

**PRARANCANGAN PABRIK MAGNESIUM SULFAT DARI
MAGNESIUM KARBONAT DAN ASAM SULFAT
KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN**

(Tugas Khusus Perancangan Reaktor 201 (RE-201))

(Skripsi)

Oleh

PUSPITO WIJAYANTO



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

2024

ABSTRACT

PRADESIGN OF MAGNESIUM SULPHATE PLANT FROM MAGNESIUM CARBONATE AND SULPHURIC ACID CAPACITY 15.000TONS/YEAR (Reactor 201 Design (RE-201))

By

PUSPITO WIJAYANTO

Magnesium sulphate is a white crystalline solid which is widely used in various fields such as paper industry, chemical industry, pharmaceutical industry, fertilizer industry, textile industry, plastic industry, rubber industry, animal husbandry, bleaching process on cellulose, manufacture of fructose syrup and others . Magnesium sulphate can be produced by several reaction processes 1) Reaction between Magnesium Carbonate and Sulfuric Acid, 2) Reaction between Magnesium Hydroxide and Calcium Sulphate. The provision of utility plant necessary consists of water treatment and supply systems, steam supply systems, cooling water, and power generation systems.

The production capacity of magnesium sulphate plant is planned to be 15.000 tons/year with 330 working days in 1 year. The location of plant is planned in Cilegon, Banten. The required workforce is 157 people with the form of Limited Liability Company (PT) with line and staff organization structure.

From the economic analysis is obtained :

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 307.390.629.194,926
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 54.245.405.152,046
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 361.636.034.346,972
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 34%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 23%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 2,08 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 2,88 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 32%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 26%
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF)	= 32,5%

Based on some of the above explanations, the establishment of the magnesium sulphate plant is feasible for further study, because it is a profitable plant from the economic side and has a relatively good prospect.

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK MAGNESIUM SULFAT DARI MAGNESIUM KARBONAT DAN ASAM SULFAT KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN (Perancangan Reaktor 201(RE-201))

Oleh

PUSPITO WIJAYANTO

Magnesium sulfat berupa padatan kristal berwarna putih yang banyak digunakan di berbagai bidang, seperti industri kertas, industri kimia, industri farmasi, industri pupuk, dan lain sebagainya. Magnesium sulfat dapat diproduksi dengan beberapa proses reaksi yaitu 1) Reaksi antara Magnesium Karbonat dengan Asam Sulfat, 2) Reaksi antara Magnesium Hidroksida dengan Kalsium Sulfat. Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik berupasisitem pengolahan dan penyediaan air, sistem penyediaan *steam*, *cooling water*, dan sistem pembangkit tenaga listrik.

Kapasitas produksi pabrik magnesium sulfat direncanakan 15.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di daerah Gresik, Jawa Timur. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 157 orang dengan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi *line and staff*.

Dari analisisekonomidiperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 307.390.629.194,926
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 54.245.405.152,046
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 361.636.034.346,972
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 34%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 23%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 2,08 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 2,88 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 32%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 26%
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF)	= 32,5%

Berdasarkan beberapa paparan di atas, maka pendirian pabrik magnesium sulfat ini layak untuk dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dari sisi ekonomi dan mempunyai prospek yang relatif cukup baik.

**PRARANCANGAN PABRIK MAGNESIUM SULFAT DARI
MAGNESIUM KARBONAT DAN ASAM SULFAT KAPASITAS
15.000 TON/TAHUN**

(Tugas Khusus Perancangan Reaktor 201 (RE-201))

Oleh

PUSPITO WIJAYANTO

(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 MAGNESIUM
SULFAT DARI MAGNESIUM KARBONAT
DAN ASAM SULFAT DENGAN KAPASITAS
PRODUKSI 15.000 TON/TAHUN
(Perancangan Reaktor 201 (RE-201))**

Nama Mahasiswa

: **Puspito Wijayanto**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1815041022

Jurusan

: Teknik Kimia

Fakultas

: Teknik



Dr. Sri Ismiyati Damayanti, ST., M. Eng.
NIP. 1979 0419 2006 04 2 001

Yuli Darni, S.T., M.T. .
NIP. 1974 0712 2000 03 2 001

2. Ketua Jurusan Teknik Kimia

A handwritten signature in black ink, likely belonging to Yuli Darni, positioned above the text for the second member of the committee.

Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 1974 0712 2000 03 2 001

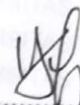
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

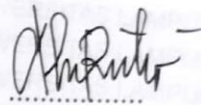
Ketua : **Dr. Sri Ismiyati Damayanti, ST., M. Eng.**



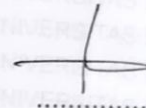
Sekretaris : **Yuli Darni, S.T., M.T.**



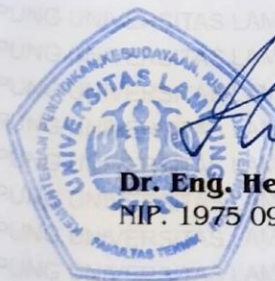
Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Heri Rustamaji, S.T., M. Eng.**



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



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)
NIP. 1975 0928 2001 12 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **12 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, 23 Juli 2024



Puspito Wijayanto

NPM. 1815041022

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sukaraja pada tanggal 14 September 1999, putra ke-3 dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Slamet dan Ibu Sumiatun.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar Negeri 1 Sukaraja pada tahun 2012, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Gedongtataan pada tahun 2015, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Gedongtataan pada tahun 2018.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Jalur SBMPTN 2018. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi sebagai staff Departemen Dana dan Usaha Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (Himatemia) FT Unila periode 2019 dan Ketua Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (Himatemia) FT Unila periode 2020.

Pada tahun 2021, penulis melakukan Kerja Praktik di PT. SEMEN BATURAJA (Persero) Tbk. dengan Tugas Khusus “Evaluasi kinerja *Rotary Kiln Plant 2*”. Penulis juga melakukan penelitian dengan judul “Pengolahan Limbah Cair Tapioka Menggunakan Kompost Karbon-Bentont Asal *Spent Bleaching Earth*”.

MOTTO

**“Cukuplah Allah menjadi Pelindung (bagimu). Dan Cukuplah Allah menjadi Penolong (bagimu).”
-(Q.S. An-Nisa : 45)-**

**”Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan) tetaplah bekerja keras untuk urusan yang lain”
-(Qs. Al-Insyirah : 6-7)-**

**“Jika jalannya terlihat mudah, mungkin kamu berada di jalan yang salah”
-Monkey D. Luffy-**

Sebuah Bukti Kecil Perjuanganku

Dengan segenap hari kupersembahkan Tugas Akhir ini kepada :

Allah SWT

Atas Kehendak-NYA semuai ini terjadi

Atas Rahmat-NYA semua ini aku dapatkan

Atas Kekuatan dari-NYA aku bisa tabah dan bertahan.

Orang tuaku sebagai tana baktiku, Terimakasih atas segalanya, Doa, Kasih Sayang, Pengorbanan, Kesabaran, dan Keikhlasannya. Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa dibandingkan dengan berjuta-juta pengorbanan dan kasih sayang yang tidak pernah berakhir

Kakak dan Adik ku, terimakasih juga atas segalanya, kasih sayang dan doa

Guru-guruku sebagai tanda hormatku,

Terimakasih atas ilmu yang telah diberikan

Kepada Almamaterku tercinta,

Semoga kelak berguna dikemuidan hari.

