

**LAPORAN SKRIPSI**  
**PRARANCANGAN PABRIK FERROSULFAT HEPTAHIDRAT**  
**DARI *PICKLING LIQUOR* DAN ASAM SULFAT**  
**KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN**



**Disusun Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Menyelesaikan**  
**Pendidikan Strata Satu Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik**  
**Universitas Setia Budi Surakarta**

**Oleh :**

**Sophia Devany Prajitna**

**21150280D**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SETIA BUDI**  
**SURAKARTA**  
**2020**

---

---

## LEMBAR PERSETUJUAN

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

**PRA RANCANGAN PABRIK FERROSULFAT HEPTAHIDRAT  
DARI PICKLING LIQUOR DAN ASAM SULFAT  
KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN**

**Oleh :  
Sophia Devany Prajitna  
21150280D**

Telah Disetujui Oleh Pembimbing  
Pada Tanggal, 4 September 2020

Pembimbing I



Ir. Petrus Darmawan, S.T., M.T.

NIS.01199905141068

Pembimbing II



Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng.

NIS.01199601032053

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Kimia



Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng.

NIS. 01201407261183

## LEMBAR PENGESAHAN

### LAPORAN TUGAS AKHIR

#### PRARANCANGAN PABRIK FERROSULFAT HEPTAHIDRAT DARI PICKLING LIQUOR DAN ASAM SULFAT KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN

Disusun Oleh :

**Sophia Devany Prajitna**

**21150280D**

Telah Dipertahankan Depan Tim Penguji

Pada Tanggal, 4 September 2020

Nama


Tanda Tangan

Penguji 1 : Ir. Argoto Mahayana, S. T., M.T.

Penguji 2 : Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng.

Penguji 3 : Dewi Astuti Herawati, S.T., M. Eng.

Penguji 4 : Petrus Darmawan, S.T., M.T.



Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi Teknik Kimia



Dr. Suseno, M.Si

NIS. 01199603011054



Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng.

NIS. 01201407261183

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

- ❧ Mimpi, Percaya, Dapatkan.
- ❧ “Wahai Tuhanku, lapangkanlah bagiku dadaku, dan mudahkanlah bagiku urusanku, dan lancarkanlah lidahku supaya mereka faham ucapanku” – Surah Taha : 25-28
- ❧ “Hai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan shalatmu sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah SWT beserta orang-orang yang sabar” – Al-Baqarah : 6-8
- ❧ “Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah” – Thomas Alva Edison

♥ **Terima kasihku untuk.....**

**Allah SWT** . segala puji syukur kupanjatkan hanya kepada-Mu. ( ...Atas segala tuntunanNya dan bersyukur aku menjadi hamba-Mu... semoga kami selalu terjaga dalam berkat-Mu...).

**Ibu dan Bapak tercinta**, ...(terima kasih untuk seluruh curahan kasih sayang, dukungan dan kepercayaannya selama ini...untuk perjuangan

panjangnya & tanggungjawab yang begitu besar...Kalian segalanya bagiku.... “Dua bijak pahlawan hidupku yang banyak mengajarku arti kehidupan, yang membantuku mewujudkan impian yang tidak pernah lekang oleh waktu, pemotivasi terbaik dalam hidupku, yang selalu menyelipkan namaku dalam setiap do’a dan pengharapan. Bapak dan Ibu tercinta, semoga tetesan butir-butir keringatmu terwujud sebagai keberhasilan dan kebahagiaanku”.....

**Pak Petrus dan Ibu Dewi,....**(terima kasih atas bimbingannya selama ini...baik untuk akademis maupun tugas akhir ini...)

**Pak Dion, Pak Argoto, Pak Indra, Pak Supriyono, Bu Happy, Bu Endah dan semua Dosen Tekkim USB...**(terimakasih atas masukan-masukannya, atas ilmu yang kalian berikan selama kuliah, atas kesediaan waktu untuk selalu mendengarkan keluh kesah kami )

**Untuk Yangti dan Yangkung, Om, Tante, Adik-Adikku, dan Saudara-Saudara ku Semua Keluarga,** terimakasih atas segala doa dan dukungannya, tanpa kalian aku bukan siapa – siapa, kalianlah penyemangatku.

**Untuk Dika Setiawan,** terimakasih atas segala doa dan dukungannya sampai di tahap ini. Terimakasih juga selalu menjadi penyemangat dan pendengar yang baik, mendorongku untuk pantang menyerah menyelesaikan segala masalah. Love You....

**Untuk sahabat tergilaku (Eggo, Lidya, Reni, Firda, Tata, Hanung, dan Yuda)** ....(aku tidak mungkin sampai dititik ini tanpa dukungan, bantuan dan doa kalian...)

**Semua Teman-teman seperjuangan TEKKIM USB 2015...**(Ayo Semangat untuk cepat lulus....kita pasti bisa melewati semuanya teman...)

**Buat semua pihak yang telah membantu...**terima kasih atas bantuannya...maafkan saya tidak dapat disebutkan satu per satu....

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat hidayah dan petunjuknya-Nya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir prarancangan pabrik kimia ini dengan baik.

Judul Tugas Akhir ini adalah Prarancangan Pabrik Ferrosulfat Heptahidrat dari *Pickling Liquor* dan Asam Asetat Kapasitas 30.000 Ton/Tahun. Tugas Prarancangan Pabrik Kimia merupakan tugas akhir yang harus diselesaikan oleh setiap mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi Surakarta sebagai prasyarat untuk menyelesaikan jenjang studi sarjana. Dengan tugas ini diharapkan kemampuan penalaran dan penerapan teori-teori yang telah diperoleh selama kuliah dapat berkembang dan dapat dipahami dengan baik.

Penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Melalui laporan ini penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Djoni Tarigan, MBA., selaku Rektor Universitas Setia Budi Surakarta.
2. Dr. Suseno, M.Si., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta.
3. Ir. Petrus Darmawan, S.T.,M.T., selaku pembimbing I yang dengan kesabarannya telah memberikan bimbingan dan nasehat kepada penulis sehingga dapat terselesainya tugas akhir ini.
4. Ir. Dewi Astuti H, ST., M.Eng., selaku pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan nasehat sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini.
5. Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi Surakarta.
6. Ir. Argoto Mahayana, S.T.,M.T. dan Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng., selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk menguji hasil laporan tugas akhir ini.

7. Bapak dan Ibu dosen jurusan teknik kimia atas ilmu dan bimbingannya selama kuliah.
8. Serta semua yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, untuk itu saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan. Dan semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak.

