

**STUDI TEKNO-EKONOMI DAN DESAIN PROSES PRODUKSI
FERROUS SULPHATE HEPTAHYDRATE ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) KAPASITAS
65.000 TON/TAHUN MENGGUNAKAN LIMBAH BESI WUISTITE,
MAGNETITE, HEMATITE, IRON CHLORIDE, DAN ELEMENTARY
FERRO**



TUGAS AKHIR

**Dibuat Untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan Mata Kuliah Tugas Akhir
dan Seminar pada Jurusan S-Tr Teknologi Rekayasa Kimia Industri,
Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro**

Disusun Oleh:

Muhammad Dzikri Auliah

NIM. 40040121650084

**PRODI S-Tr TEKNOLOGI REKAYASA KIMIA INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2026

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI TEKNO-EKONOMI DAN DESAIN PROSES PRODUKSI FERROUS SULPHATE HEPTAHYDRATE ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) KAPASITAS 65.000 TON/TAHUN MENGGUNAKAN LIMBAH BESI WUISTITE, MAGNETITE, HEMATITE, IRON CHLORIDE, DAN ELEMENTARY FERRO

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana
Terapan Teknik**

**Disusun Oleh:
Muhammad Dzikri Auliah
NIM. 40040121650084**

**Disetujui dan Disahkan Sebagai Laporan Tugas Akhir (Tugas Akhir)
Semarang, 8 September 2026**

Dosen Pembimbing,


Dr. Heny Kusumayanti S.T., M.T.

NIP. 197210291995122001

HALAMAN PERYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Dzikri Auliah
NIM : 40040121650084
Judul Skripsi : STUDI TEKNO-EKONOMI DAN DESAIN PROSES
PRODUKSI FERROUS SULPHATE HEPTAHYDRATE
($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) KAPASITAS 65.000 TON/TAHUN
MENGUNAKAN LIMBAH BESI WUISTITE, MAGNETITE,
HEMATITE, IRON CHLORIDE, DAN ELEMENTARY FERRO
Fakultas/Jurusan : Sekolah Vokasi/S.Tr. Teknologi Rekayasa Kimia Industri

Menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya Muhammad Dzikri Auliah dan partner saya Abraham Mario Natari, didampingi dosen pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Diponegoro sesuai aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa ada paksaan dari siapapun.



Semarang, 8 September 2026



Muhammad Dzikri Auliah

Nim. 40040121650082

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang maha Esa atas berkat dan rahmat-Nyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini, maka tidak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak yang terlibat dalam penyusunan Tugas Akhir ini, khususnya kepada :

1. Mohammad Endy Yulianto S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
2. Dr. Heny Kusumayanti S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dengan baik hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik
3. Seluruh Dosen, tenaga kependidikan dan staf administrasi Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
4. Ayah, Ibu, kakak dan seluruh keluarga yang telah memberikan doa serta dukungan moral dan semangat.
5. Abraham Mario Natari, partner dalam penyusunan Tugas Akhir yang telah bekerjasama dengan sangat baik hingga dapat terselesaikan dengan baik.
6. Keluarga besar TRKI angkatan 2021 yang telah memberikan semangat, dan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Teman saya Galang Herdhananda yang sering menyemangati saya dalam pembuatan tugas akhir ini

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan bantuan berupa saran dan kritik yang demi kesempurnaan dan penyusunan Tugas Akhir ini.

Semarang, 05 Oktober 2026

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	x
INTISARI.....	xii
1 BAB I.....	1
2 BAB II.....	18
2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk	18
2.2 Konsep Proses	23
2.3 Langkah Proses.....	40
2.4 Diagram Alir Proses (Flowsheet)	47
2.5 Neraca Massa dan Neraca Panas	48
2.6 Layout Pabrik dan Peralatan Proses	66
3 BAB III	72
3.1 Unit Penyimpanan	72
3.2 Unit <i>Pretreatment</i>	74
3.3 Proses Reaksi.....	75
3.4 <i>Finishing Unit</i>	80
3.5 Unit Transportasi.....	81
4 BAB IV.....	83
4.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air.....	86
5 BAB V	110
5.1 Bentuk Perusahaan.....	110
5.2 Struktur Organisasi.....	112
5.3 Tugas dan Wewenang.....	116
5.4 Kebutuhan Karyawan dan Sistem Pengupahan.....	121
5.5 Jumlah Karyawan dan Gaji Karyawan	125
5.6 Kesejahteraan Karyawan	127

