenaga kerja juga akan semakin meningkat. Salah satu jenis industri yang berpengaruh terhadap perindustrian Indonesia adalah industri sodium sulfat.

Sodium sulfat dengan rumus molekul Na_2SO_4 adalah garam sodium dari asam sulfur. Dalam bentuk anhidratnya, senyawa ini berbentuk padatan kristal putih dengan rumus kimia Na_2SO_4 , atau lebih dikenal dengan mineral ternardit sedangkan bentuk dekahidratnya mempunyai rumus kimia $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ yang lebih dikenal dengan nama Glauber atau sal mirabilis. Bentuk heptahidratnya juga berbentuk padatan, yang akan berubah menjadi mirabilit ketika didinginkan. Sodium sulfat merupakan bahan kimia yang digunakan pada berbagai industri kimia, seperti pada industri detergen yaitu sebagai zat pengisi yakni memperbesar volume produk. Selain itu, sodium sulfat juga digunakan pada industri kertas, tekstil, dan pada industri kimia lainnya seperti industri gelas, keramik, farmasi, dan lain sebagainya (Kirk & Othmer, 1991).

Kebutuhan akan sodium sulfat diprediksi akan semakin meningkat dalam beberapa tahun mendatang. Hal ini dikarenakan permintaan sodium sulfat yang meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan bahan baku pada industri

kertas, detergen, dan tekstil. Selain itu, masih kurangnya pasokan produksi dalam negeri berupa sodium sulfat.

Berdasarkan uraian diatas, peluang industri sodium sulfat dirasa menjanjikan dalam upaya memenuhi kebutuhan dalam negeri sehingga dapat mengatasi ketergantungan impor. Selain itu, perlu didirikannya pabrik sodium sulfat di Indonesia dengan harapan memacu perkembangan industri yang menggunakan sodium sulfat, menambah devisa negara, mempererat hubungan kerjasama, dan membuka lapangan kerja. Selain itu, memberi pengaruh signifikan terhadap perekonomian, menekan inflasi mata uang, dan mampu bersaing dalam pasar global dunia.

1.2 Kegunaan Produk

Sodium sulfat (Na_2SO_4) merupakan bahan kimia yang digunakan pada berbagai industri kimia. Adapun kegunaannya adalah sebagai berikut:

1. Pada industri detergen, sodium sulfat digunakan sebagai zat pengisi yakni memperbesar volume produk. Selain itu, sodium sulfat dapat meningkatkan penampilan, karakteristik penggunaan, dan membantu detergen dalam meningkatkan kemampuan membersihkannya.
2. Pada industri gelas, sodium sulfat digunakan untuk meningkatkan proses pelelehan, dimana penggunaannya dapat mengurangi kecenderungan gelembung gas alkali terbentuk di gelas dan memberikan bentuk Na_2O yang lebih murah daripada soda abu.
3. Sodium sulfat juga digunakan pada industri kertas, sodium sulfat akan diubah menjadi natrium sulfida untuk melarutkan lignin dari kayu.
4. Selain itu, sodium sulfat banyak digunakan di berbagai industri lainnya seperti tekstil untuk mengatur pH dan mengencerkan pewarna.

(Kirk & Othmer, 1991)

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Keberadaan industri penghasil bahan baku pembuatan sodium sulfat merupakan faktor pendukung tersedianya bahan baku untuk memproduksi sodium sulfat. Bahan baku pembuatan sodium sulfat (Na_2SO_4) berupa asam sulfat (H_2SO_4), dan sodium klorida (NaCl). Bahan baku ini bisa diperoleh dari pabrik yang sudah berdiri di dalam negeri. Berikut merupakan data pabrik bahan baku pembuatan Sodium Sulfat yang dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Produsen Bahan Baku Sodium Sulfat

No.	Bahan Baku	Produsen	Kapasitas (Ton/Tahun)	Lokasi
1.	Asam Sulfat	PT. Petrokimia Gresik	800.000	Gresik, Indonesia
		PT. Indonesia Acids Industry	82.500	Bekasi, Indonesia
		PT. Cheetham Garam Indonesia	800.000	Cilegon, Indonesia
2.	Natrium Klorida	PT. Garam	450.000	Madura, Indonesia

1.4 Kapasitas Rancangan

Dalam pendirian pabrik sodium sulfat perlu mempertimbangkan penentuan kapasitas pabrik. Adapun pertimbangan untuk menentukan kapasitas pabrik adalah sebagai berikut:

1.4.1 Perkiraan Kebutuhan Sodium Sulfat di Indonesia

Saat ini kebutuhan sodium sulfat dalam negeri cukup besar. Di Indonesia, menurut badan pusat statistik hingga tahun 2022 industri yang memproduksi sodium sulfat belum dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri sehingga untuk memenuhi kebutuhannya dilakukan impor dari negara lain terutama Jepang, Singapura, Malaysia, Myanmar, Bangladesh, dan Sri Lanka. Kebutuhan sodium

sulfat di Indonesia dapat ditinjau dari data impor dan ekspor. Berikut data konsumsi impor Indonesia tahun 2018 hingga tahun 2022.

Tabel 1.2 Data Impor Sodium Sulfat Tahun 2018 – 2022

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)	Pertumbuhan (%)
2018	324.819,238	0
2019	211.446,573	-34,90
2020	317.659,116	50,23
2021	267.397,686	-15,82
2022	331.495,773	23,97
Total	1.452.818,386	23,48
Rata-rata		5,87

(Badan Pusat Statistik, 2023)

Perhitungan kapasitas pabrik sodium sulfat yang direncanakan berdiri pada tahun 2028 menggunakan persamaan sebagai berikut (Peters dan Timmerhaus, 1980).

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_5 \quad (1.1)$$

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2) \quad (1.2)$$

Dengan

m_1 : Nilai impor tahun 2028 (ton/tahun)

m_2 : Produksi pabrik dalam negeri (ton/tahun)

m_3 : Kapasitas pabrik yang akan didirikan (ton/tahun)

m_4 : Nilai ekspor tahun 2028 (ton/tahun)

m_5 : Nilai konsumsi dalam negeri tahun 2028 (ton/tahun)

Dengan data di atas maka proyeksi kebutuhan impor sodium sulfat di Indonesia pada tahun – tahun mendatang dapat diperkirakan dengan perhitungan menggunakan metode *discounted* (Peters dan Timmerhaus, 1980) sebagai berikut.

$$m = P (1 + i)^n \quad (1.3)$$

Dengan

- m : Jumlah produksi tahun ke – n (ton/tahun)
- P : Jumlah produksi tahun sekarang(ton/tahun)
- i : Pertumbuhan rata-rata per tahun (%)
- n : Selisih tahun yang diperhitungkan

Pabrik sodium sulfat direncanakan akan didirikan pada tahun 2028. Untuk perhitungan data impor pada tahun 2028 (m_1) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_{\text{impor}} &= P (1 + i)^n \\ &= 331.495,773 (1 + (5,87/100))^6 \\ &= 466.761,68 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Jika pabrik mulai beroperasi, kegiatan impor tidak dihentikan namun diperkirakan nilai impor berkurang hingga 90%. Perkiraan nilai impor dalam negeri pada tahun 2028 (m_1):

$$\begin{aligned} m_1 &= 0,1 (m_{\text{impor}}) \\ m_1 &= 0,1 (466.761,68) \\ m_1 &= 46.676,168 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Berikut data ekspor sodium sulfat tahun 2018 hingga tahun 2022, dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Data Ekspor Sodium Sulfat Tahun 2018 – 2022

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)	Pertumbuhan (%)
2018	40.227,822	0
2019	79.673,587	98,06
2020	59.259,54	-25,62
2021	61.429,955	3,66
2022	30.636,27	-50,13
Total	271.227,174	25,97
Rata-rata		6,49

(Badan Pusat Statistik, 2023)

Berdasarkan data ekspor diatas, pabrik sodium sulfat dapat diperkirakan mengekspor pada tahun 2028 (m_4):

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 m_4 &= P (1 + i)^n \\
 &= 30.636,27 (1 + (6,49/100))^6 \\
 &= 44.682,7 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Hingga saat ini Indonesia baru memiliki 2 pabrik sodium sulfat dengan total kapasitas sebesar 243.000 Ton/Tahun. Sehingga (m_2):

$$m_2 = 243.000 \text{ ton/tahun}$$

Berikut data penggunaan sodium sulfat pada beberapa industri kimia yang menggunakan sodium sulfat sebagai bahan baku, seperti industri kertas, industri detergen, dan industri gelas. Dapat dilihat

pada tabel 1.4 data konsumsi sodium sulfat beberapa industri kimia di Indonesia.