Surakarta, 8 Agustus 2020

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>INTISARI</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Kapasitas Rancangan.....	2
1.3 Penentuan Lokasi Pabrik .....	6
1.4 Macam-Macam Proses .....	11
1.5 Manfaat Ferrosulfat Heptahidrat.....	13
1.6 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku dan Produk .....	13
1.7 Tinjauan Proses Secara Umum.....	15
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Spesifikasi Bahan Baku.....	21
2.2 Spesifikasi Bahan Pembantu.....	21
2.3 Spesifikasi Produk .....	22
<b>BAB III DESKRIPSI PROSES</b>	
3.1 Langkah Proses.....	23
3.2 Diagram Alir Proses .....	26
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS</b>	
4.1 Neraca Massa.....	28
4.2 Neraca Panas.....	32
<b>BAB V SPESIFIKASI ALAT</b>	
5.1 Tangki Penyimpanan <i>Pickling Liquor</i> .....	43
5.2 Tangki Penyimpanan $H_2SO_4$ .....	43
5.3 Silo Penyimpanan $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ .....	44
5.4 <i>Mixer</i> .....	44
5.5 Reaktor.....	45
5.6 <i>Evaporator</i> .....	46
5.7 Kristalizer .....	47

---

5.8	<i>Centrifuge</i> .....	48	
5.9	<i>Rotary Dryer</i> .....	48	
5.10	<i>Cyclone</i> .....	49	
5.11	<i>Heater Udara</i> .....	49	
5.12	<i>Heater 1</i> .....	50	
5.13	<i>Heater 2</i> .....	51	
5.14	<i>Heater 3</i> .....	51	
5.15	<i>Cooler</i> .....	52	
5.16	<i>Blower</i> .....	52	
5.17	<i>Screw Conveyor</i> .....	53	
5.18	<i>Belt Conveyor</i> .....	53	
5.19	<i>Cooling Conveyor</i> .....	54	
5.20	<i>Bucket Elevator</i> .....	54	
5.21	Pompa-01.....	55	
5.22	Pompa-02.....	55	
5.23	Pompa-03.....	56	
5.24	Pompa-04.....	56	
5.25	Pompa-05.....	57	
5.26	Pompa-06.....	57	
5.27	Pompa-07.....	58	
5.28	Pompa-08.....	58	
<b>BAB VI UTILITAS</b>			
6.1	Unit Pendukung Proses.....	60	
6.2	Unit Pengadaan Listrik.....	67	
6.3	Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	70	
6.4	Unit Penyediaan Udara Tekan.....	70	
6.5	Unit Pengolahan Limbah.....	71	
6.6	Laboratorium.....	71	
6.7	Kesehatan dan Keselamatan Kerja.....	73	
6.8	Alat-alat Utilitas.....	74	
<b>BAB VII ORGANISASI DAN TATA LETAK PABRIK</b>			
7.1	Bentuk Perusahaan.....	86	
7.2	Struktur Organisasi.....	87	
7.3	Sistem Kepegawaian dan Sistem Gaji.....	92	
7.4	Kesejahteraan Karyawan.....	98	
7.5	Manajemen Produksi.....	100	
7.6	Tata Letak Pabrik.....	102	
7.7	Tata Letak Peralatan.....	107	
<b>BAB VIII EVALUASI EKONOMI</b>			
8.1	Perhitungan Biaya.....	113	
8.2	<i>Total Fixed Capital Investment</i> .....	115	
8.3	<i>Working Capital</i> .....	116	
8.4	<i>Manufacturing Cost</i> .....	116	
8.5	<i>General Expenses</i> .....	117	
8.6	Analisis Ekonomi.....	117	
<b>BAB IX KESIMPULAN</b> .....			122

---

**DAFTAR PUSTAKA** ..... 123

**LAMPIRAN**

---

---

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 1.</b> Data Impor Ferrosulfat Heptahidrat.....	2
<b>Tabel 2.</b> Data Import Ferrosulfat Heptahidrat di China .....	3
<b>Tabel 3.</b> Data Import Ferrosulfat Heptahidrat di Amerika .....	4
<b>Tabel 4</b> Data Import Ferrosulfat Heptahidrat di India.....	4
<b>Tabel 5.</b> Daftar Produksi Industri Ferrosulfat Heptahidrat di Dunia.....	5
<b>Tabel 6.</b> Konsumen Ferrosulfat Heptahidrat di Jawa Timur .....	8
<b>Tabel 7.</b> Kelemahan dan Kelebihan Pembuatan Ferrosulfat Heptahidrat.....	12
<b>Tabel 8.</b> Data Panas Pembentukan dari Reaksi.....	16
<b>Tabel 9.</b> Data Cp dari Reaksi .....	17
<b>Tabel 10.</b> Data $\Delta G_f$ Komponen Reaksi .....	18
<b>Tabel 11.</b> Neraca Massa disekitar <i>Mixer</i> .....	29
<b>Tabel 12.</b> Neraca Massa disekitar Reaktor.....	29
<b>Tabel 13.</b> Neraca Massa disekitar <i>Evaporator</i> .....	29
<b>Tabel 14.</b> Neraca Massa disekitar Kristalizer .....	30
<b>Tabel 15.</b> Neraca Massa disekitar <i>Centrifuge</i> .....	30
<b>Tabel 16.</b> Neraca Massa disekitar <i>Rotary Dryer</i> .....	31
<b>Tabel 17.</b> Neraca Massa disekitar <i>Cyclone</i> .....	31
<b>Tabel 18.</b> Konstanta Kapasitas Panas .....	32
<b>Tabel 19.</b> Data Kapasitas Panas Masing-Masing Komponen .....	34
<b>Tabel 20.</b> Data Kapasitas Panas Masing-Masing Komponen .....	35
<b>Tabel 21.</b> Neraca Panas disekitar <i>Mixer</i> .....	36
<b>Tabel 22.</b> Neraca Panas disekitar <i>Heater Mixer</i> .....	36
<b>Tabel 23.</b> Neraca Panas disekitar <i>Heater Pickling Liquor</i> .....	37
<b>Tabel 24.</b> Neraca Panas disekitar Reaktor .....	37
<b>Tabel 25.</b> Neraca Panas disekitar <i>Heater Keluar Reaktor</i> .....	38
<b>Tabel 26.</b> Neraca Panas disekitar <i>Evaporator</i> .....	38
<b>Tabel 27.</b> Neraca Panas disekitar Kondensor.....	39

---

<b>Tabel 28.</b> Neraca Panas disekitar <i>Cooler</i> .....	39
<b>Tabel 29.</b> Neraca Panas disekitar Kristalizer .....	39
<b>Tabel 30.</b> Neraca Panas disekitar <i>Centrifuge</i> .....	40
<b>Tabel 31.</b> Neraca Panas disekitar <i>Rotary Dryer</i> .....	40
<b>Tabel 32.</b> Neraca Panas disekitar <i>Cyclone</i> .....	41
<b>Tabel 33.</b> Neraca Panas disekitar <i>Heater</i> Udara .....	41
<b>Tabel 34.</b> Neraca Panas disekitar <i>Cooling Conveyor</i> .....	42
<b>Tabel 35.</b> Kebutuhan Air Proses.....	61
<b>Tabel 36.</b> Kebutuhan Air Pendingin 30°C.....	62
<b>Tabel 37.</b> Kebutuhan Air Sanitasi.....	63
<b>Tabel 38.</b> Keptuhan Air untuk <i>Steam</i> .....	64
<b>Tabel 39.</b> Kebutuhan Air <i>Make Up</i> .....	64
<b>Tabel 40.</b> Konsumsi Listrik untuk Keperluan Proses .....	67
<b>Tabel 41.</b> Konsumsi Listrik untuk Keperluan Utilitas.....	68
<b>Tabel 42.</b> Gaji Pegawai.....	93
<b>Tabel 43.</b> Pembagian <i>Shift</i> Karyawan.....	97
<b>Tabel 44.</b> Luas Bangunan Pabrik.....	104
<b>Tabel 45.</b> <i>Cost Index Chemical Plant</i> .....	112
<b>Tabel 46.</b> <i>Total Fixed Capital Investment</i> .....	115
<b>Tabel 47.</b> <i>Working Capital</i> .....	116
<b>Tabel 48.</b> <i>Manufacturing Cost</i> .....	116
<b>Tabel 49.</b> <i>General Expenses</i> .....	117
<b>Tabel 50.</b> <i>Fixed Cost</i> .....	119
<b>Tabel 51.</b> <i>Variable Cost</i> .....	119
<b>Tabel 52.</b> <i>Regulated Cost</i> .....	119
<b>Tabel 53.</b> Analisis Kelayakan Ekonomi.....	122