5.7	<i>Corporate Social Responsibility (CSR)</i>	131
6	BAB VI	135
6.1	Unit Penyimpanan	136
6.2	Unit <i>Pretreatment</i>	137
6.3	Unit Reaksi	141
6.4	Conversion Unit	149
6.5	Finishing Unit	152
7	BAB VII	156
	DAFTAR PUSTAKA	174
	LAMPIRAN A	176
	LAMPIRAN B	205
	LAMPIRAN C	234

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Proyeksi Kebutuhan Impor dan Eksport	3
Tabel 1.2 Data Perhitungan Prediksi Ekspor & Impor Ferrous sulfate heptahydrate	5
Tabel 1.3 Kapasitas Pabrik Ferrous Sulphate Heptahydrate Yang Sudah Berdiri ..	6
Tabel 1.4 Matriks Penentuan Lokasi	9
Tabel 2.1 Komposisi Kimia Limbah Picking Liquor	18
Tabel 2.2 Sifat MSDS Limbah Picking Liquor	18
Tabel 2.3 Komposisi Scrap Iron	19
Tabel 2.4 Sifat MSDS Scrap Iron	19
Tabel 2.5 Komposisi Scale Mill	20
Tabel 2.6 Sifat MSDS Scale Mill	20
Tabel 2.7 Data MSDS Asam Sulfat (H_2SO_4)	21
Tabel 2.8 Komposisi Kimia Ferrous Sulfate Heptahydrate	22
Tabel 2.9 Sifat MSDS Ferrous Sulfate Heptahydrate	22
Tabel 2.10 Perbandingan kondisi operasi pada proses pembentukan ferrous sulfate heptahydrate	27
Tabel 2.11 Data Termodinamika Desain Pabrik Ferrous Sulfate Heptahydrate ..	28
Tabel 2.12 Nilai parameter kinetika hasil running Matlab untuk pelarutan FeO ..	36
Tabel 2.13 Neraca Massa Evaporator	49
Tabel 2.14 Neraca Massa Acid Dilution Tank (F4A)	49
Tabel 2.15 Neraca Massa Acid Dilution Tank (F4A)	49
Tabel 2.16 Neraca Massa Reaktor 1	50
Tabel 2.17 Neraca Massa Reaktor 2	50
Tabel 2.18 Neraca Massa Pressure Leaf Frame Filter	51
Tabel 2.19 Neraca Massa Iron Reduction Tank	52
Tabel 2.20 Neraca Massa Polish Filter	54
Tabel 2.21 Neraca Massa Kristalizer	55
Tabel 2.22 Neraca Massa Sentrifugal	56
Tabel 2.23 Neraca Massa Dryer	57