Tabel 1.4 Data Konsumsi Sodium Sulfat beberapa Industri Kimia di Indonesia

No.	Pabrik	Kapasitas Total (Ton/Tahun)	Perkiraan Sodium Sulfat (%)	Konsumsi Sodium Sulfat (Ton/Tahun)
1.	Industri Detergen	$\pm 4.071.080$	10	407.108
2.	Industri <i>Pulp and Paper</i>	± 799.000	10	79.900
3.	Industri Gelas	$\pm 1.010.000$	5	50.500
Total				537.508

Berdasarkan data diatas, perkiraan konsumsi pabrik sodium sulfat dapat diperkirakan berdasarkan data penggunaan sodium sulfat pada beberapa industri kimia di Indonesia ada tahun 2028 (m_5):

Sehingga,

$$m_5 = 537.508 \text{ ton/tahun}$$

Peluang kapasitas produksi pada tahun 2028 (m_3) dapat ditentukan dengan persamaan (Peters dan Timmerhaus, 1980):

$$\begin{aligned}
 m_3 &= (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2) \\
 &= (44.682,7 + 537.508) - (46.676,2 + 243.000) \\
 &= 292.515 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dari persamaan discounted method dan data impor ekspor sodium sulfat pada tahun 2018 sampai 2022 diperkirakan peluang kapasitas produksi sodium sulfat di Indonesia pada tahun 2028 adalah 292.515 ton/tahun.

1.4.2 Kebutuhan Impor Sodium Sulfat di Luar Negeri

Kebutuhan sodium sulfat di beberapa negara lain (Thailand, Malaysia, Singapura, Myanmar, Filipina, dan Vietnam) diproyeksikan akan terus bertambah sesuai dengan data impor dari negara tersebut pada tahun 2018-2022 yang tersaji dalam Tabel 1.

Tabel 1.5 Data Impor Sodium Sulfat di Luar Negeri

No	Negara	Kebutuhan Sodium Sulfat (Ton/tahun)				
		2018	2019	2020	2021	2022
1.	Malaysia	-	99.955,554	81.246,636	60.525,506	99.466,922
2.	Thailand	-	-	-	195.623.247	219.140.726
3.	Vietnam	309.726.127	288.056.994	288.988.025	270.173.190	265.405.143
4.	Singapura	2.029.470	-	-	-	-
5.	Myanmar	8.987,597	25.847,524	24.485,513	25.555,725	17.472.000
6.	Filipina	46.338.374	-	-	-	56.401.617
Total		358.102.959	288.182.797	289.093.757	465.882.518	558.518.953
Pertumbuhan (%)			-19,53	0,32	61,15	19,88
Rata – Rata (%)				15,46		

(UN Data)

Kebutuhan sodium sulfat negara lain seperti di Thailand, Malaysia, Singapura, Myanmar, Filipina, dan Vietnam fluktuatif namun cenderung mengalami peningkatan. Sodium sulfat yang akan diproduksi selain untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, dapat pula di ekspor ke negara-negara tersebut untuk menambah devisa negara.

1.4.3 Kapasitas Minimum Pabrik

Selama ini untuk memenuhi sebagian kebutuhan sodium sulfat dalam negeri, Indonesia melakukan impor dari berbagai negara. Sehingga aspek yang perlu diperhatikan menentukan besar kecilnya kapasitas suatu pabrik yang akan dirancang, perlu untuk mengetahui kapasitas pabrik yang sudah beroperasi dengan tujuan dapat mengetahui kebutuhan pasar, sehingga dapat memperkirakan jumlah kapasitas optimal yang akan dirancang. Kapasitas pabrik yang didirikan harus di atas kapasitas minimum pabrik, atau minimal sama dengan kapasitas pabrik yang telah berdiri. Pabrik soium sulfat yang telah berdiri dapat dilihat pada Tabel 1.6 sebagai berikut:

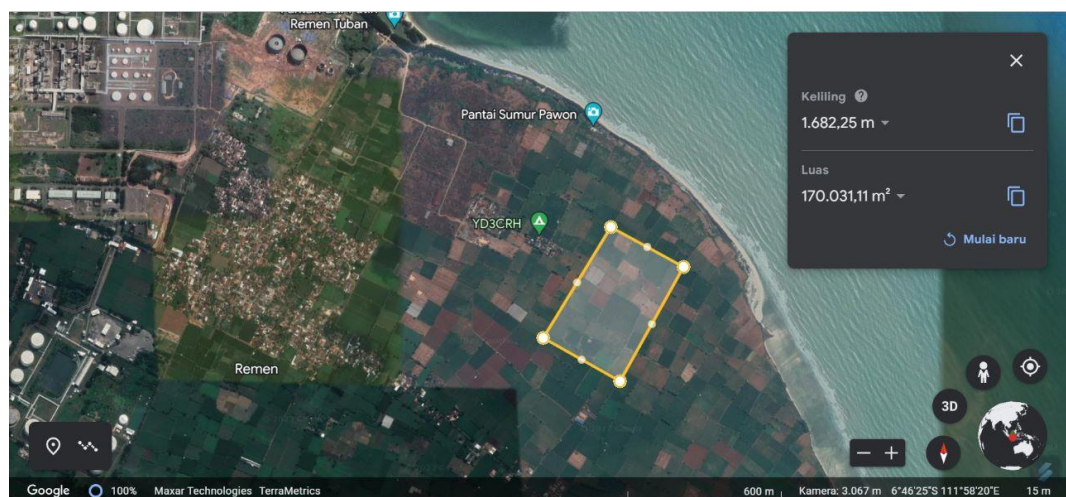
Tabel 1.6 Kapasitas Pabrik Sodium Sulfat di Dunia

No.	Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
1.	Jiangsu Yinzhu Chemical Group Co., Ltd.	Jiangsu, China	2.000.000
2.	Saskatchewan Mining and Minerals Inc.	Saskatchewan, Kanada	285.000
3.	S.A.U. Sulquisa	Madrid, Spanyol	300.000
4.	INDSPEC Chemical Corp.	Pennsylvania, Amerika	35.000
5.	PT. South Pacific Viscose	Purwakarta, Indonesia	188.000
6.	PT. Indo Bharat Rayon	Purwakarta, Indonesia	55.000

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan sodium sulfat di Indonesia, kebutuhan di berbagai negara asia tenggara, ketersediaan bahan baku serta kapasitas produksi pabrik sodium sulfat di dunia dapat disimpulkan bahwa kapasitas yang paling optimum untuk perancangan pabrik sodium sulfat pada tahun 2028 adalah 25% dari perhitungan kapasitas pabrik yaitu sebesar 75.000 ton/tahun. Kapasitas ini diambil dimana masih berkisar pada rata rata pabrik sodium sulfat yang sudah berdiri agar tidak mematikan badan usaha pabrik lainnya.

1.5 Lokasi Pabrik

Letak geografis suatu pabrik memiliki pengaruh besar terhadap keberhasilan perusahaan. Beberapa faktor dapat menjadi acuan dalam penentuan lokasi pabrik antara lain penyediaan bahan baku, utilitas, pemasaran produk, transportasi, dan kebijakan pemerintah. Lokasi pabrik sodium sulfat ini dipilih berada di Jl. Desa Remen Kecamatan Jenu, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur ($6^{\circ}46'25''\text{S}$ $111^{\circ}58'20''\text{E}$) yang berada di Kawasan Industri Tuban yang tepat untuk pengembangan industri.



Gambar 1.1 Peta Lokasi dan Luasan Pabrik

Adapun faktor yang berpengaruh dalam pemilihan lokasi pabrik adalah sebagai berikut:

a. Ketersediaan bahan baku

Bahan baku pembuatan sodium sulfat adalah asam sulfat yang diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik (Gresik), natrium klorida diperoleh dari PT. Garam (Madura).

b. Utilitas

Operasi pabrik dapat berjalan dengan baik apabila sarana pendukungnya seperti air, listrik dan lain-lain selalu tersedia dengan mudah. Penyediaan tenaga listrik diperoleh dari PLN dan generator set sebagai cadangan. Penyediaan air yang digunakan untuk air pendingin, air proses, air sanitasi dan lain-lain dapat diperoleh dari sungai Bengawan Solo yang berada di bagian selatan Tuban, Jawa Timur. Bahan bakar berupa solar dan metana diperoleh dari PT. Trans Pasific Petrochemical Indotama, Tuban. Sedangkan untuk kebutuhan listrik diperoleh dari PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara) yaitu PLTU Tanjung Awar-Awar, Tuban.

c. Transportasi

Pengiriman bahan baku dilakukan melalui jalur darat dan laut. Sedangkan sasaran pemasaran produk sebagian besar adalah untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Maka dari itu lokasi pabrik harus berdekatan dengan sarana perhubungan laut dan darat. Kawasan Tuban, Jawa Timur memiliki akses jalan darat antar provinsi yang baik dan pelabuhan laut yaitu pelabuhan Tanjung Perak dan pelabuhan Paciran, sebagai transportasi udara Jawa Timur juga memiliki bandara Ir. Juanda sehingga memperlancar pemasaran antarpulau dalam negeri.

d. Pemasaran Produk

Pemasaran produk menjadi faktor penting untuk menentukan perkembangan pabrik, karena keuntungan atau kerugian pabrik sangat

tergantung pada pemasaran produknya. Pemasaran yang berdekatan dengan lokasi pabrik akan sangat menguntungkan dan dapat dijual ke pembeli lebih cepat dalam memenuhi kebutuhan masyarakat. Produk sodium sulfat banyak dibutuhkan oleh industri kertas, tekstil, gelas, keramik, bahan-bahan kimia dan lain-lain. Industri-industri tersebut banyak terdapat di provinsi Jawa Timur, seperti PT. Ermaid Textile Industry Indonesia (Mojokerto), PT. Adya Buana Persada (Gresik), PT. Surabaya Agung Industri Pulp (Surabaya), dan lain sebagainya. Berikut merupakan beberapa pabrik di Jawa Timur yang menggunakan sodium sulfat sebagai bahan baku.