---

---

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 1.</b> Grafik Kebutuhan Impor Ferrosulfat Heptahidrat .....	3
<b>Gambar 2.</b> Peta Lokasi Wilayah KIG, Jawa Timur .....	7
<b>Gambar 3.</b> Peta Lokasi KIG Berdasarkan Google Earth.....	7
<b>Gambar 4.</b> Diagram Alir Kuantitatif.....	26
<b>Gambar 5.</b> Diagram Alir Kualitatif.....	27
<b>Gambar 6.</b> Pengolahan Air Utilitas.....	85
<b>Gambar 7.</b> Struktur Organisasi Industri.....	99
<b>Gambar 8.</b> Tata Letak Pabrik .....	106
<b>Gambar 9.</b> Tata Letak Peralatan Pabrik .....	110
<b>Gambar 10.</b> Grafik Hubungan Tahun dengan <i>Cost Index</i> .....	112
<b>Gambar 11.</b> Grafik Analisis Ekonomi .....	120

---

---

## INTISARI

Prarancangan pabrik Ferrosulfat Heptahidrat dari *pickling liquor* dan asam sulfat memberikan prospek yang sangat cerah dalam dunia perindustrian mengingat belum adanya pabrik yang memproduksi di Indonesia. Pabrik tersebut direncanakan beroperasi selama 330 hari/tahun diatas area sebesar 17.620 m<sup>2</sup> yang akan didirikan pada tahun 2024, lokasi pabrik berada di Kawasan Industri Gresik (KIG), Jawa Timur yang berdekatan dengan PT. Gunawan Dian Jaya Steel Crop dan PT. Petrokimia Gresik sebagai penyedia bahan baku utama. Pabrik ini beroperasi dengan kapasitas 30.000 ton/tahun, dengan pertimbangan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri.

Proses pembuatan Ferrosulfat Heptahidrat berlangsung pada fase cair dengan menggunakan reaktor tangki berpengaduk (RTB) dengan kondisi tekanan 1 atm, suhu 85°C. Reaksi berlangsung secara *endothermic*, *irreversible*, dan *non adiabatic*. Kebutuhan *Pickling Liquor* sebesar 4.046,1981 kg/jam, dan Asam Sulfat sebesar 5.507,4261 kg/jam. Produk berupa Ferrosulfat Heptahidrat sebesar 3.787,8788 kg/jam. Untuk menunjang proses produksi, maka didirikan unit pendukung yaitu unit penyediaan air *start up* sebesar 9.448,4752 kg/jam dan *make up* sebesar 1.696,6078 kg/jam. Kebutuhan listrik diperoleh dari PLN dan *generator set* sebesar 400 kW sebagai cadangan, bahan bakar solar total sebanyak 0,0498 m<sup>3</sup>/jam dan udara tekan sebesar 50 m<sup>3</sup>/jam.

Dari analisa ekonomi yang dilakukan terhadap pabrik ini dengan modal tetap (FCI) Rp 438.298.944.110 dan modal kerja Rp 84.352.403.033. Keuntungan sebelum pajak Rp 34.267.115.275 pertahun setelah dipotong pajak sebesar 30% keuntungan mencapai Rp 23.986.980.692 pertahun. *Return On Investment* (ROI) sebelum pajak 7,818% dan setelah pajak 5,473%, *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak adalah 5,6122 tahun dan setelah pajak 6,4630 tahun. *Break Even Point* (BEP) sebesar 56,984%, *Shut Down Point* (SDP) sebesar 11,681% dan *Discounted Cash Flow* (DCF) sebesar 7,875%. Dari data analisis kelayakan diatas dapat disimpulkan bahwa pabrik ini menguntungkan dan layak didirikan.

Kata kunci : Ferrosulfat Heptahidrat, *pickling liquor*, RTB.

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini pertumbuhan industri di Indonesia menunjukkan kemajuan yang sangat pesat, terlihat dengan bertambahnya jumlah pabrik yang menghasilkan zat kimia maupun meningkatnya kebutuhan akan zat kimia di pasaran. Keberadaan industri – industri yang ada memegang peranan yang sangat penting pada sektor perekonomian di negara kita. Namun disisi lain industri dapat menimbulkan limbah yang dapat merusak ekologi lingkungan. Oleh karena itu teknologi pengolahan limbah disarankan untuk mengurangi polusi dan pemanfaatan limbah lanjut untuk diolah menjadi produk yang berguna dan bermanfaat.

*Pickling liquor* yang merupakan produk samping dari industri baja mempunyai kandungan  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{HCl}$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Untuk mengurangi volume limbah dari industri baja, dilakukan pengolahan terhadap *pickling liquor*. Kandungan  $\text{FeCl}_2$  pada *pickling liquor* merupakan bahan baku pembuatan ferrosulfat heptahidrat ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Tetapi terlebih dahulu harus dilakukan proses pemisahan dari  $\text{HCl}$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Proses pengerolan ulang baja lembaran panas secara kimia di *Cold Rolling Mill* produk yang dihasilkan yaitu baja lembaran dingin dengan limbah yang bernama *Waste Pickle Liquor (WPL)*.

Kegunaan dari ferrosulfat dalam dunia kesehatan yakni sebagai bahan utama pembuatan tablet besi untuk obat penambah darah pada industri obat-obatan dengan menerapkan sistem manajemen mutu ISO-9001:2008 dan ISO 14001. Dikarenakan bahan baku yang berasal dari limbah maka fungsi lain dari ferrosulfat heptahidrat yaitu sebagai koagulan untuk menurunkan kandungan tembaga dalam pada proses pengolahan limbah cair industri menurut Poedji dkk., (2009). Pada industri tekstil, ferrosulfat berfungsi sebagai zat fiksator (pengunci) pada proses pewarnaan kain batik agar diperoleh warna coklat tua.