Tabel 2.24 Neraca Massa Overall	57
Tabel 2.25 Neraca Panas Evaporator.....	59
Tabel 2.26 Neraca Panas Acid Dilution Tank	59
Tabel 2.27 Neraca Massa Reaktor 1.....	60
Tabel 2.28 Neraca Panas Reaktor 2.....	60
Tabel 2.29 Neraca Massa Pressure Leaf Frame Filter.....	60
Tabel 2.30 Neraca Panas Iron Reduction Tank	60
Tabel 2.31 Neraca Panas Polish Filter.....	61
Tabel 2.32 Neraca Panas Kristalizer	61
Tabel 2.33 Neraca Panas Sentrifugal.....	61
Tabel 2.34 Neraca Panas Drayer	62
Tabel 2.34 Perincian Luas Tanah Sebagai Bangunan Pabrik.....	69
Tabel 3.1 Desain dan Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (H_2SO_4).....	72
Tabel 3.2 Desain dan Spesifikasi Tangki WPL (Waste Pickling Liquor).....	73
Tabel 3.3 Desain dan Spesifikasi Evaporator.....	74
Tabel 3.4 Desain dan Spesifikasi Dilution Acid Tank	75
Tabel 3.5 Desain dan Spesifikasi Reaktor CSTR.....	75
Tabel 3.6 Desain dan Spesifikasi Reaktor 2.....	76
Tabel 3.7 Desain dan Spesifikasi Leaf Filter Press	77
Tabel 3.8 Desain dan Spesifikasi Reaktor 3.....	78
Tabel 3.9 Desain dan Spesifikasi Crystallizer	79
Tabel 3.10 Desain dan Spesifikasi Centrifuge	80
Tabel 3.11 Desain dan Spesifikasi Rotary Dryer	81
Tabel 3.13 Desain dan Spesifikasi Bucket Elevator.....	82
Tabel 3.14 Desain dan Spesifikasi Screw Conveyor.....	82
Tabel 4.1 Parameter Kualitas Air Proses.....	87
Tabel 4.2 Parameter Kualitas Air Pendingin.....	87
Tabel 4.3 Parameter Kualitas Air Boiler	90
Tabel 4.4 Parameter Kualitas Air Minum	90
Tabel 4.5 Kebutuhan Air Proses dan Pendingin.....	92
Tabel 4.6 Kebutuhan Air Untuk Steam	92

Tabel 4.7 Kebutuhan Listrik Untuk Keperluan Proses dan Keperluan Air	96
Tabel 4.8 Kebutuhan Lumen pada Lokasi Dalam Ruangan.....	97
Tabel 4.9 Kebutuhan Lumen pada Lokasi Luar Ruangan	98
Tabel 4.10 luas Bangunan	99
Tabel 4.11 Kebutuhan Listrik Untuk Laboratorium dan Instrumantasi	100
Tabel 4.12 Parameter Bahan Baku Mutu Limbah Cair	107
Tabel 5.1 Jadwal kerja masing-masing regu	122
Tabel 5.2 Perincian Jumlah Karyawan Produksi.....	123
Tabel 5.3 Jumlah Karyawan Utilitas	124
Tabel 5.4 Jumlah Karyawan HSE Lingkungan, Lab Analisis, dan Maintenance	125
Tabel 5.5 Perincian Jumlah Karyawan Total	125
Tabel 5.6 Penggolongan Gaji Sesuai Jabatan.....	126
Tabel 6.1 Tabel Troubleshooting Unit Penyimpanan.....	136
Tabel 6.2 Tabel Troubleshooting Unit Pretreatment	137
Tabel 6.3 Tabel Troubleshooting Pada Unit Reaksi.....	141
Tabel 6.4 Tabel Troubleshooting pada Conversion Unit	149
Tabel 6.5 Tabel Troubleshooting Pada Finishing Unit	152
Tabel 7.1 <i>Chemical Engineering Plant Cost Index 2001-2024</i>	157
Tabel 7.2 <i>Physical Capital Investment</i>	167
Tabel 7.3 <i>Biaya Engineering and Construction</i>	168
Tabel 7.4 <i>Biaya Fixed Capital Investment</i>	168
Tabel 7.5 <i>Working Capital Investment</i>	168
Tabel 7.6 Total Capital Investment	169
Tabel 7.7 Direct Manufacturing Cost	169
Tabel 7.8 Indirect Manufacturing Cost.....	170
Tabel 7.9 Fixed Manufacturing Cost.....	170
Tabel 7.10 Total Manufacturing Cost	171
Tabel 7.11 General Expense.....	171
Tabel 7.12 Total Biaya Produksi	171
Tabel 7.13 Tabel Analisa Kelayakan Ekonomi	173