Tabel 1.7 Data Pabrik Berbahan Baku Sodium Sulfat

No.	Nama Pabrik	Jenis Pabrik	Kapasitas	Alamat
1.	PT. Adiprima Suraprinta	Kertas	130.000	Wringinanom, Gresik
2.	PT. Ekamas Fortuna	Kertas	203.080	Pagak, Malang
3.	PT. Gayabaru Paperindo	Kertas		Ciptomulyo, Malang
4.	PT. Pabrik Kertas Tjiwi Kimia, Tbk	Kertas	1.894.000	Mojokerto
5.	PT. Pakerin	Kertas	700.000	Pungging, Mojokerto
6.	PT. Sopanusa Tissue & Packaging Sarana Sukses	Kertas	150.000	Ngoro, Mojokerto
7.	PT. Suparma, Tbk	Kertas	230.000	Warugunung, Surabaya
8.	PT. Surabaya	Kertas	350.000	Driyorejo, Gresik

	Agung Industri Pulp dan Kertas, Tbk			
9.	PT. Surabaya Mekabox Ltd	Kertas	240.000	Driyorejo, Gresik
10.	PT. Surya Pamenang	Kertas	150.000	Kediri
11.	PT. Surya Zigzag	Kertas	24.000	Gampengrejo, Kediri
12.	PT. Sayap Mas Utama (Wings)	Deterjen	799.000	Kedungdoro, Surabaya
13.	PT. Asahimas Flat Glass, Tbk	Gelas	730.000	Taman, Sidoarjo
14.	PT. Multi Arthamas Glass Industry	Gelas	280.000	Rungkut, Surabaya
15.	PT. New Minatex	Tekstil		Lawang, Malang
16.	PT. Lotus Indah Tekstil Industries	Tekstil		Sukomoro, Nganjuk

Data di atas hanyalah data pabrik yang berada di Jawa Timur. Untuk distribusi pasar yang lebih luas lagi, tentu saja masih banyak pabrik-pabrik berbahan baku sodium sulfat lainnya di Indonesia. Selain itu, konsumen sodium sulfat tidak hanya berada di Indonesia, tapi juga dari berbagai negara. Oleh karena itu akan sangat menguntungkan apabila pabrik sodium sulfat ini didirikan di lokasi yang berdekatan dengan industri-industri tersebut.

e. Tenaga Kerja

Sebagai kawasan industri, daerah ini merupakan salah satu tujuan para pencari kerja baik tenaga kerja ahli (*skilled labor*) maupun tenaga kerja

tanpa keahlian (*unskilled labor*). Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan tenaga kerja adalah:

1. Mudah tidaknya mendapatkan tenaga kerja serta bagaimana kondisi sosial buruh di daerah tersebut.
2. Jarak antara tempat tinggal tenaga kerja dengan lokasi pabrik.

BAB II

DESKRIPSI PROSES

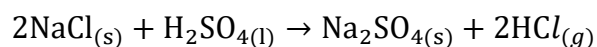
2.1 Jenis – jenis proses

Proses pembuatan sodium sulfat pada industri kimia dapat menggunakan beberapa cara, yaitu:

2.1.1 Pembuatan Sodium Sulfat pada Industri Kimia

2.1.2.1 Pembuatan Sodium Sulfat dari Garam dan Asam Sulfat (Proses Mannheim)

Pada proses ini sodium sulfat diperoleh dari reaksi antara garam sodium klorida (NaCl) dengan asam sulfat (H₂SO₄). Garam dan asam sulfat direaksikan pada temperatur sedikit di bawah suhu peleburannya (843°C). Reaksi ini terjadi di dalam reaktor *furnace* yang terbuat dari batu *brick*. Batu *brick* merupakan batu yang tahan terhadap panas tinggi dan korosi. Proses ini disebut dengan Mannheim. Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah:

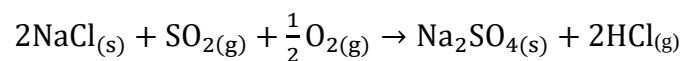


Asam klorida yang dihasilkan didinginkan dan dikondensasikan, kemudian masuk ke dalam kolom absorber. *Salt cake* (*crude* Sodium sulfat) dikeluarkan secara kontinyu dari *furnace*. Apabila diinginkan garam *glubber*, maka *salt cake* dilarutkan dalam air panas untuk membentuk larutan 32%. Abu soda atau kapur ditambahkan untuk pengendapan besi dan alumina. Endapan dibiarkan mengendap dan larutan yang bersih dari endapan (bagian atas) dipompakan ke dalam *cristallizer*.

Setelah kristalisasi, garam glubber disimpan dalam tangki tertutup untuk mencegah penguapan. *Mother liquor* dikembalikan pada tangki. (Faith, WL, Keyes BD, Clark RL, 1975)

2.1.2.2 Pembuatan Sodium Sulfat dari Gas SO₂ dan O₂ (Proses Hargreaves - Robinson)

Proses ini hanya dilakukan di Amerika Serikat. Pada proses ini, sulfur oksida, udara dan *steam* dilewatkan pada butiran garam. Persamaan reaksi yang terjadi adalah :



Yield dari proses ini adalah 93%. (Faith, WL, Keyes BD, Clark RL, 1975)

2.2 Pemilihan Proses

Dalam menentukan proses produksi sodium sulfat yang akan digunakan, maka harus mempertimbangkan beberapa hal yaitu faktor ekonomis dan faktor kelayakan teknis. Berikut adalah beberapa pertimbangan dalam pemilihan proses produksi sodium sulfat:

2.2.1 Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi ini dilakukan untuk mengetahui potensi ekonomi pada proses yang akan dipilih berdasarkan perhitungan ekonomi kasar dari harga bahan baku dan penjualan produk.

Kapasitas produksi yang dirancang pada pendirian pabrik Sodium Sulfat di tahun 2028 ini adalah sebesar 75.000 ton/tahun. Dalam satu tahun, pabrik ini dirancang untuk beroperasi selama 330 hari, maka kapasitas produksi untuk setiap kg/jam sebesar:

$$\text{Massa } Na_2SO_4 = 75.000 \text{ ton/tahun}$$

$$= \frac{75.000 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 9.469,697 \text{ kg/jam}$$

a. Pembuatan Sodium Sulfat dari Garam dan Asam Sulfat (Proses Mannheim) – Proses I

Tabel 2.1 Harga Produk dan Bahan Baku

	Komponen	Harga (USD)/kg	Harga (Rp)/kg
Produk Utama	Sodium Sulfat (Na ₂ SO ₄) ¹	0.47	7000
Produk Samping	Asam Klorida (HCl) ²	2.33	34615
Bahan Baku	Sodium Klorida (NaCl) ³	0.13	1933.37
	Asam Sulfat (H ₂ SO ₄) ⁴	0,23	3420.57

(Kurs 1 USD = 14.872,05) diakses pada 7 Juni 2023

Sumber : ¹: alibaba.com, 2023

²: alibaba.com, 2023

³: alibaba.com, 2023

⁴: connect2india.com, 2023

Diketahui :

Konversi = 98% (Faith, WL, Keyes BD, Clark RL, 1975).



BM (kg/kmol)	58,5	98	142,04	36,5
---------------------	-------------	-----------	---------------	-------------

Massa $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 75.000 \text{ ton/tahun}$

$$= \frac{75.000 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 9.469,697 \text{ kg/jam}$$

Untuk kapasitas produksi Sodium Sulfat (Na_2SO_4) 9.469,697 kg/jam, dengan konversi 98% berdasarkan (Faith, WL, Keyes BD, Clark RL, 1975), maka jumlah kmol/jam Sodium Sulfat (Na_2SO_4) yang dihasilkan sebesar :

$$\text{Mol Na}_2\text{SO}_4 = \frac{\text{Massa Na}_2\text{SO}_4}{\text{BM Na}_2\text{SO}_4}$$

$$= \frac{9.469,697 \text{ kg/jam}}{142,04 \text{ kg/kmol}}$$

$$= 66,669 \text{ kmol/jam}$$

Maka,



M	136,060	68,030	-	-
B	133,338	66,669	66,669	133,338
S	2,721	1,361	66,669	133,338

- Sodium Sulfat (Na_2SO_4)**

Massa $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 75.000.000 \text{ kg/tahun}$

Harga $\text{Na}_2\text{SO}_4 = \text{Massa Na}_2\text{SO}_4 \times \text{Harga Na}_2\text{SO}_4$
 $= 75.000.000 \text{ kg/tahun} \times 7.000 / \text{kg}$
 $= \text{Rp } 525.000.000.000,- / \text{tahun}$