Industri ferrosulfat heptahidrat merupakan industri penunjang untuk industri lain, bermutu, bernilai tinggi, dan padat ketrampilan serta padat teknologi. Dalam perdagangan ferrosulfat heptahidrat dikenal dengan nama *copperas*. Hampir semua industri yang menggunakan ferrosulfat heptahidrat sebagai bahan baku utama maupun bahan pendamping namun selama ini masih selalu mengimpor dari luar negeri. Padahal kebutuhan dalam negeri sangat banyak tetapi belum ada pabrik lokal yang memproduksi ferrosulfat heptahidrat. Oleh karena itu perlu didirikan pabrik ferrosulfat heptahidrat yang diharapkan dapat menjadi solusi pemenuhan kebutuhan ferrosulfat heptahidrat di dalam negeri sehingga tidak diperlukan mengimpor dari luar negeri lagi, dan mengurangi pencemaran limbah pabrik baja

## 1.2 Penentuan Kapasitas Rancangan

Kapasitas produksi dapat diartikan sebagai jumlah maksimum *output* yang dapat diproduksi dalam satuan waktu tertentu. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi dalam pemilihan kapasitas pabrik ferrosulfat heptahidrat, antara lain :

### 1.2.1 Kebutuhan ferrosulfat heptahidrat di Indonesia

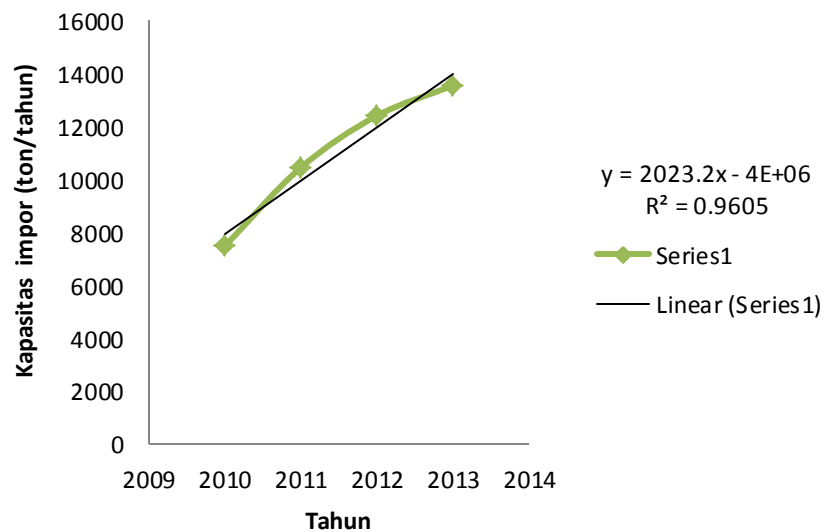
Kebutuhan ferrosulfat heptahidrat dalam negeri terus meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan akan ferrosulfat heptahidrat sampai saat ini harus melalui impor dari luar negeri. Kapasitas impor kebutuhan ferrosulfat heptahidrat dalam negeri dapat di lihat pada tabel berikut :

**Tabel 1. Data Impor Ferrosulfat Heptahidrat**

No	Tahun	Impor (ton/tahun)
1	2010	7447,655
2	2011	10424,747
3	2012	12391,583
4	2013	13536,176

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2013)

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa kebutuhan ferrosulfat heptahidrat setiap tahunnya mengalami kenaikan. Maka dari itu, kebutuhan impor ferrosulfat heptahidrat di Indonesia pada tahun 2024 dapat dinyatakan pada gambar di bawah ini menggunakan cara regresi linier menggunakan data pada tabel 1, berikut regresi linier untuk data impor :



**Gambar 1. Grafik Kebutuhan Impor Ferrosulfat Heptahidrat**

Dari gambar 1 diperoleh persamaan  $y = 2023,2x - 4E+06$ , sehingga untuk tahun 2024 diperkirakan kebutuhan ferrosulfat heptahidrat 36240,539 ton/tahun.

### 1.2.2 Kebutuhan impor ferrosulfat heptahidrat di beberapa negara

Selain di Indonesia, ferrosulfat heptahidrat juga banyak digunakan negara-negara lain sebagai bahan baku industri. Berikut data beberapa negara yang mengimpor ferrosulfat heptahidrat :

❖ China

**Tabel 2. Data Import Ferrosulfat Heptahidrat di China**

No	Tahun	Impor (ton/tahun)
1	2013	427

2	2014	617
3	2015	1011,7
4	2016	2089

(Sumber: <https://www.zauba.com/>)

❖ Amerika

**Tabel 3. Data Import Ferrosulfat Heptahidrat di Amerika**

No	Tahun	Impor (ton/tahun)
1	2012	5245.44
2	2013	1011,689
3	2014	26541.702
4	2015	8088,251
5	2016	17126,331
6	2017	12305,585
7	2018	13105,089
8	2019	13511,855

(Sumber: <https://www.zauba.com/>)

❖ India

**Tabel 4. Data Import Ferrosulfat Heptahidrat di India**

No	Tahun	Impor (ton/tahun)
1	2015	1069.853
2	2016	1570,137

(Sumber: <http://www.cybex.in>)

### 1.2.3 Ketersediaan bahan baku

Bahan baku pembuatan ferrosulfat heptahidrat adalah *pickling liquor* yang dapat diperoleh dari PT Gunawan Dian Jaya Steel, Surabaya dengan kapasitas 400.000 ton/tahun di daerah Gresik, Jawa Timur. PT Gunawan Dian Jaya adalah industri yang bergerak dalam proses produksi penghasil plat baja yang menghasilkan *waste pickle liquor*. Sedangkan bahan baku asam sulfat dapat diperoleh dari PT Petrokimia Gresik, Jawa Timur dengan kapasitas 50.000 ton/tahun dan PT Smelting, Gresik

dengan kapasitas 920.000 ton/tahun. PT Smelting adalah industri yang memproduksi *gypsum*, telluride tembaga, dan asam sulfat. Begitu pula PT Petrokimia Gresik adalah industri yang memproduksi asam sulfat sebagai salah bahan baku pembuatan ferrosulfat heptahidrat.

#### 1.2.4 Kapasitas komersial

Untuk mencukupi kebutuhan ferrosulfat heptahidrat di dalam negeri, maka Indonesia memerlukan impor dari luar negeri. berikut ini beberapa daftar industri produksi ferrosulfat heptahidrat di dunia yang sudah beroperasi :

**Tabel 5. Daftar Produksi Industri  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  di Dunia**

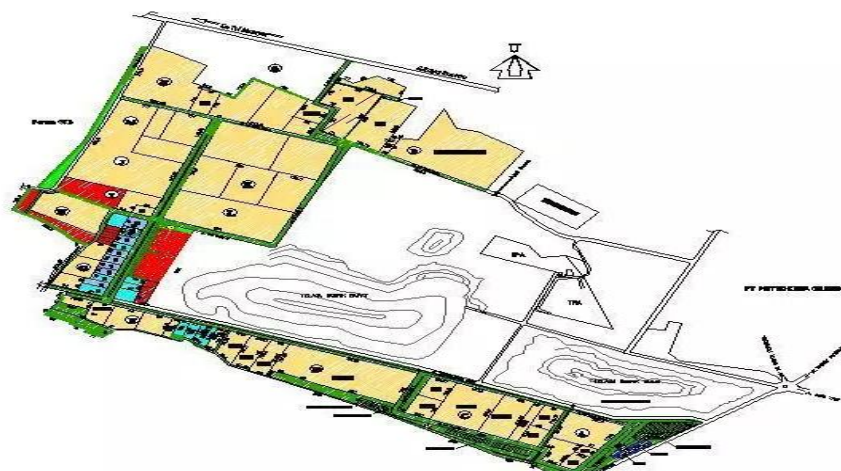
Nama Industri	Asal Industri	Kapasitas Produksi (ton/tahun)
Add-Iron Corporation ( <a href="http://www.qccorporation.com">http://www.qccorporation.com</a> )	North Lima, Ohio, USA	10.000
Crown Technology ( <a href="http://www.crowntech.com">http://www.crowntech.com</a> )	Indianapolis, Indiana, USA	21.000
Hengyang Tian Xin Chemical Industrial Co., Ltd ( <a href="http://www.made-in-China.com/manufacturers/5.html">http://www.made-in-China.com/manufacturers/5.html</a> )	Hunan, China	25.000
Anshan Xinxingda Mineral Substance Co., Ltd ( <a href="http://www.made-in-China.com/manufacturers/5.html">http://www.made-in-China.com/manufacturers/5.html</a> )	Liaoning, China	10.000
Mineral King Minerals ( <a href="https://www.manta.com/c/mm515pt/mineral-king-minerals-inc">https://www.manta.com/c/mm515pt/mineral-king-minerals-inc</a> )	Hanford, California	25.000
QC Corporation	Cape Girardeau,	45.000