Semua sahabat, motivator, dan pemberi semangat saat pengerjaan skripsi ini

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Prarancangan Pabrik Magnesium Sulfat dari Magnesium Karbonat dan Asam Sulfat Kapasitas Produksi 15.000 Ton/Tahun”.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat guna memperoleh derajat kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung,
2. Ibu Dr. Sri Ismiyati Damayanti, ST., M. Eng. selaku Dosen Pembimbing I yang tidak kenal lelah memberikan ilmu, pengarahan, bimbingan, kritik dan saran selama penyelesaian tugas akhir saya.
3. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan ilmu, pengarahan, bimbingan, kritik dan saran selama penyelesaian tugas akhir saya.
4. Bapak Dr. Heri Rustamaji, S.T., M. Eng. dan Bapak Donny Lesmana, S.T., M.Sc. sebagai dosen penguji, terimakasih atas segala ilmu, kritikan, saran, nasehat dan koreksi terhadap tugas akhir saya, sehingga menjadi suatu karya yang lebih baik lagi.

5. Seluruh Dosen dan Staff Teknik Kimia yang telah banyak memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dan membantu kelancaran dalam pengerjaan.
6. Keluargaku tercinta, Ibu, Bapak, Kakak dan Adik yang selalu memberikan doa, semangat, motivasi, cinta, dan kasih sayang sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
7. Eka Fransiska, terimakasih tidak pernah bosan memberikan doa dan semangat.
8. *Partner* Tugas Akhir Devi Saghita Anggraini, terimakasih atas bantuan dan kerjasama dalam menyelesaikan tugas akhir.
9. Keluarga Teknik Kimia Angkatan 2018, *thanks for everyting guys*. Terus semangat dalam meraih gelar S.T!
10. Adik-adik dan kakak-kakak tingkat di Jurusan Teknik Kimia, yang banyak memberikan cerita, pembelajaran, dan pengalaman selama berada di kampus.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Akhir kata, semoga karya terbaik penulis ini dapat bermanfaat dan berguna bagi para pembacanya. Aamiin.

Bandar Lampung, 23 Juli 2024

Penulis,

Puspito Wijayanto

DAFTAR ISI

COVER	i
ABSTRACT	ii
ABSTRAK	iii
COVER DALAM	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HDUP.....	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xxiii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Latar Belakang	1

1.2. Kegunaan Produk	3
1.3. Ketersediaan Bahan Baku	4
1.4. Analisis Pasar	7
1.5. Kapasitas Rancangan.....	10
1.6. Pemilihan Lokasi Pabrik	12
BAB II PEMILIHAN DAN DESKRIPSI PROSES	13
2.1. Jenis-jenis Proses.....	13
2.2. Tinjauan Ekonomi	20
2.3. Tinjauan Termodinamika	32
2.4. Perbandingan Proses.....	42
2.5. Uraian Proses.....	43
BAB III SPESIFIKASI BAHAN DAN PRODUK	46
3.1. Spesifikasi Bahan Baku.....	47
3.2. Spesifikasi Bahan Pembantu	50
3.3. Spesifikasi Produk Utama	51
3.4. Spesifikasi Produk Samping.....	53
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI	54
4.1. NERACA MASSA.....	59

4.2. NERACA PANAS	63
BAB V SPESIFIKASI PERALATAN PROSES DAN UTILITAS	67
5.1. Peralatan Proses.....	67
5.2. Peralatan Utilitas	88
BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....	135
6.1. Unit Pendukung Proses	135
6.2. Sistem Pembangkit Tenaga Listrik.....	154
6.3. Sistem Penyediaan bahan bakar	154
6.4. Sistem Penyediaan Udara.....	155
6.5. Pengolahan Limbah.....	156
6.6. Laboratorium	158
6.7. Instrumentasi dan Pengendalian Proses	161
BAB VII TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK.....	167
7.1. Lokasi Pabrik.....	167
7.2. Tata Letak Pabrik	170
7.3. Estimasi Area Pabrik.....	173

BAB VIII MANAJEMEN DAN ORGANISASI179

8.1. Bentuk Perusahaan	179
8.2. Struktur Organisasi Perusahaan.....	181
8.3. Tugas dan Wewenang	184
8.4. Status Karyawan dan Sistem Penggajian	192
8.5. Pembagian Jam Kerja Karyawan	193
8.6. Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan	195
8.7. Kesejahteraan Karyawan	199

BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI203

9.1. Investasi	203
9.2. Evaluasi Ekonomi.....	207
9.3. Angsuran Pinjaman	210
9.4. Discounted Cash Flow (DCF)	210

BAB X KESIMPULAN DAN SARAN211

10.1. Kesimpulan.....	211
10.2. Saran	211

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Kebutuhan Bahan Baku.....	4
Tabel 1.2. Daftar Pabrik Asam Sulfat di Indonesia.....	5
Tabel 1.3. Daftar Pabrik Magnesium Karbonat di Berbagai Negara	5
Tabel 1.4. Harga Bahan Baku dan Produk	6
Tabel 1.5. Data Konsumsi Magnesium Sulfat di Indonesia	8
Tabel 1.6. Data Impor Magnesium Sulfat di Indonesia	10
Tabel 2.1. Harga Bahan Baku dan Produk Proses I	20
Tabel 2.2. Stoikiometr Reaksi Proses I	21
Tabel 2.3. Harga Bahan Baku dan Produk Proses II	26
Tabel 2.4. Stoikiometr Reaksi Proses II	27
Tabel 2.5. Data Entalpi dan Energi Gibbs pada $T = 298,15 \text{ K}$ (25°C) Proses I	34
Tabel 2.6. Data Konstanta Masing—Masing Komponen Proses I.....	35
Tabel 2.7. Data Entalpi dan Energi Gibbs pada $T = 298,15 \text{ K}$ (25°C) Proses II...	38
Tabel 2.8. Data Konstanta Masing—Masing Komponen Proses II	39
Tabel 2.9. Perbandingan Proses	42
Tabel 4.1. Berat Molekul Tiap Komponen.....	53
Tabel 4.2. Stoikiometri Reaksi	54

Tabel 4.3. Neraca Massa di Dissolution Tank (DT-101)	59
Tabel 4.4. Neraca Massa di Screw Conveyor (SC-102).....	59
Tabel 4.5. Neraca Massa di Reaktor (RE-201).....	60
Tabel 4.6. Neraca Massa di Rotary Drum Filter (RDF-301).....	61
Tabel 4.7. Neraca Massa di Crystallizer (CR-301).....	61
Tabel 4.8. Neraca Massa di Centrifuge (CF-301).....	62
Tabel 4.9. Neraca Massa di Rotary Dryer (RD-301).....	62
Tabel 4.10. Neraca panas di dissolution tank (DT-101).....	63
Tabel 4.11. Neraca Panas Reaktor (RE-201)	64
Tabel 4.12. Neraca Panas Rotary Drum Filter (RDF-301).....	64
Tabel 4.13. Neraca panas di Crystallizer (CR-301)	65
Tabel 4.14. Neraca panas di Centrifuge (CF-301)	65
Tabel 4.15. Neraca panas di Rotary Dryer (RD-301).....	66
Tabel 5.1. Spesifikasi tangki penyimpanan asam sulfat (ST-101)	67
Tabel 5.2. Spesifikasi Tangki Pengenceran Asam Sulfat (DT-101).....	69
Tabel 5.3. Spesifikasi Warehouse (WH-401).....	70
Tabel 5.4. Spesifikasi Solid Storage (SS-401)	72
Tabel 5.5. Spesifikasi Reaktor (RE-201).....	73
Tabel 5.6. Spesifikasi Rotary Drum Filter (RDF-301).....	75
Tabel 5.7. Spesifikasi Crystallizer (CR-301).....	76