Tabel 11.1 Perhitungan tebal dinding tangki dan panjang couse shell.....239

Tabel 11.3 Perhitungan tebal dinding tangki dan panjang couse shell 246

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Data Ekspor Ferrous sulfate heptahydrate	3
Gambar 1.2 Data Impor Ferrous sulfate heptahydrate	4
Gambar 1.3 Lokasi Rencana Pembangunan Pabrik Ferrous sulfate heptahydrate	15
Gambar 2.1 (a) Mekanisme Shrinking Core Model; (b) Profil konsentrasi pereaksi pada Shrinking Core Model.....	23
Gambar 2.2 Diagram Alir Neraca Massa	48
Gambar 2.3 Diagram Alir Neraca Panas	48
Gambar 2.4 Layout Area Pabrik.....	70
Gambar 3.1 Gambar Tangki H_2SO_4	72
Gambar 3.2 Gambar tangka WPL	73
Gambar 3.3 Evaporator.....	74
Gambar 3.4 Dillution Acid Tank.....	75
Gambar 3.5 Reaktor 1 CSTR.....	75
Gambar 3.6 Reaktor 2 Semi-Batch.....	76
Gambar 3.7 Leaf Filter Press	77
Gambar 3.8 Reaktor 3 Iron Reduction.....	78
Gambar 3.9 Crystallizer.....	79
Gambar 3.10 Centrifuge	80
Gambar 3.11 Rotary Dryer	81
Gambar 3.13 Bucket Elevator	81
Gambar 3.14 Screw Conveyor	82
Gambar 5.1 Struktur Organisasi Pabrik.....	115
Gambar 7.1 Diagram Indeks CEP 2001-2024.....	158
Gambar 7.2 Grafik Analisa Kelayakan Ekonomi	172
Gambar 11.2 Sistematika perhitungan head bentuk conical pada tangki penyimpanan	239
Gambar 11.4 Sistematika perhitungan head bentuk conical pada tangki penyimpanan	247

Gambar 11.5 Gambar Dimensi Pada Tutup Reaktor	259
Gambar 11.5 Gambar Dimensi Pada Tutup Reaktor	273

INTISARI

Prarancangan pabrik *ferrous sulfate heptahydrate* ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) dengan kapasitas 65.000 ton/tahun ditujukan untuk memenuhi kebutuhan industri Pengolahan limbah, pupuk, dan bahan kimia dalam negeri seiring dengan meningkatnya permintaan produk turunan besi sulfat. Pabrik ini direncanakan didirikan di Kawasan Industri Krakatau, Cilegon, Banten dengan memanfaatkan bahan baku utama berupa limbah *Waste Pickling Liquor* (WPL), *scrap iron* dan *mill scale* yang diperoleh dari industri metalurgi. Tahap pembuatan *ferrous sulfate heptahydrate* meliputi tahap penyiapan bahan baku, tahap reaksi, tahap pemurnian, tahap kristalisasi, dan tahap penyimpanan. Proses diawali dengan pemekatan awal umpan WPL menggunakan evaporator, kemudian direaksikan dengan asam sulfat dalam Reaktor 1 (WPL) dan pelarutan fasa padat *mill scale* dalam Reaktor 2. Produk reaksi disaring menggunakan *Pressure Leaf Filter* (PLF) dan *Polish Filter* untuk mengeliminasi pengotor inersia dan padatan tersuspensi. Larutan jenuh yang dihasilkan kemudian dikristalkan di dalam *Draft Tube Baffle* (DTB) *Vacuum Crystallizer* yang beroperasi pada kondisi vakum 8 mbar. Kristal yang terbentuk dipisahkan dari *mother liquor*-nya menggunakan *Continuous Pusher Centrifuge*, dan selanjutnya dikeringkan di dalam *Vacuum Rotary Dryer* untuk menghasilkan produk utama yang berkualitas tinggi. Bentuk perusahaan pada prarancangan pabrik ini adalah Perseroan Terbatas (PT) yang menggunakan struktur organisasi *line and staff*. Sistem kerja karyawan berdasarkan pembagian jam kerja yang terdiri dari karyawan *shift* dan *non-shift*. Hasil analisa ekonomi terhadap perancangan pabrik *ferrous sulfate heptahydrate* diperoleh bahwa total investasi (*Total Capital Investment*, TCI) sebesar 56.389.883,14 US\$ dan total biaya produksi (*Total Production Cost*) sebesar 24.733.489,215 US\$. Dari hasil analisa kelayakan diperoleh hasil *Return on Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 41,6% dan sesudah pajak sebesar 31,2%, *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak selama 1,924 tahun dan sesudah pajak selama 2,494 tahun, *Break Even Point* (BEP) sebesar 23,88%, serta *Shut Down Point* (SDP) sebesar 13,25%.