<p>(<a href="https://www.vlsci.com/product/diamond-brand-ferrous-sulfate">https://www.vlsci.com/product/diamond-brand-ferrous-sulfate</a>)</p> <p>SEM Minerals</p> <p>(<a href="https://www.seminerals.com/sem-minerals--l.p.html">https://www.seminerals.com/sem-minerals--l.p.html</a>)</p>	<p>Missouri, German</p> <p>Gardner Expy, Quincy, IL, USA</p>	<p>18.000</p>
---	--	---------------

Berdasarkan tabel 5 data industri produksi ferrosulfat heptahidrat yang telah ada dan data impor dari badan pusat statistik, maka kapasitas prarancangan pabrik ferrosulfat heptahidrat dari *pickling liquor* dan asam sulfat adalah 28.000 ton/tahun dan akan didirikan pada tahun 2024, dengan harapan adanya pembangunan pabrik ini dapat mengurangi impor ferrosulfat heptahidrat di Indonesia.

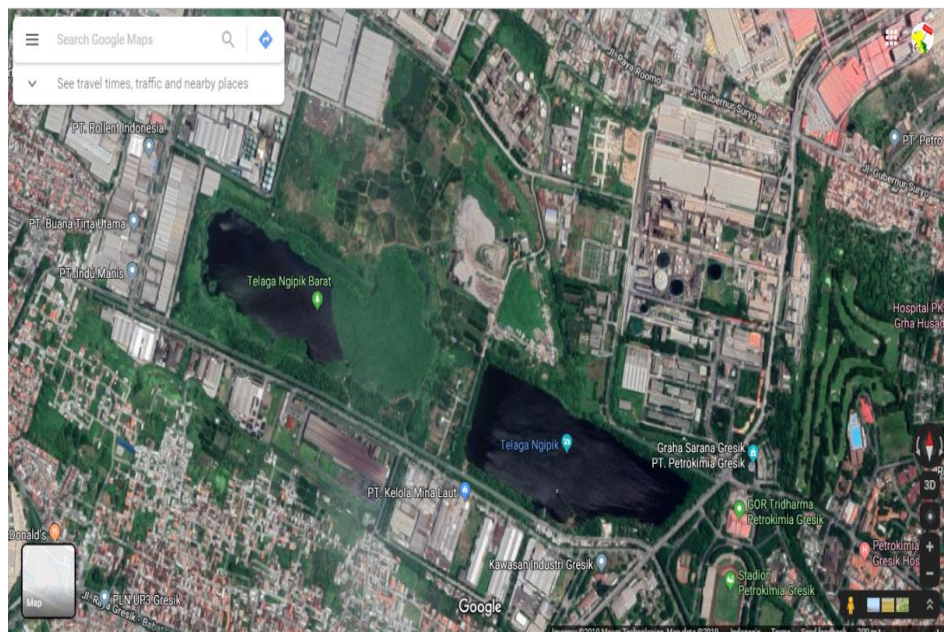
### 1.3 Lokasi Pabrik

Letak geografis suatu pabrik memberikan pengaruh yang besar terhadap suksesnya usaha. Oleh karena itu dalam pemilihan lokasi pabrik dibutuhkan pertimbangan - pertimbangan yang didasarkan pada berbagai faktor baik dari segi ekonomis maupun teknis. Untuk itu sebelum pabrik berdiri perlu dilakukan studi kelayakan untuk mempertimbangkan faktor - faktor penunjang yang mendukung kelangsungan pabrik tersebut. Pabrik ferrosulfat heptahidrat dari *pickling liquor* dan asam sulfat ini direncanakan akan didirikan di daerah Gresik, Jawa Timur. Berikut ini gambar lokasi perencanaan pabrik akan didirikan berdasarkan KIG (Kawasan Industri Gresik) dan Kementerian Perindustrian :



**Gambar 2. Peta Lokasi Wilayah KIG, Jawa Timur**

(Sumber : <https://www.kig.co.id/id/gresik/peta-gresik/>)



**Gambar 3. Peta Lokasi KIG Berdasarkan Google Earth**

([www.google.com/earth/](http://www.google.com/earth/))

Adapun pemilihan lokasi tersebut berdasarkan faktor – faktor berikut :

### 1.3.1 Faktor primer

#### a. Penyediaan bahan baku

Lokasi pabrik dipilih mendekati sumber bahan baku untuk mengurangi biaya transportasi dan kehilangan bahan baku dalam transportasi. Bahan baku *pickling liquor* diperoleh dari PT Gunawan Dian Jaya Steel, Gresik, Jawa Timur. Sedangkan bahan baku asam sulfat diperoleh dari PT Petrokimia Gresik dan PT Smelting, Gresik, Jawa Timur.

b. Penyediaan utilitas

Sarana utilitas utama yang diperlukan bagi kelancaran proses produksi agar dapat berkesinambungan dan berproduksi adalah air, tenaga listrik, penyediaan uap dan udara tekan. Kebutuhan air dapat diperoleh dari sungai Brantas yang memiliki debit besar dengan fluktuasi antara musim kemarau dan hujan yang relatif kecil atau dapat diperoleh dari air tanah. Sedangkan listrik dapat diperoleh dari PLN dan generator sebagai cadangan bila PLN ada gangguan.

Gresik adalah daerah yang mempunyai prospek yang baik sebagai daerah pengembangan industri dan tidak sedikit industri yang berdiri, sehingga kebutuhan listrik dan bahan bakar tidak menjadi masalah.

c. Pemasaran produk

Faktor yang perlu diperhatikan adalah letak daerah pabrik yang membutuhkan ferrosulfat heptahidrat, di daerah Gresik adalah tempat yang cukup strategis untuk memasarkan produknya karena terdapat pabrik - pabrik yang membutuhkan ferrosulfat heptahidrat di daerah tersebut.