Tabel 5.8. Spesifikasi Centrifuge (CF-301).....	77
Tabel 5.9. Spesifikasi Rotary Dryer (RD – 301).....	78
Tabel 5.10. Spesifikasi Screw Conveyor (SC-101).....	79
Tabel 5.11. Spesifikasi Screw Conveyor (SC-102).....	80
Tabel 5.12. Spesifikasi Screw Conveyor (SC-301).....	81
Tabel 5.13. Spesifikasi Screw Conveyor (SC-401).....	82
Tabel 5.14. Pompa Proses (PP-101).....	83
Tabel 5.15. Spesifikasi Pompa Proses (PP-102)	84
Tabel 5.16. Spesifikasi Pompa Proses (PP-201)	85
Tabel 5.17. Spesifikasi Pompa Proses (PP-302).....	86
Tabel 5.18. Spesifikasi Pompa Proses (PP-303).....	87
Tabel 5.19. Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-501).....	88
Tabel 5.20. Spesifikasi Tangki Alum (ST-501).....	89
Tabel 5.21. Spesifikasi Tangki Kaporit (ST-502)	90
Tabel 5.22. Spesifikasi Tangki Soda Kaustik (ST- 503)	91
Tabel 5.23. Spesifikasi Tangki Air Filter (ST-504).....	92
Tabel 5.24. Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (ST-505).....	93
Tabel 5.25. Spesifikasi Tangki Dispersan (ST-506).....	94
Tabel 5.26. Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST-507).....	95
Tabel 5.27. Spesifikasi Tangki Penyimpanan Air Kondensat (ST-509)	96

Tabel 5.28. Spesifikasi Tangki Hidrazin (ST-510).....	97
Tabel 5.29. Spesifikasi Tangki Solar (ST-701)	98
Tabel 5.30. Spesifikasi Tangki CO2 (ST-901).....	99
Tabel 5.31. Spesifikasi Clarifier (CL-501)	100
Tabel 5.32. Spesifikasi Sand Filter (SF-501).....	101
Tabel 5.33. Spesifikasi Cooling Tower (CT-501)	102
Tabel 5.34. Spesifikasi Cation Exchanger (CE-501).....	103
Tabel 5.35. Spesifikasi Anion Exchanger (AE-501)	104
Tabel 5.36. Spesifikasi Deaerator (DA-501)	105
Tabel 5.37. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-501)	106
Tabel 5.38. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-502)	107
Tabel 5.39. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-503)	108
Tabel 5.40. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-504)	109
Tabel 5.41. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-505)	110
Tabel 5.42. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-506)	111
Tabel 5.43. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-507)	112
Tabel 5.44. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-508)	113
Tabel 5.45. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-509)	114
Tabel 5.46. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-510)	115
Tabel 5.47. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-511)	116

Tabel 5.48. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-512)	117
Tabel 5.49. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-513)	118
Tabel 5.50. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-514)	119
Tabel 5.51. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-515)	120
Tabel 5.52. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-516)	121
Tabel 5.53. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-517)	122
Tabel 5.54. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-518)	123
Tabel 5.55. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-519)	124
Tabel 5.56. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-520)	125
Tabel 5.57. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-521)	126
Tabel 5.58. Spesifikasi Boiler (BO-501)	127
Tabel 5.59. Spesifikasi Blower Steam (BS-501)	128
Tabel 5.60. Spesifikasi Air Blower 601 (AB-601)	128
Tabel 5.61. Spesifikasi Air Blower 602 (AB-602)	129
Tabel 5.62. Spesifikasi Air Blower 603 (AB-603)	129
Tabel 5.63. Spesifikasi Air Blower 604 (AB-604)	130
Tabel 5.64. Spesifikasi <i>Cyclone</i> (CY-601)	130
Tabel 5.65. Spesifikasi Air Dryer (AD-601)	131
Tabel 5.66. Spesifikasi Compressor (CP-601)	131
Tabel 5.67. Spesifikasi Heater (HE-601)	132