- **Sodium Klorida (NaCl)**

Konversi = 98%

Maka,

$$\% \text{ Konversi} = \frac{\text{Mol NaCl bereaksi}}{\text{Mol NaCl umpan}}$$

$$98\% = \frac{2}{1} \times \frac{66,669 \text{ kmol/jam}}{\text{mol NaCl umpan}}$$

$$\text{Mol NaCl umpan} = 136,060 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaCl} &= \text{Mol NaCl} \times \text{BM NaCl} \\ &= 136,060 \text{ kmol/jam} \times 58,5 \text{ kg/kmol} \\ &= 7.959,489 \text{ kg/jam} \\ &= 63.039.155,4 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga NaCl} &= \text{Massa NaCl} \times \text{Harga NaCl} \\ &= 63.039.155,4 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp } 1.933,37 / \text{kg} \\ &= \text{Rp } 121.877.791.233,71 / \text{tahun} \end{aligned}$$

- **Asam Sulfat (H₂SO₄)**

$$\begin{aligned} \text{Mol H}_2\text{SO}_4 \text{ umpan} &= \frac{1}{2} \times \text{Mol Umpan NaCl} \\ &= \frac{1}{2} \times 136,060 \text{ kmol/jam} \\ &= 68,030 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa H}_2\text{SO}_4 \text{ umpan} &= \text{Mol H}_2\text{SO}_4 \times \text{BM H}_2\text{SO}_4 \\ &= 68,030 \text{ kmol/jam} \times 98 \text{ kg/kmol} \\ &= 6.666,923 \text{ kg/jam} \\ &= 52.802.027,6 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Harga H}_2\text{SO}_4 &= \text{Massa H}_2\text{SO}_4 \times \text{Harga H}_2\text{SO}_4 \\
 &= 52.802.027,6 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp } 3.420,57 / \text{kg} \\
 &= \text{Rp } 180.613.110.743,45 / \text{tahun}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka :

$$\text{Total Cost of Product} = \text{Rp } 525.000.000.000,- / \text{tahun}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Cost of Feed} &= \text{Harga NaCl} + \text{Harga H}_2\text{SO}_4 \\
 &= \text{Rp } 121.877.791.233,71 / \text{tahun} + \text{Rp} \\
 &\quad \text{Rp } 180.613.110.743,45 / \text{tahun} \\
 &= \text{Rp } 302.490.901.977,17 / \text{tahun}
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\text{Economic Potential (EP)} = \text{Total Cost of Product} - \text{Total Cost of Feed}$$

$$\begin{aligned}
 \text{EP/Profit} &= \text{Rp } 525.000.000.000,00,- / \text{tahun} - \text{Rp} \\
 &\quad \text{Rp } 302.490.901.977,17 / \text{tahun} \\
 &= \text{Rp } 222.509.098.022,83 / \text{tahun}
 \end{aligned}$$

b. Pembuatan Sodium Sulfat dari Gas SO₂ dan O₂ (Proses Hargreaves - Robinson) – Proses II

Tabel 2.2 Harga Produk dan Bahan Baku

	Komponen	Harga (USD)/kg	Harga (Rp)/kg
Produk Utama	Asam Sulfat (Na ₂ SO ₄) ¹	0.47	7.000
Produk Samping	Asam Klorida (HCl) ²	2.33	34.615

	Sodium Klorida (NaCl) ³	0.13	1.933,37
Bahan Baku	Sulfur Dioksida (SO ₂) ⁴	0,6	8.923,23
	Oksigen (O ₂)	0	0

(Kurs 1 USD = 14.872,05) diakses pada 7 Juni 2023

Sumber : ¹: alibaba.com, 2023

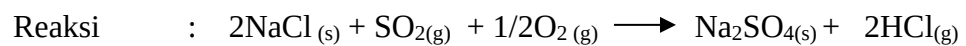
²: alibaba.com, 2023

³: alibaba.com, 2023

⁴: connect2india.com, 2023

Diketahui :

Konversi = 93%



BM (kg/kmol) 58,5 64,07 16 142 36,5

Massa $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 75.000$ ton/tahun

$$= \frac{75.000 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

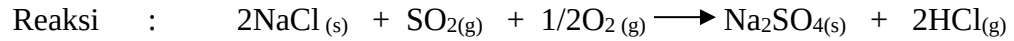
$$= 9.469,697 \text{ kg/jam}$$

Untuk kapasitas produksi Sodium Sulfat (Na_2SO_4) 8.207,0707 kg/jam, dengan konversi 93% berdasarkan (Faith, WL, Keyes BD, Clark RL, 1975), maka jumlah kmol/jam Sodium Sulfat (Na_2SO_4) yang dihasilkan sebesar :

$$\text{Mol Na}_2\text{SO}_4 = \frac{\text{Massa Na}_2\text{SO}_4}{\text{BM Na}_2\text{SO}_4}$$

$$= \frac{9.469,697 \text{ kg/jam}}{142,04 \text{ kg/kmol}}$$

$$= 66,669 \text{ kmol/jam}$$



M	143,375	71,687	35,844	-	-
B	133,338	66,669	33,335	66,669	133,338
S	10,036	5,018	2,509	66,669	133,338

- **Sodium Sulfat (Na_2SO_4)**

$$\text{Massa Na}_2\text{SO}_4 = 75.000.000 \text{ kg/tahun}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga Na}_2\text{SO}_4 &= \text{Massa Na}_2\text{SO}_4 \times \text{Harga Na}_2\text{SO}_4 \\ &= 75.000.000 \text{ kg/tahun} \times 7.000 / \text{kg} \\ &= \text{Rp } 525.000.000.000,- / \text{tahun} \end{aligned}$$

- **Sodium Klorida (NaCl)**

$$\text{Konversi} = 93\%$$

Maka,

$$\% \text{ Konversi} = \frac{\text{Mol NaCl bereaksi}}{\text{Mol NaCl umpan}}$$

$$93\% = \frac{2}{1} \times \frac{66,669 \text{ kmol/jam}}{\text{mol NaCl umpan}}$$

$$\text{Mol NaCl umpan} = 143,375 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaCl} &= \text{Mol NaCl} \times \text{BM NaCl} \\ &= 143,375 \text{ kmol/jam} \times 58,5 \text{ kg/kmol} \\ &= 8.387,419 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$= 66.428.357,3 \text{ kg/tahun}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga NaCl} &= \text{Massa NaCl} \times \text{Harga NaCl} \\ &= 66.428.357,3 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp } 1.933,37 / \text{kg} \\ &= \text{Rp } 128.430.360.654,88 / \text{tahun} \end{aligned}$$

- **Sulfur Dioksida (SO₂)**

$$\begin{aligned} \text{Mol SO}_2 \text{ umpan} &= \frac{1}{2} \times \text{Mol Umpan NaCl} \\ &= \frac{1}{2} \times 143,375 \text{ kmol/jam} \\ &= 71,687 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa SO}_2 &= \text{Mol SO}_2 \times \text{BM SO}_2 \\ &= 71,687 \text{ kmol/jam} \times 64,07 \text{ kg/kmol} \\ &= 4.593,008 \text{ kg/jam} \\ &= 36.376.622,67 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga SO}_2 &= \text{Massa SO}_2 \times \text{Harga SO}_2 \\ &= 36.376.622,67 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp } 8.923,23 / \text{kg} \\ &= \text{Rp } 324.596.970.696,58 / \text{tahun} \end{aligned}$$

- **Oksigen (O₂)**

$$\begin{aligned} \text{Mol O}_2 \text{ umpan} &= \frac{1}{2} \times \text{Mol Umpan NaCl} \\ &= \frac{1}{4} \times 143,375 \text{ kmol/jam} \\ &= 35,844 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa O}_2 &= \text{Mol O}_2 \times \text{BM O}_2 \\ &= 35,844 \text{ kmol/jam} \times 16 \text{ kg/kmol} \end{aligned}$$

$$= 573,499 \text{ kg/jam}$$

$$= 5.023.848,83 \text{ kg/tahun}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga O}_2 &= \text{Massa O}_2 \times \text{Harga O}_2 \\ &= 5.023.848,83 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp } 0 \\ &= \text{Rp } 0 \text{ /tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka :

$$\text{Total Cost of Product} = \text{Rp } 525.000.000.000,- / \text{ tahun}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Cost of Feed} &= \text{Harga NaCl} + \text{Harga SO}_2 + \text{Harga O}_2 \\ &= \text{Rp } 128.430.360.654,88 / \text{tahun} + \text{Rp} \\ &\quad 324.596.970.696,58 / \text{tahun} + \text{Rp } 0 / \text{tahun} \\ &= \text{Rp } 453.027.331.351,46 / \text{tahun} \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\text{Economic Potential (EP)} = \text{Total Cost of Product} - \text{Total Cost of Feed}$$

$$\begin{aligned} \text{EP/Profit} &= \text{Rp } 525.000.000.000,- / \text{ tahun} - \text{Rp} \\ &\quad \text{Rp } 453.027.331.351,46 / \text{tahun} \\ &= \text{Rp } 71.972.668.648,54 / \text{tahun} \end{aligned}$$

2.2.2 Kelayakan Teknis

Kelayakan teknis terhadap suatu reaksi kimia yang terjadi pada proses industri dilakukan dengan tinjauan termodinamika, yaitu entalpi panas pembentukan (ΔH) dan energi bebas gibbs (ΔG).

a. Tinjauan Termodinamika Berdasarkan Entalpi Panas Pembentukan (ΔH)

ΔH menunjukkan besarnya panas reaksi yang dihasilkan selama proses berlangsungnya reaksi kimia, seperti pada reaksi pembentukan produk berupa sodium sulfat. Besar atau kecilnya nilai ΔH tersebut menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan maupun dihasilkan. Jika ΔH bernilai positif (+) atau $\Delta H > 0$, menunjukkan bahwa reaksi tersebut membutuhkan panas untuk melakukan reaksi kimia (endoterm), sehingga semakin besar ΔH maka semakin besar juga energi yang dibutuhkan. Sedangkan, jika ΔH bernilai negatif (-) atau $\Delta H < 0$, menunjukkan bahwa reaksi tersebut menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi kimia (eksoterm), sehingga diperlukan pendingin untuk mempertahankan suhu reaksi.