**Tabel 6. Konsumen Ferrosulfat Heptahidrat di Jawa Timur**

Nama Industri	Asal Industri	Produk	Fungsi Ferrosulfat Heptahidrat
PT Tekstil Kasrie	Pasuruan, Jawa Timur	Tekstil	Sebagai zat fiksator (pengunci) dalam proses pewarnaan kain menjadi warna coklat tua
PT Colorpak	Sidoarjo, Jawa	Tinta	Bahan pengental

Indonesia, Tbk	Timur		tinta
			Bahan tambahan
PT Panjimas Textile	Dusun Iopang, Driyorejo, Gresik	Benang	pada proses pewarnaan benang
PT Semen Gresik, Tbk.	Tuban Barat, Tlogobendung, Gresik	Semen	Proses hidrasi semen
PT Intimas Wisesa	Surabaya, Jawa Timur	Tinta Cetak	Bahan pengental tinta

<http://www.pabrik-berbahan-baku-ferro-sulfat/html>

d. Sarana transportasi

Sarana dan prasarana transportasi sangat diperlukan dalam proses penyediaan bahan baku dan pemasaran produk. Dengan sarana fasilitas jalan raya, rel kereta api dan pelabuhan laut yang memadai maka dimungkinkan pemilihan lokasi di Gresik sudah tepat.

e. Tenaga Kerja

Gresik adalah daerah industri dengan kepadatan penduduk yang tinggi sehingga menjamin ketersediaan akan tenaga kerja yang terampil dan murah. Namun ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu kuantitas tenaga kerja yang tersedia, kualitas tenaga kerja, besar upah minimum, jam kerja perminggu serta keahlian dan produktifitas kerja. Dan didirikannya pabrik ferrosulfat heptahidrat diharapkan akan mampu menyerap tenaga kerja dan menunjang program pemerintah untuk mengurangi angka pengangguran.

### 1.3.2 Faktor sekunder

a. Karakteristik lokasi



Gresik memiliki karakter iklim yang relatif mendukung karena merupakan daerah non rawan banjir, serta memiliki kondisi sosial masyarakat yang baik.

b. Kawasan industri

Gresik merupakan kawasan industri sehingga akomodasi keperluan kelangsungan proses produksi telah tersedia dengan baik, seperti : lingkungan, energi, sarana transportasi, dan sosial.

c. Harga tanah dan bangunan

Harga tanah dan bangunan yang masih terjangkau di daerah Gresik merupakan daya tarik tersendiri bagi investor meskipun sudah berada di wilayah industri. Dan letaknya yang strategis juga menjadi daya tarik investor.

d. Kebijakan pemerintahan

Pendirian pabrik perlu mempertimbangkan faktor kepentingan pemerintah yang terkait di dalamnya. Kebijakan pengembangan industri dan hubungannya dengan pemerataan kesempatan kerja serta hasil - hasil pembangunan. Selain itu pabrik yang didirikan harus berwawasan lingkungan yang artinya keberadaan pabrik tersebut tidak mengganggu atau merusak lingkungan sekitarnya seperti yang telah dijelaskan di Peraturan Pemerintah Nomor 24 tahun 2009 tentang kawasan industri.

e. Peraturan daerah

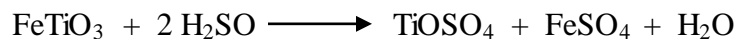
Menurut peraturan daerah kabupaten Gresik No. 8 Tahun 2011 tentang rencana tata ruang wilayah kabupaten Gresik tahun 2010 - 2030 mengenai kebijakan kawasan peruntukan industri sebagaimana dimaksud dalam pasal 25 huruf e, berupa pengembangan kawasan peruntukan industri. Dan telah disediakan  $\pm$  200 hektar untuk kawasan industri.

#### 1.4 Macam-Macam Proses Pembuatan Ferrosulfat Heptahidrat

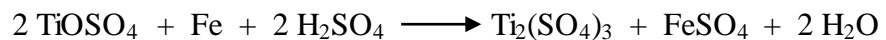
Proses pembuatan ferrosulfat heptahidrat dapat dilakukan dengan dua macam proses yaitu :

##### 1. Hasil Samping Pembuatan Titanium Dioksida

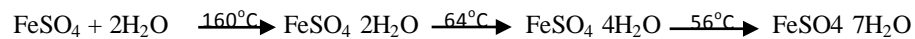
Pada proses ini konsentrat elemenit direaksikan dengan asam sulfat 80 – 90%. Operasi ini dapat dilakukan secara kontinyu atau batch. Pada suhu 160 °C terjadi reaksi eksoterm. Reaksi yang terjadi :



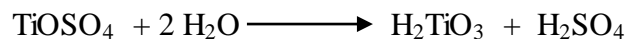
Untuk mengurangi kandungan asam ditambahkan besi ke dalam larutan. Reaksi yang terjadi yaitu :



Setelah dilakukan pendinginan terjadi endapan ferrosulfat berbentuk kristal. Perubahan struktur karena pendinginan adalah :



Titanium sulfat berubah kembali menjadi asam metatitanic dan mengendap dengan penambahan air. Reaksi yang terjadi :



Endapan dibakar untuk menghilangkan air dan residu SO<sub>3</sub>. Pembakaran dilakukan diatas suhu 950 °C dan akan menghasilkan titanium dioksida, TiO<sub>2</sub>. (Sumber : Kirk & Othmer, 1997)

##### 2. Proses *Steel-Pickling*

Proses pembentukan ferrosulfat heptahidrat dari *pickling liquor* dan asam sulfat dilakukan dalam reaktor tangki berpengaduk beroperasi pada temperature 85 °C. Kondisi operasi dijaga pada temperature 85 °C, agar tidak terjadi oksidasi ferrousulfat menjadi ferrisulfat. Waktu reaksi yang dibutuhkan selama 4 jam (Sumber : US 0281732). Tekanan operasi sebesar 1 atm, karena pada tekanan ini sudah bisa menghasilkan produk dengan kenaikan tekanan tidak berpengaruh. Pada kondisi ini kemurnian produk yang dihasilkan sebesar 98 % berat. Kemudian hasil reaksi di reaktor dipekatkan dalam evaporator. Konsentrasi keluar dari evaporator dialirkan ke pendingin untuk

didinginkan pada suhu kamar.  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dikristalisasi. Dengan pendinginan kristalisasi berlangsung selama 4-9 jam. Kristal disaring dan larutan induk dikembalikan ke evaporator. Kristal akan pecah dan disaring, kemudian dikeringkan dengan udara panas dalam *rotary dryer*. (Sumber : Patent, 0281732)

**Tabel 7. Kelemahan dan Kelebihan Pembuatan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$**

No	Proses	Kelebihan	Kelemahan
1.	Hasil Samping Pembuatan Titanium Dioksida	Operasi dapat dilakukan secara kontinyu dan batch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membutuhkan pengontrol yang tepat karena reaksi terjadi pada temperatur yang relatif tinggi</li> <li>• Proses lebih rumit dan tidak efisien</li> </ul>
2	Proses <i>Steel-Pickling</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bahan baku dari limbah pabrik baja, bahan bakunya lebih terjangkau</li> <li>• Pemanfaatan limbah pickling liquor berarti mengurangi pencemaran lingkungan.</li> <li>• Konversi yang dihasilkan mencapai 93%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operasi dilakukan secara kontinyu</li> <li>• Bahan baku diperoleh hanya dari limbah baja, sehingga kemungkinan diperoleh terbatas</li> </ul>

<https://digilib.uns.ac.id>

Dari tabel diatas, maka pada prarancangan ini menggunakan proses *steel – pickling*.

### 1.5 Manfaat Ferrosulfat Heptahidrat

Kegunaan ferrosulfat heptahidrat antara lain :

1. *Water treatment*

Ferrosulfat heptahidrat digunakan sebagai koagulan, menghasilkan flok yang berat dan cepat mengendap

2. Pembuatan Tinta Ceta

Ferrosulfat heptahidrat digunakan sebagai pengental tinta.

3. Industri tekstil

Ferrosulfat heptahidrat digunakan untuk proses pencampuran warna tekstil.