Tabel 5.68. Spesifikasi Generator Set (GS–701)	133
Tabel 5.69. Spesifikasi CO2 Blower (BL–901)	133
Tabel 5.70. Spesifikasi CO2 Compressor (CP-901).....	134
Tabel 6.1. Kebutuhan Air Pabrik.....	136
Tabel 6.2. Standar Air untuk Kebutuhan Domestik	142
Tabel 6.3. Peralatan yang Membutuhkan Air Pendingin	144
Tabel 6.4. Peralatan yang Membutuhkan Steam	151
Tabel 6.5. Syarat-Syarat Kualitas (Mutu) Air Limbah.....	158
Tabel 6.6. Daftar Instrumentasi Alat	166
Tabel 7.1. Perincian Luas Area Pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat.....	173
Tabel 8.1. Jadwal kerja masing - masing regu	195
Tabel 8.2. Perincian Tingkat Pendidikan.....	196
Tabel 8.3. Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat	197
Tabel 8.4. Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan	198
Tabel 9.1. <i>Fixed Capital Investment</i>	204
Tabel 9.2. <i>Manufacturing Cost</i>	206
Tabel 9.3. <i>General Expenses</i>	206
Tabel 9.4. Biaya Administratif	207
Tabel 9.5. <i>Minimum Acceptable Persent Return On Investment</i>	208
Tabel 9.6. <i>Acceptable payout time</i> untuk tingkat resiko pabrik	209

Tabel 9.7. Hasil uji kelayakan ekonomi	211
--	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Grafik Kebutuhan (Impor) Magnesium Sulfat di Indonesia.....	11
Gambar 2.2. Perbandingan Diaagram Alir Proses Pembuatan Magnesium Sulfat	19
Gambar 6.1. Diagram Alir Pengolahan Air.....	136
Gambar 7.1. Peta Kabupaten Gresik	174
Gambar 7.2. Area Kawasan Industri JIPE Gresik.....	174
Gambar 7.3. Tata Letak Pabrik	175
Gambar 7.4. Tata Letak Unit Proses	176
Gambar 8.1. Struktur Organisasi Perusahaan.....	181
Gambar 9.1. Grafik Analisa Ekonomi.....	210
Gambar 9.2. Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i>	211

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang sedang giat melaksanakan pembangunan nasional dalam berbagai bidang. Salah satu bidang yang sedang dikembangkan dan perlu ditingkatkan adalah bidang perekonomian pada sektor industri. Sampai saat ini, pembangunan industri di Indonesia terus mengalami peningkatan terutama pembangunan industri kimia, baik yang menghasilkan produk jadi maupun produk untuk diolah lebih lanjut. Pembangunan industri kimia ini sangat penting karena dapat mengurangi pengeluaran devisa negara akan banyaknya impor bahan kimia dari industri luar negeri. Salah satu industri yang perlu didirikan di Indonesia adalah pabrik magnesium sulfat (Jesika, 2019)

Magnesium sulfat adalah suatu senyawa kimia garam anorganik yang mengandung magnesium, sulfur, dan oksigen. Padatan kristal berwarna putih ini memiliki rumus kimia MgSO_4 . Magnesium sulfat banyak digunakan di berbagai bidang, seperti industri kertas, industri kimia, industri makanan, industri farmasi, industri pupuk, peternakan, dan lain sebagainya (Kirk-Othmer, 2004).

Sampai saat ini pabrik magnesium sulfat belum ada di Indonesia. Faktor yang mempengaruhi berdirinya industri yang masih minim seperti, alokasi belanja negara dibidang teknologi yang masih kurang dibanding negara lain, perencanaan pembelian atau pembuatan teknologi yang tidak tepat sasaran, rendahnya produktivitas tenaga kerja dalam suatu industri dan lemahnya litbang (penelitian dan pengembangan) akibat lembaga pendidikan dan penelitian yang tidak didukung penuh oleh pemerintah dan industri. Saluruh faktor tersebut melemahkan pendidikan di Indonesia dalam persaingan global dibanding kebanyakan negara ASEAN lainnya dan berdampak pada lemahnya investasi asing di Indonesia (Soen, 2019).