Tabel 2.3 Data Panas Pembentukan Standar (ΔH_f°) pada suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	ΔH_f° (kJ/kmol)
NaCl (s)	-411,2
H ₂ SO ₄ (l)	-735,13
Na ₂ SO ₄ (s)	-1387,1
HCl (g)	-92,3
SO ₂ (g)	-296,8
O ₂ (g)	0,00

Sumber : Yaws, 1999

Tabel 2.4 Data konstanta A, B, C, D untuk Cp dalam kJ/kmol

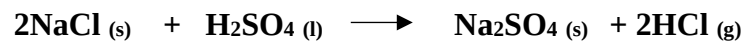
Senyawa	A	B	C	D
NaCl	41,293	0,033607	-0,0000139	0,00

H ₂ SO ₄	26,004	0,70337	-0,0013856	0,0000001034
Na ₂ SO ₄	12,202	0,58138	-0,00060649	0,00
HCl	73,993	-0,12946	-0,00007898	0,0000026409
SO ₂	29,637	0,034735	0,00000929	-0,000000029
O ₂	-29,526	-0,0088999	0,00003808	-0,000000032

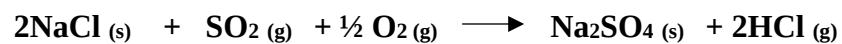
Sumber : Yaws, 1999

Reaksi :

Proses I



Proses II



- Menghitung nilai panas pembentukan reaksi (ΔH) pada suhu 25°C (298,15 K) (keadaan standar) (proses I)

$$\Delta H^\circ_{f 298 \text{ K}} = \Sigma \Delta H^\circ_{f \text{ produk}} - \Sigma \Delta H^\circ_{f \text{ reaktan}}$$

$$\Delta H^\circ_{f 298 \text{ K}} = [-1387,1 + (2(-92,3))] - [(2(-411,2)) + (-735,13)]$$

$$\Delta H^\circ_{f 298 \text{ K}} = -14,17 \text{ kJ/kmol}$$

- Menghitung nilai panas pembentukan reaksi (ΔH) pada suhu 843°C (1116,15 K) (proses I)

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} dT = (\Delta A)T_0(\tau-1) + \frac{\Delta B}{2} T_0^2(\tau^2-1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^3(\tau^3-1) + \frac{\Delta D}{T_0} \times \frac{\tau-1}{\tau} \quad (\text{Smith, 2001})$$

Dimana,

$$\tau = \frac{T}{T_0} = \frac{1116,15}{298,15} = 3,743585444 \quad ; \quad R = 8,314$$

$$\Delta A = \Sigma A_{\text{produk}} - \Sigma A_{\text{reaktan}}$$

$$= [12,202 + (2(73,993))] - [(2(41,298)) + (26,004)]$$

$$= 51,588 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta B = \Sigma B_{\text{produk}} - \Sigma B_{\text{reaktan}}$$

$$= [0,58138 + (2(-0,12946))] - [(2(0,033607)) + (0,70337)]$$

$$= -0,448124 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta C = \Sigma C_{\text{produk}} - \Sigma C_{\text{reaktan}}$$

$$= [-0,00060649 + (2(-0,00007898))] - [(2(-0,0000139)) + (-0,0013856)]$$

$$= 0,00064895 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta D = \Sigma D_{\text{produk}} - \Sigma D_{\text{reaktan}}$$

$$= [0 + (2(0,000002649))] - [(2(0)) + (0,000001034)]$$

$$= 0,000004264 \text{ kJ/kmol}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT &= (51,588) 298,15 (3,74358544 - 1) \\ &+ \frac{-0,448124}{2} (298,15)^2 (3,74358544^2 - 1) \\ &+ \frac{0,00064895}{3} (298,15)^3 (3,74358544^3 - 1) \end{aligned}$$

$$+\frac{0,000004264}{298,15} \times \frac{3,74358544 - 1}{3,74358544}$$

$$= -216.028,1491 \text{ kJ/kmol}$$

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT = -216.028,1491 \times 8,314$$

$$= -1.796.058,031 \text{ kJ/kmol}$$

Nilai (ΔH_r°) pada 1116,15 K adalah :

$$\Delta H_{r \text{ 1116 K}}^\circ = \Delta H_f^\circ + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT$$

$$= -14,17 + (-1.796.058,031)$$

$$= -1.796.072,201 \text{ kJ/kmol}$$

$$= -1,796072 \times 10^6 \text{ kJ/kmol}$$

Reaksi pembentukan produk sodium sulfat bersifat eksotermis yang ditandai dengan nilai ($\Delta H_{r \text{ 1116 K}}^\circ$) bernilai negatif.

- Menghitung nilai panas pembentukan reaksi (ΔH) pada suhu 25°C (298,15 K) (keadaan standar) (proses II)

$$\Delta H_{f \text{ 298 K}}^\circ = \Sigma \Delta H_{f \text{ produk}}^\circ - \Sigma \Delta H_{f \text{ reaktan}}^\circ$$

$$\Delta H_{f \text{ 298 K}}^\circ = [-1387,1 + (2(-92,3))] - [(2(-411,2)) + (-296,8) + (1/2(0))]$$

$$\Delta H_{f \text{ 298 K}}^\circ = -452,5 \text{ kJ/kmol}$$

- Menghitung nilai panas pembentukan reaksi (ΔH) pada suhu 426,67°C (699,82 K) (proses II)

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = (\Delta A)T_0(\tau-1) + \frac{\Delta B}{2}T_0^2(\tau^2-1) + \frac{\Delta C}{3}T_0^3(\tau^3-1) + \frac{\Delta D}{T_0} \times \frac{\tau-1}{\tau} \quad (\text{Smith, 2001})$$

Dimana,

$$\tau = \frac{T}{T_0} = \frac{699,82}{298,15} = 2,347207781 \quad ; \quad R = 8,314$$

$$\Delta A = \Sigma A_{\text{produk}} - \Sigma A_{\text{reaktan}}$$

$$= [12,202 + (2(73,993))] - [(2(41,298)) + (29,637) + (1/2(-29,526))] \\ = 62,718 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta B = \Sigma B_{\text{produk}} - \Sigma B_{\text{reaktan}}$$

$$= [0,58138 + (2(-0,12946))] - [(2(0,033607)) + (0,034735) + (1/2(-0,0089))] \\ = 0,22496095 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta C = \Sigma C_{\text{produk}} - \Sigma C_{\text{reaktan}}$$

$$= [-0,00060649 + (2(-0,00007898))] - [(2(-0,0000139)) + (0,00000929) + (1/2(0,000038083))] \\ = -0,000764982 \text{ kJ/kmol}$$

$$\begin{aligned}
\Delta D &= \Sigma D_{\text{produk}} - \Sigma D_{\text{reaktan}} \\
&= [0 + (2(0,000002649))] - [(2(0)) + (-0,000000298) + (1/2(0,00000032))] \\
&= 0,00000558 \text{ kJ/kmol}
\end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT &= (62,718) 298,15 (2,347207781 - 1) \\
&\quad + \frac{0,22496095}{2} (298,15)^2 (2,347207781^2 - 1) \\
&\quad + \frac{-0,000764982}{3} (298,15)^3 (2,347207781^3 - 1) \\
&\quad + \frac{0,00000558}{298,15} \times \frac{2,347207781 - 1}{2,347207781} \\
&= 70.009,79755 \text{ kJ/kmol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT &= 70,009,79755 \times 8,314 \\
&= 582.061,4528 \text{ kJ/kmol}
\end{aligned}$$

Nilai (ΔH_r°) pada 699,82 K adalah :

$$\begin{aligned}
\Delta H_{r, 699,82 \text{ K}}^\circ &= \Delta H_f^\circ + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT \\
&= -452,5 + (582.061,4528) \\
&= 581.608,9568 \text{ kJ/kmol} \\
&= 5,81608 \times 10^5 \text{ kJ/kmol}
\end{aligned}$$

Reaksi pembentukan produk sodium sulfat bersifat endotermis yang ditandai dengan nilai ($\Delta H^\circ_{r\ 699,82\text{ K}}$) bernilai positif.

b. Tinjauan Termodinamika Berdasarkan Energi Bebas Gibbs Pembentukan (ΔG°_f)

ΔG menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia yang terjadi. Jika ΔG bernilai positif (+) atau $\Delta G > 0$, menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan. Sedangkan, jika ΔG bernilai negatif (-) atau $\Delta G < 0$ menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan dan hanya sedikit membutuhkan energi. Oleh karena itu, semakin kecil atau negatif ΔG , maka reaksi tersebut akan semakin baik karena untuk berlangsung spontan energi yang dibutuhkan semakin kecil.