4. Garam ferrosulfat heptahidrat

Ferrosulfat heptahidrat digunakan untuk menentukan air kristal dalam garam mohr hasil sintesa.

5. *Iron oxide pigment*

Ferrosulfat heptahidrat digunakan sebagai bahan baku produksi *iron oxide pigment*.

## 1.6 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku, Produk dan Bahan Pembantu

### A. Bahan baku

1. *Pickling liquor*

*Pickling liquor* mempunyai kandungan  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ . Dimana yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  adalah  $\text{FeCl}_2$ . Berikut ini sifat fisika dan sifat kimia  $\text{FeCl}_2$  :

- Sifat-sifat fisika :

- Berat molekul : 126,751 g/mol
- Fase : cair
- Warna : gelap

(PT. Gunawan Dian Jaya Steel)

- Sifat-sifat kimia :

- Dapat bereaksi dengan cepat, stabil, mudah, aman, dan efektif
- Larut dalam air, alkohol, dan acetone

- Sangat baik sebagai koagulan

([www.alibaba.com](http://www.alibaba.com))

## 2. Asam sulfat

Asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) sebagai bahan baku pembuatan  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ . Berikut ini sifat fisika dan sifat kimia  $H_2SO_4$  :

- Sifat-sifat fisika :
  - Berat molekul : 98,08 g/mol
  - Wujud : cairan
  - Warna : tidak berwarna (cairan bening)
- Sifat-sifat kimia :
  - Reaksi eksotermik dengan air
  - Korosif
  - Tidak mudah terbakar

(PT. Smelting Gresik Smelter and Refinery)

## B. Produk Utama

Ferrosulfat heptahidrat ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ )

Ferrosulfat heptahidrat sebaga produk utama hasil reaksi antara  $FeCl_2$  dengan  $H_2SO_4$ . Berikut sifat-sifat fisika dan kimia  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  :

- Sifat-sifat fisika :
  - Bentuk : Kristal/granular
  - Warna : Hijau dengan sedikit warna biru
  - Konsentrasi : 98%

([www.alibaba.com](http://www.alibaba.com))

- Sifat-sifat kimia :
  - Tidak dapat larut dalam alkohol
  - Dapat larut dalam air
  - Higroskopis
  - Berbau

([www.alibaba.com](http://www.alibaba.com))

## C. Bahan Pembantu

Air

---

Air (H<sub>2</sub>O) digunakan sebagai pengencer asam sulfat di dalam mixer kemudian akan diteruskan ke dalam reaktor untuk proses reaksi. Berikut ini sifat fisika dan kimia H<sub>2</sub>O :

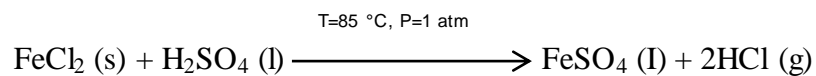
- Berat molekul : 18
- Kenampakan : cair
- Densitas (g/cm<sup>3</sup>) : 1
- Titik didih : 100°C

( Perry,s, 2008 )

## 1.7 Tinjauan Proses Yang Dipilih

### 1.7.1 Dasar Reaksi

Reaksi pembuatan ferrosulfat heptahidrat dari *pickling liquor* dan asam sulfat adalah reaksi endotermis yang *irreversible*. Reaksi yang terjadi adalah :



Reaksi yang terjadi antara FeCl<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> adalah endotermis sehingga terjadi penambahan panas.

(Sumber :US Patent, 0281732)

### 1.7.2 Kondisi Operasi

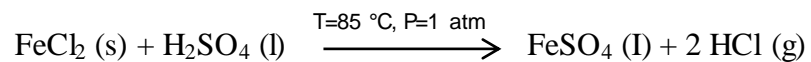
Proses pembentukan ferrosulfat heptahidrat dari *pickling liquor* dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dilakukan dalam reaktor tangki berpengaduk (RTB) beroperasi pada temperatur 85 °C. Kondisi operasi dijaga pada temperatur 85 °C, agar tidak terjadi oksidasi ferrosulfat menjadi ferrisulfat. Waktu reaksi yang dibutuhkan selama 4 jam (Sumber : US Patent, 0281732). Tekanan operasi sebesar 1 atm, karena pada tekanan ini sudah bisa menghasilkan produk dengan kenaikan tekanan yang tidak berpengaruh. Pada kondisi ini kemurnian produk yang dihasilkan sebesar 98% berat. Kemudian hasil reaksi di reaktor dipisahkan dalam evaporator. Konsentrasi keluar dari evaporator dialirkan ke pendingin untuk didinginkan pada suhu

kamar. Dalam kristalizer,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dikristalisasi. Dengan sistem pendingin kristalisasi berlangsung selama 4 - 9 jam. Kristal disaring dan larutan induk dikembalikan ke evaporator. Kristal akan pecah dan disaring, kemudian dikeringkan dengan udara panas dalam *rotary dryer*.

### 1.7.3 Mekanisme Reaksi

#### a) Tinjauan termodinamika

Mekanisme reaksi yang terjadi pada reaktor adalah :



Harga panas pembentukan ( $\Delta H_f^\circ$ ) pada suhu 298,15 K ( $25^\circ\text{C}$ ) dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut :

**Tabel 8. Data Panas Pembentukan dari Reaksi**

Komponen	$\Delta H_f^\circ$ (kal/mol), $25^\circ\text{C}$ (298,15 K)
$\text{FeCl}_2$	- 81900
$\text{H}_2\text{SO}_4$	- 193690
$\text{FeSO}_4$	- 221300
HCl	- 22063

(Sumber : Perry dan Yaws 1999)

$$\begin{aligned} \Delta H_f^\circ 298\text{ K} &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= (\Delta H_f^\circ \text{ FeSO}_4 + \Delta H_f^\circ \text{ HCl}) - (\Delta H_f^\circ \text{ FeCl}_2 + \Delta H_f^\circ \text{ H}_2\text{SO}_4) \\ &= ((-221300) + (-22063)) - ((-81900) + (-193690)) \\ &= (-243363) - (-275590) \\ &= 32227 \text{ kal/mol} \end{aligned}$$

Menghitung harga panas pembentukan ( $\Delta H_f^\circ$ ) pada suhu 358,15 K ( $85^\circ\text{C}$ ) adalah sebagai berikut :

**Tabel 9. Data Cp dari Reaksi**

Komponen	$C_p$ (kal/mol), $85^\circ\text{C}$ (358,15 K)
$\text{FeCl}_2$	36,5211

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	35,2763
FeSO <sub>4</sub>	24,0279
HCl	33,1566

(Sumber : Perry dan Yaws 1999)

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{reaktan } 358,15 \text{ K}} &= \sum C_p \times \Delta T \\ &= (36,5211 \times (358,15 - 298,15)) + (35,2763 \\ &\quad \times (358,15 - 298,15)) \\ &= (2191,266) + (2116,578) \\ &= 4307,844 \text{ kal/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{produk } 358,15 \text{ K}} &= \sum C_p \times \Delta T \\ &= (24,0279 \times (358,15 - 298,15)) + (33,1566 \\ &\quad \times (358,15 - 298,15)) \\ &= (1441,674) + (1989,396) \\ &= 3431,07 \text{ kal/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_r^{\circ} \text{ } 358,15 \text{ K} &= \Delta H_{\text{produk } 358,15} + \Delta H_f^{\circ} 298,15 - \Delta H_{\text{reaktan } 358,15 \text{ K}} \\ &= 3431,07 + 32227 - 4307,844 \text{ kal/mol} \\ &= 31350,226 \text{ kal/mol} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan  $\Delta H_r^{\circ} \text{ } 358,15 \text{ K}$  bernilai positif, maka reaksi pembentukan ferrosulfat heptahidrat dari *pickling liquor* dan asam sulfat adalah reaksi endotermis. Hal ini dapat disimpulkan bahwa reaksi memerlukan panas selama reaksi berlangsung.