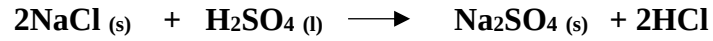
Tabel 2.5 Data Energi Bebas Gibbs (ΔG°_f) pada suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	$\Delta G^\circ_{f\ 298}$
	(kJ/kmol)
NaCl (s)	-384,10
H ₂ SO ₄ (l)	-653,47
Na ₂ SO ₄ (s)	-1270,20
HCl (g)	-95,30
SO ₂ (g)	-300,10
O ₂ (g)	0,00

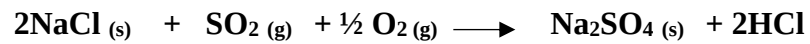
Sumber : Yaws, 1999

Reaksi :

Proses I



Proses II



- Menghitung nilai energi bebas gibbs (ΔG°) pada suhu 25°C (298,15 K) (keadaan standar) (Proses I)

$$\Delta G^\circ_{f 298 K} = \Sigma(n\Delta G^\circ_{f \text{ produk}}) - \Sigma(n\Delta G^\circ_{f \text{ reaktan}})$$

$$\Delta G^\circ_{f 298 K} = [(-1270,20) + (2(-95,30))] - [(2(-384,10) + (-653,47))]$$

$$\Delta G^\circ_{f 298 K} = -39,13 \text{ kJ/kmol}$$

- Menghitung nilai energi bebas gibbs (ΔG°) pada suhu 843°C (1116,15 K) (proses I)

$$\Delta G^\circ_r = \Delta H^\circ_0 - T \Delta S^\circ \quad (\text{Smith, 2001})$$

Dimana,

$$\Delta S^\circ = \Delta S^\circ_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} dT$$

$$\Delta S^\circ_0 = \frac{\Delta H_0 - \Delta G_0}{T_0}$$

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} dT = (\Delta A) \ln \tau + \left[\Delta B T_0 + \left(\Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{\tau^2 T_0^2} \right) \left(\frac{\tau + 1}{2} \right) \right] (\tau - 1)$$

Sehingga,

$$\Delta G^{\circ}_r = \Delta H_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}_p}{R} dT - T \Delta S^{\circ}_0 - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}_p}{R} \frac{dT}{T}$$

$$\Delta G^{\circ}_r = \Delta H_0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0 - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}_p}{R} \frac{dT}{T}$$

Maka,

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}_p}{R} \frac{dT}{T} = (\Delta A) \ln \tau + \left[\Delta B T_0 + (\Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{\tau^2 T_0^2}) \left(\frac{\tau + 1}{2} \right) \right] (\tau - 1)$$

$$= (51,588) \ln 3,743585444 + [-0,448124 \times 298,15$$

$$+ ((0,00064895 \times (298,15^2))) + \frac{0,000004264}{(3,743585444^2) * (298,15^2)}$$

$$\times \left(\frac{3,743585444 + 1}{2} \right)] \times (3,743585444 - 1)$$

$$= 77,09327 \text{ kJ/kmol}$$

$$RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}_p}{R} \frac{dT}{T} = 77,09327 \times 8,314 \times 1116,15 = 715.400,2 \text{ kJ/kmol}$$

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}_p}{R} dT = -1.796.058,031 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^{\circ}_{r1116} = (-14,17) - \left(\left(\frac{1116,15}{298,15} \right) \times ((-14,17) - (-39,13)) \right) + (-1.796.058,031) - (715.400,2)$$

$$= 2.511.350,611 \text{ kJ/kmol}$$

$$= 2,511350 \times 10^6 \text{ kJ/kmol}$$

Karena $\Delta G^\circ_{r\ 1116\ K}$ bernilai positif, maka reaksi tidak berjalan dengan spontan.

- Menghitung nilai energi bebas gibbs (ΔG°) pada suhu 25°C (298,15 K) (keadaan standar) (Proses II)

$$\Delta G^\circ_{f\ 298\ K} = \Sigma(n\Delta G^\circ_{f\ produk}) - \Sigma(n\Delta G^\circ_{f\ reaktan})$$

$$\Delta G^\circ_{f\ 298\ K} = [(-1270,20) + (2(-95,30))] - [2(-384,10) + (-300,10) + (0,5(0))]$$

$$\Delta G^\circ_{f\ 298\ K} = -392,5\ \text{kJ/kmol}$$

- Menghitung nilai energi bebas gibbs (ΔG°) pada suhu 426,67°C (699,82 K) (proses II)

$$\Delta G^\circ_r = \Delta H^\circ_0 - T \Delta S^\circ \quad (\text{Smith, 2001})$$

Dimana,

$$\Delta S^\circ = \Delta S^\circ_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} dT$$

$$\Delta S^\circ_0 = \frac{\Delta H_0 - \Delta G_0}{T_0}$$

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} dT = (\Delta A) \ln \tau + \left[\Delta B T_0 + (\Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{\tau^2 T_0^2}) \left(\frac{\tau + 1}{2} \right) \right] (\tau - 1)$$

Sehingga,

$$\Delta G^\circ_r = \Delta H_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} dT - T \Delta S^\circ_0 - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} \frac{dT}{T}$$

$$\Delta G^\circ_r = \Delta H_0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0 - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^\circ_p}{R} \frac{dT}{T}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} &= (\Delta A) \ln \tau + \left[\Delta B T_0 + (\Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{\tau^2 T_0^2}) \left(\frac{\tau + 1}{2} \right) \right] (\tau - 1) \\
 &= (62,718) \ln 2,347207781 + [0,22496095 \times 298,15 \\
 &\quad + ((-0,000764982 \times (298,15^2))) + \frac{0,00000558}{(2,347207781^2) \times (298,15^2)} \\
 &\quad \times \left(\frac{2,347207781 + 1}{2} \right)] \times (2,347207781 - 1) \\
 &= -9,24746 \text{ kJ/kmol}
 \end{aligned}$$

$$RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} = (-9,24746) \times 8,314 \times 699,82 = -53.804,5 \text{ kJ/kmol}$$

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = 582.061,457 \text{ kJ/kmol}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G_{r, 699,82 \text{ K}}^\circ &= (-452,5) - \left(\left(\frac{699,82}{298,15} \right) \times ((-452,5) - (-392,5)) + (582061,457) \right. \\
 &\quad \left. - (-53804,5477) \right) \\
 &= -636.177,672 \text{ kJ/kmol} \\
 &= -6,36177 \times 10^5 \text{ kJ/kmol}
 \end{aligned}$$

Karena $\Delta G_{r, 699,82 \text{ K}}^\circ$ bernilai negatif, maka reaksi berjalan dengan spontan.

Tabel 2.6 Perbandingan Nilai *Gibbs Free Energy* dan Entalpi Reaksi pada Proses Produksi Sodium Sulfat

Jenis Proses	ΔH pada suhu standar (kJ/mol)	ΔH pada suhu operasi (kJ/mol)	ΔG pada suhu standar (kJ/mol)	ΔG pada suhu operasi (kJ/mol)
Mannheim	-14,17 (eksotermis)	$-1,796072 \times 10^6$ (eksotermis)	-39,13 (reaksi spontan)	$2,511350 \times 10^6$ (tidak spontan)
Hargreaves - Robinson	-452,5 (eksotermis)	$5,81608 \times 10^5$ (endotermis)	-392,5 (reaksi spontan)	$-6,36177 \times 10^5$ (spontan)

2.3 Tinjauan Termodinamika

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, terlihat bahwa $\Delta G^\circ R$ (298 K) bernilai -39,13 kJ/mol ($\Delta G^\circ R > 0$ kJ/mol), maka reaksi pembuatan sodium sulfat tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga membutuhkan energi tambahan dari luar. Dari perhitungan-perhitungan tersebut diperoleh :

$$\Delta H^\circ R = -14,17 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^\circ_{298 \text{ K}} = -39,13 \text{ kJ/kmol}$$

Perhitungan harga Konstanta Keseimbangan (K) dapat ditinjau dari rumus sebagai berikut (Dogra, 1990):

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K \text{ atau } K = \exp \frac{-\Delta G^\circ}{RT}$$

Dimana:

- ΔG° : Energi gibbs pada keadaan standar (T=298 K, P=1 atm), J/mol
- ΔH° : Panas reaksi, J/mol
- K : Konstanta kesetimbangan

T : Suhu standar = 298 K

R : Tetapan gas ideal = 8,314 J/mol.K

Didapat $\Delta G^\circ < 0$ sehingga reaksi dapat berjalan secara spontan. Dari (Smith Van Ness, 2005), menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ_{298} &= -RT \ln K_{298K} \\ \ln K_{298} &= -\frac{\Delta G_{298}}{RT} \\ K_{298} &= \exp \left(\frac{-(-39,13 \frac{kJ}{mol})}{(8,314 \times 10^{-3} \frac{kJ}{mol})(298)} \right) \\ K_{298} &= 7229557\end{aligned}$$

Reaksi dijalankan pada temperature 843°C sehingga harga konstanta kesetimbangan (K) pada temperatur 843°C (1116,15 K) dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$\begin{aligned}\ln \frac{K_{1116,15}}{K_{298}} &= \left[-\left(\frac{\Delta Gr^\circ}{R} \right) \times \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_{reff}} \right) \right] \\ \ln K_{1116,15} - \ln K_{298} &= -\left(\frac{-39,13}{(8,314 \times 10^{-3})} \right) \times \left(\frac{1}{1116} - \frac{1}{298} \right) \\ \ln K_{1116,15} - 7229557 &= \left(\frac{39,13}{(8,314 \times 10^{-3})} \right) \times \left(\frac{1}{1116} - \frac{1}{298} \right) \\ \ln K_{1116,15} - 7229557 &= -11,5764 \\ \ln K_{1116,15} &= 7229546 \\ K_{1116,15} &= 15,794\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, harga $K \gg \gg 1$ sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi bersifat irreversible atau searah.

Tabel 2.7 Perbandingan Proses Produksi Sodium Sulfat

Aspek	Proses	
	Mannheim	Hargreaves – Robinson
Bahan Baku Utama	Garam (NaCl)	Garam (NaCl)
Bahan Pembantu	Asam Sulfat (H_2SO_4)	Sulfur Oksida (SO_2)
Produk Samping	HCl	HCl
Teknis	1. Proses lebih sederhana	1. Proses jarang digunakan, dan hanya digunakan pada satu pabrik di Amerika. 2. Reaksi SO_2 dan O_2 dalam keadaan gas lebih rumit dalam perencanaannya dan kontrol prosesnya.
	1. Bahan baku lebih murah 2. Tidak membutuhkan desain khusus untuk menyimpan bahan baku	1. Bahan baku SO_2 lebih mahal, dan treatment bahan baku membutuhkan alat dan biaya yang lebih mahal 2. Membutuhkan desain khusus untuk menyimpan bahan baku
Ekonomi		
Fase	<i>Solid – Aqueous</i>	<i>Liquid – Gas</i>
Alat Utama	<i>Mannheim Furnace</i>	<i>Fluidized – Bed Reactor</i>
Suhu Operasi	843°C	426,67°C
Jenis Reaksi	Eksotermis	Endotermis

Konversi	98%	93%
Kadar Produk	>99%	98%

*(Faith, WL, Keyes BD, Clark RL, 1975).

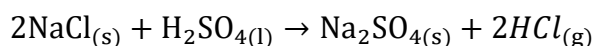
Dari tinjauan proses pembuatan sodium sulfat diatas maka dapat kami tarik kesimpulan bahwa proses pembuatan sodium sulfat yang dipilih yaitu proses pembuatan sodium sulfat dengan proses Mannheim dengan beberapa pertimbangan:

1. Bahan baku yang mudah diperoleh dan cukup tersedia di Indonesia.
2. Konversi reaksi yang tinggi yaitu 98% sehingga produk akan lebih banyak terbentuk (Faith, WL, Keyes BD, Clark RL, 1975).
3. Ditinjau dari harga bahan baku pada proses Mannheim juga lebih murah dibandingkan harga bahan baku yang menggunakan proses Hargreaves – Robinson.
4. Kadar produk yang cukup tinggi.
5. Ditinjau dari segi ekonomi juga menguntungkan karena harga sodium sulfat sebagai produk jauh lebih mahal daripada NaCl sebagai bahan baku (Alibaba.com).
6. Produk samping yang mempunyai nilai jual tinggi.

2.4 Tinjauan Kinetika Reaksi

Data kinetika diperoleh dari “*Industrial and Engineering Chemistry Research*” mengenai *Kinetic study on sodium sulfate synthesis by reactive crystallization*, (Ojeda Toro et al., 2015).

Persamaan reaksi:



Konstanta Laju Reaksi dihitung menggunakan persamaan Arrhenius:

$$k = Ae^{-E/R \cdot T}$$

$$A = kc_1 \ln(C_{A0}) + kc_2$$

dimana,

k = konstanta laju reaksi

A = faktor frekuensi atau konstanta Arrhenius

E = energi aktivasi

R = ketetapan gas

T = temperature operasi

Dari data kinetika yang ada pada jurnal *Kinetic study on sodium sulfate synthesis by reactive crystallization*, (Ojeda Toro et al., 2015), didapatkan harga k yaitu:

$$k = 0,428$$

Dan didapatkan Laju Reaksi untuk sodium sulfat yaitu sebagai berikut:

$$(-r_A) = k \cdot C_A \cdot C_B$$

$$(-r_A) = 0,4282 \cdot 0,00005 \cdot 0,00151$$

$$(-r_A) = 0,0009 \text{ kmol/L} \cdot \text{jam}$$

2.5 Uraian Proses

Pada Prarancangannya pabrik Sodium Sulfat dapat dibagi menjadi 4 unit proses yaitu:

2.5.1 Persiapan Bahan Baku

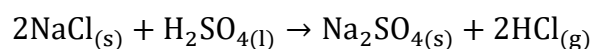
Common salt dari *storage* dipindahkan dengan *belt conveyor* dan *bucket elevator* diumpankan pada bin menuju *furnance* dengan suhu operasi 843°C. Larutan H_2SO_4 98% dilakukan *pre – heating* sebelum dipompakan menuju *furnace* dengan menggunakan *heat exchanger*, selanjutnya dari keluaran *heat exchanger* dialirkan menuju *furnace*. Pada *furnace* terjadi reaksi pembakaran antara

sodium klorida dan asam sulfat dalam fasa *solid-aquoeos* dimana massa yang bereaksi dengan perlahan dipanaskan sampai suhu mendekati titik leburnya (Faith, WL, Keyes BD, Clark RL, 1975). Ruangan utama tempat panas radiasi berlangsung di dalam *furnace* disebut dengan *radiant fire-box* atau ruang bakar, dimana di dalam ruangan ini pembakaran dari bahan bakar terjadi. Bahan bakar berupa metana dimasukkan ke dalam *furnace* setelah dicampur dengan udara pembakaran di dalam *burner* dan dinyalakan. *Burner* dapat diletakkan di lantai atau dinding samping (Kern, 1965).

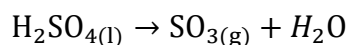
2.5.2 Proses dan Reaksi Pembentukan Sodium Sulfat

Common salt yang dialirkan ke dalam *furnace* direaksikan dengan larutan asam sulfat. Kondisi operasi *furnace* pada suhu 843°C.

Reaksi yang terjadi yaitu:



Konversi total yang diinginkan dari reaksi di atas adalah 98% dengan *limiting reaktan* adalah NaCl. Karena H_2SO_4 berada pada kondisi di atas suhu titik didihnya yaitu 249°C maka H_2SO_4 terdekomposisi menurut reaksi sebagai berikut.



Produk utama berupa Na_2SO_4 dan campuran garam keluar pada *nozzle* bagian bawah menuju ke *grate cooler* untuk mendinginkan bahan sampai dengan suhu 30°C. Produk atas merupakan produk samping HCl, dikeluarkan pada *nozzle* bagian atas menuju ke *heat exchanger* dengan suhu 843°C untuk dilakukan proses pertukaran panas, sehingga suhunya menjadi 283°C, kemudian produk bagian bawah berupa padatan besar yang keluar dari *grate cooler* dialirkan menuju *belt conveyor* untuk disesuaikan ukurannya sesuai dengan yang diinginkan.

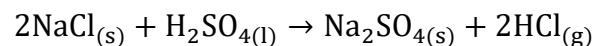
Padatan sodium sulfat kemudian dihancurkan menjadi 200 mesh di dalam *ball mill*. Produk kemudian disaring pada *screen*, dimana produk yang tidak sesuai ukurannya dikembalikan pada *ball mill*.

2.5.3 Unit Penyimpanan

Produk dari screen dengan ukuran 200 mesh dan kemurnian 99% untuk memenuhi kebutuhan pasar sebagai produk akhir akan diteruskan ke *storage* dan *packaging* untuk dikemas ke dalam karung yang selanjutnya diangkut ke dalam gudang penyimpanan produk sodium sulfat.