Harga  $\Delta G_f$  untuk masing – masing komponen suhu 25 °C (298,15 K) adalah sebagai berikut :

**Tabel 10. Data  $\Delta G_f$  Komponen Reaksi**

Komponen	$\Delta G_f$ (kal/mol), 25 °C (298,15 K)
FeCl <sub>2</sub>	- 72203,12
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	- 156078,63
FeSO <sub>4</sub>	- 196044,71
HCl	- 22762,01



(Sumber : Perry dan Yaws 1999)

$$\begin{aligned}\Delta G_r &= \sum \Delta G_{\text{produk}} - \sum \Delta G_{\text{reaktan}} \\ &= (\Delta G \text{ FeSO}_4 + \Delta G \text{ HCl}) - (\Delta G \text{ FeCl}_2 + \Delta G \text{ H}_2\text{SO}_4) \\ &= ((-196044,71)+(-22762,01))-((-72203,12)+(-156078,63)) \\ &= (-218806,72) - (-228281,75) \\ &= 9475,03 \text{ kal/mol}\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas akan didapatkan, di reaktor :

$$\begin{aligned}\Delta H_f \text{ }_{298,15 \text{ K}} & \text{ (Enthalpi pembentukan)} &= 32227 \text{ kal/mol} \\ \Delta H_f \text{ }_{358,15 \text{ K}} & \text{ (Enthalpi reaktan)} &= 31350,226 \text{ kal/mol} \\ \Delta G & \text{ (Energi bebas)} &= 9475,03 \text{ kal/mol}\end{aligned}$$

Menghitung harga konstanta keseimbangan pada suhu 25 °C (298,15 K) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta G &= -RT \ln K_{298,15 \text{ K}} \\ \ln K_{298,15 \text{ K}} &= \frac{\Delta G}{-RT} \\ &= \frac{9475,03}{-1,987 \times 298,15} \\ &= -15,9937 \\ K_{298,15 \text{ K}} &= 1,132 \times 10^{-7}\end{aligned}$$

Menghitung harga konstanta keseimbangan pada suhu 85 °C (358,15 K) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\ln \left( \frac{K_{358,15}}{K_{298,15}} \right) &= \frac{-\Delta H_f \text{ }_{298 \text{ K}}}{R} \times \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \\ \ln \left( \frac{K_{358,15}}{1,132 \times 10^{-7}} \right) &= \frac{-32227}{1,987} \times \left( \frac{1}{358,15} - \frac{1}{298,15} \right) \\ \left( \frac{K_{358,15}}{1,132 \times 10^{-7}} \right) &= \exp(9,1133) \\ \left( \frac{K_{358,15}}{1,132 \times 10^{-7}} \right) &= 9075,1937 \\ K_{358,15} &= 0,001027\end{aligned}$$

#### b) Tinjauan kinetika

Mekanisme reaksi pembentukan ferrosulfat heptahidrat :



$$\text{Diketahui} \quad : \quad X_a = 93\% = 0,93$$

	T	= 4 jam = 240 menit	
	A	+ B	→ C
mula – mula	: Ca <sub>0</sub>	Cb <sub>0</sub>	
Reaksi	: Ca <sub>0</sub> . X <sub>a</sub>	Ca <sub>0</sub> . X <sub>a</sub>	Ca <sub>0</sub> . X <sub>a</sub> -
Sisa	: Ca <sub>0</sub> (1 - X <sub>a</sub> )	Cb <sub>0</sub> - (Ca <sub>0</sub> . X <sub>a</sub> )	Ca <sub>0</sub> . X <sub>a</sub>

➤ FeCl<sub>2</sub> 36%

$$\text{Berat molekul} = 126,751 \frac{\text{gram}}{\text{mol}}$$

$$\begin{aligned} \text{Ca}_0 &= 36 \frac{\text{gram}}{100 \text{ ml}} : 126,751 \frac{\text{gram}}{\text{mol}} \\ &= 36 \frac{\text{gram}}{100 \text{ ml}} \times 126,751 \frac{\text{mol}}{\text{gram}} \times 1000 \frac{\text{ml}}{\text{L}} \\ &= 2,8402 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ca} &= \text{Ca}_0 (1 - X_a) \\ &= 2,8402 (1 - 0,93) \\ &= 0,1988 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{aligned}$$

➤ Asam Sulfat 82%

$$\text{Berat molekul} = 98,07848 \frac{\text{gram}}{\text{mol}}$$

$$\begin{aligned} \text{Cb}_0 &= 82 \frac{\text{gram}}{100 \text{ ml}} : 98,07848 \frac{\text{gram}}{\text{mol}} \\ &= 82 \frac{\text{gram}}{100 \text{ ml}} \times 98,07848 \frac{\text{mol}}{\text{gram}} \times 1000 \frac{\text{ml}}{\text{L}} \\ &= 8,3606 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cb} &= \text{Cb}_0 - (\text{Ca}_0 . X_a) \\ &= 8,3606 - (2,8402 . 0,93) \\ &= 5,7192 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{aligned}$$

➤ Orde 2

$$(-r_a) = - \frac{dC_a}{dt}$$

$$- \frac{dC_a}{dt} = k . C_a . C_b$$

$$C_{a0} \frac{dX_a}{dt} = k . (C_{a0} (1 - X_a)) . (C_{b0} - (C_{a0} . X_a))$$

$$\frac{dCa}{dt} = k \cdot (Ca_0 (1 - Xa)) \cdot (Ca_0 \left(\frac{Cb_0}{Ca_0} - Xa\right))$$

$$\frac{dCa}{dt} = k \cdot Ca_0 (1 - Xa) (M - Xa)$$

$$M = \frac{Cb_0}{Ca_0}$$

$$(-ra) = k \cdot Ca_0 (1 - Xa) (M - Xa)$$

$$\int_0^{Xa} \frac{dxa}{(1-xa)(M-xa)} = k \cdot Ca_0 \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{Cb \cdot Ca_0}{Cb_0 \cdot Ca} = Ca_0 \cdot k \cdot t$$

$$\ln \frac{5,5772 \times 2,8402}{8,3606 \times 0,1988} = 2,8402 \times 240k$$

$$2,2544 = 681,6514 k$$

$$k = 0,003344$$

➤ Nilai k dimasukkan di persamaan levenspiel

$$\frac{V}{FV} = \frac{Xa}{(-ra)}$$

$$t' = \frac{Xa}{-ra}$$

$$t' = \frac{Xa}{k Ca Cb}$$

$$= \frac{0,93}{0,0033 \times 0,1988 \times 5,5772}$$

$$= 244,6048 \text{ menit}$$

$$= 4,08 \text{ jam}$$