2.5.4 Tahap Pengolahan HCl

Dari Mannheim Furnance terjadi reaksi :



Dari reaksi tersebut terbentuk produk samping HCl yang berupa gas serta gas SO₃ dan H₂O diumpankan menuju *heat exchanger* untuk didinginkan dari suhu 843°C dengan tekanan 4 atm menjadi 283°C dengan tekanan 4 atm. Gas HCl, SO₃ dan H₂O kemudian masuk ke *expansion valve* untuk diturunkan tekanannya dari 4 atm menjadi 1 atm. Kemudian dilakukan pendinginan kembali gas HCl, SO₃ dan H₂O dengan *cooler* sehingga suhunya menjadi 200°C. Proses selanjutnya yaitu pemisahan gas HCl, SO₃ dan H₂O dengan dilakukan serangkaian proses menggunakan *partial condensor* dan *knock – out drum*, pada PC – 401 diatur suhunya dari 200°C menjadi 100°C agar HCl berubah fase menjadi liquid, tetapi SO₃ dan H₂O tetap pada fase gas. Setelah itu, dimasukkan ke dalam KO – 401 untuk dipisahkan berdasarkan perbedaan fasa menggunakan prinsip gravitasi, dimana fase liquid yaitu HCl akan keluar pada bagian bawah dan fase gas yaitu SO₃ dan HCl akan keluar pada bagian atas. Selanjutnya SO₃ dan H₂O dilakukan pembakaran pada *flare*,

sedangkan HCl didinginkan kembali dengan *cooler* sampai suhu 35°C dan selanjutnya disimpan dalam tangki penyimpanan.

BAB III

SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

3.1 Spesifikasi Bahan Baku

3.1.1 Sodium Klorida (NaCl)

a. Sifat fisik (Perry, 1997)

- Rumus Molekul : NaCl
- Bentuk : Kristal atau bubuk
- Berat molekul : 58,44 g/mol
- Titik didih : 1413 °C
- Titik lebur : 800 °C
- *Specific gravity* : 2,163 (pada 20 oC)
- *Solubility, Cold Water* : 35,9 gr/100 gr H₂O (pada 25 °C)
- *Solubility, Hot Water* : 39,8 gr/100 gr H₂O (pada 100 °C)
- Kemurnian : 98,5%

b. Sifat kimia (Perry, 1997)

1. Sodium klorida merupakan senyawa higroskopis.
2. Kelarutan, larut dalam air dan gliserol tetapi tidak dalam alkohol.
3. Tidak mudah terbakar

3.1.2 Asam Sulfat (H₂SO₄)

a. Sifat fisik (Kirk, 1991)

- Fase : Cair
- Berat molekul : 98,94 g/mol
- Titik didih : 249 °C
- Titik lebur : 10 °C

- Specific Gravity : 1,84 (pada 25 °C)
 - Densitas : 1,84 g/L (pada 0 °C)
 - Kelarutan : Larut dalam air, terdekomposisi dalam etil alkohol 95%
 - Kemurnian : 98 % (2% H₂O)
- b. Sifat kimia (Kirk, 1998)
1. Asam Sulfat bersifat tidak mudah terbakar.
 2. Bersifat higroskopis pada kemurnian melebihi 98%.

3.2 Spesifikasi Produk

3.2.1 Produk Utama

3.2.1.1 Sodium Sulfat (Na₂SO₄)

- a. Sifat fisik (Perry, 1997)
- Bentuk (pada 25 °C) : Serbuk
 - Berat molekul : 142 g/mol
 - Titik didih : Terdekomposisi diatas 1100 °C
 - Titik leleh : 880-888 °C
 - Specific Gravity : 2,7 (pada 25 °C)
 - Kelarutan : 35,9 gr/100 mL air (pada 25 °C)
 - Kemurnian : 99 %

(Perry, 1997; Jinan Shijitongda Chemical Co Ltd., 2013; Nafine Chemical Industry Group Co Ltd., 2021)

- b. Sifat kimia (Perry, 1997)
1. Reaktivitas sodium sulfat lebih rendah dari suhu kamar dan suhu tinggi akan sangat reaktif

3.2.2 Produk Samping

3.2.2.1 Asam Klorida (HCl)

- a. Sifat fisik (Perry, 1997)
- Fase : Cair

- Berat molekul : 36,5 g/mol
- Titik didih : 110 °C
- Titik leleh : -70 °C
- Specific Gravity : 1,19
- Densitas : 1,5 g/L – Viskositas : 0,2389 (pada 0 °C)
- Kelarutan : 82,31/100 gr H₂O (pada 0 °C)

BAB X

SIMPULAN DAN SARAN

10.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Sodium Sulfat dari Sodium Klorida dan Asam Sulfat dengan kapasitas 75.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut :

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak adalah 32,80%.
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak adalah 2,85 tahun
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 41,58% dimana syarat umum pabrik di Indonesia adalah 20 – 60 % kapasitas produksi. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 21,86%, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 40,09%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini dari pada ke bank.

10.2 Saran

Pabrik Sodium Sulfat dari Sodium Klorida dan Asam Sulfat dengan kapasitas 75.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut baik dari segi proses maupun ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik, 2023, Statistic Indonesia, www.bps.go.id, Indonesia. Diakses 9 April 2023.
- Banchero, Julius T. and Walter L. Badger. 1988. Introduction to Chemical Engineering. McGraw Hill : New York.
- Bank Indonesia. 2023. Nilai Kurs. www.bi.go.id. Diakses 7 Juni 2023.
- Brannan, C.R. 2002. Rules of Thumb for Chemical Engineer. Gulf Publising, United States of America.
- Brown. G. George., 1950. Unit Operation 6ed . Wiley&Sons: USA.
- Brownell. L. E. and Young. E. H., 1959, Process Equipment Design 3ed, John Wiley & Sons, New York.
- Demaskusumo, R. V. 2022. Penentuan Status Mutu Sungai Bengawan Solo Dengan Metode Storet, Metode Indeks Pencemaran, Ccme Dan Bwqi Di Kabupaten Gresik. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 2019. Standar Kualitas Air Bersih.
- Engineering ToolBox. 2001. www.engineeringtoolbox.com
- Faith, W.L., Keyes, D.B and Clark, R.L. 1975. Industrial Chemistry. John Wiley and Sons. London.
- Fogler, H. Scott. 1992. Elements of Chemical Reaction Envigneering 2 nd edition. Prentice Hall International Inc. : United States of America.
- Foust, A. S., 1980, Principles of Unit Operation, 2nd edition, John Willey and Sons, New York.

- Geankoplis. Christie. J., 1993, Transport Processes and unit Operation 3th ed, Allyn & Bacon Inc, New Jersey.
- Hesse, H.C., & Rushton, J.H. 1959. Process Equipment Design. Von Nostrand Company Inc. New York
- Himmeblau. David., 1996, Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering, Prentice Hall Inc, New Jersey.
- J. M. and Ricardson. J. F., 1983, Chemical Engineering vol 6, Pergamon Press Inc, New York.
- Joshi, M.V. 1976. Process Equipment Design. New Delhi: Macmillan.
- Kern, Donald Q. 1965. Process Heat Transfer. Mcgraw-Hill Co, New York.
- Kirk, R. E. A. O., D. F. 1991. Wiley Inter Science Publisher Inc. Encyclopedia of Chemical Technology. New York.
- Matches. 1980. Matches' Engineering to Chemical Energy Manufacturing Metallurgical Industries. www.matche.com/about/default.html.
- McCabe. W. L. and Smith. J. C., 1985, Operasi Teknik Kimia, Erlangga, Jakarta.
- Megyesy. E. F., 1983, Pressure Vessel Handbook, Pressure Vessel Handbook Publishing Inc, USA.
- Ojeda Toro, J. C., Dobrosz-Gómez, I., & Gómez García, M. Á. (2015). Kinetic study on sodium sulfate synthesis by reactive crystallization. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 54(8), 2311–2316. <https://doi.org/10.1021/ie504763q>
- Perry, Robert H., and Don W. Green. 2008. Perry's Chemical Engineers' Handbook 8 th edition. McGraw Hill : New York.
- Peter. M. S. and Timmerhaus. K. D., 1991, Plant Design an Economic for Chemical Engineering 3ed, Mc Graww-Hill Book Company, New York.

- Powell, S. T., 1954, Water Conditioning for Industry, Mc Graw Hill Book Company, New York.
- Praveen, Verma. 2004. Cooling Water Treatment Handbook. Albatross Fine Chem Ltd., India. Rase. 1977. Chemical Reactor Design for Process Plant, Vol. 1st, Principles and Techniques. John Wiley and Sons : New York.
- Van Ness, and M.M. Abbott. 2001. Chemical Engineering Thermodynamics 6th edition. McGraw Hill : New York.
- Treyball. R. E. 1980. Mass Transfer Operation 3rd edition. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Twort, A. C., Ratnayaka, D. D., Brandt, M. J. 2000. Water Supply 5th edition. Butterworth-Heinemann : Oxford.
- Ulrich. G. D., 1984, A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. John Wiley & Sons Inc, New York.
- Ullman., 2012., "Ullman's Chemical Engineering and Plant Design", wiley & Sons Inc, New 124 York.
- UNData, C. 2020. Sodium Sulfate. www.comtrade.un.org/data/
- Walas, Stanley M. 1990. Chemical Process Equipment. Butterworth-Heinemann : Washington.
- Wibowo, H. P. E., Purnomo, T., & Ambarwati, R. 2014. Kualitas Perairan Sungai Bengawan Solo di Wilayah Kabupaten Bojonegoro Berdasarkan Indeks Keanekaragaman Plankton. Jurnal Lentera Bio, 3(3), 209-215.
- Wilson, E. T. 2005. Clarifier Design. Mc Graw Hill Book Company : London
- Yaws, C. L. 1999. Chemical Properties Handbook. Mc Graw Hill Book Co., New York.