Belum adanya pabrik magnesium sulfat yang terdapat di Indonesia menyebabkan hingga saat ini, kebutuhan dari magnesium sulfat masih dipenuhi dengan mengimpor dari negara lain seperti China, India, dan Amerika. Hal ini disebabkan oleh produktivitas tenaga kerja rendah, kemampuan menghasilkan uang yang rendah, kekuatan ekonomi negara yang melemah, biaya modal menjadi tinggi, sangat minimnya sumber pendanaan dan investasi riset terbatas (Soen, 2019).

Oleh karena itu, adanya pendirian pabrik baru magnesium sulfat ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri dan membuka lapangan pekerjaan baru sehingga mengurangi angka pengangguran di Indonesia.

1.2 Kegunaan Produk

Magnesium sulfat memiliki berbagai macam kegunaan. Penggunaan magnesium sulfat dalam berbagai bidang memiliki spesifikasi tersendiri.

Magnesium sulfat digunakan pada bidang-bidang berikut :

1. Bidang farmasi, MgSO_4 digunakan sebagai sediaan elektrolit atau mineral yang bekerja dengan mengganti magnesium pada pasien yang memiliki kadar magnesium rendah pada tubuh karena penyakit atau pengobatan dengan obat-obatan tertentu, untuk pengotan kejang pada pre-eklamsia akut atau eklamsia, akut nefritis pada anak-anak. Kemurnian yang dipakai pada bidang farmasi yaitu 20% (ISO, 2015).
2. Bidang pertanian, MgSO_4 ditambahkan pada pupuk untuk meningkatkan plavanoid pada tumbuhan. Kemurnian yang dipakai pada bidang ini yaitu 26% (Fitriani, 2010).
3. Bidang peternakan, MgSO_4 digunakan sebagai bahan tambahan pada pakan ternak yang berfungsi sebagai suplementasi hewan ternak yang mengalami stres. Kemurnian yang dipakai pada bidang ini yaitu 0,5% (O'Driscoll et al, 2013).
4. Industri Kertas, MgSO_4 pada industri ini digunakan untuk delignifikasi oksigen pada kayu lunak tetapi juga digunakan bersamaan dengan natrium silikat untuk meningkatkan masa pakai hidrogen peroksida dalam proses pemutihan berbasis oksigen. Kemurnian yang dipakai pada bidang ini yaitu 0,25% (APKI, 2008).

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Magnesium karbonat dan asam sulfat merupakan bahan baku dalam pembuatan magnesium sulfat. Karena belum adanya pabrik yang memproduksi magnesium karbonat, maka magnesium karbonat didapatkan dengan impor. Sedangkan untuk asam sulfat Indonesia memiliki cukup banyak pabrik yang memproduksi asam sulfat, sehingga tidak perlu mengimpor dari negara lain. Pada perancangan pabrik magnesium sulfat dengan kapasitas 15.000 ton/tahun membutuhkan bahan baku berupa magnesium sulfat sebesar 5.259 ton/tahun dan asam sulfat sebesar 6.180 ton/tahun. Data pabrik yang memproduksi magnesium karbonat dan asam sulfat beserta kebutuhan bahan baku dapat dilihat pada Tabel 1.1, Tabel 1.2 dan Tabel 1.3 berikut:

Tabel 1.1. Kebutuhan bahan baku

No.	Komponen	Massa (ton/tahun)
1.	MgSO ₄	15.000
2.	MgCO ₃	5.259
3.	H ₂ SO ₄	6.180

Tabel 1.2 Daftar pabrik asam sulfat di Indonesia

No.	Nama pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)	Konsentrasi
1.	PT. Petrokimia Gresik	Gresik, Jawa Timur	400.000	98%
2.	PT. Timuraya Tunggal	Karawang, Jawa Barat	82.500	98%
3.	PT. Petro Jordan Abadi	Gresik, Jawa Timur	600.000	98,5%
4.	PT. Indo Barat Rayon	Purwakarta, Jawa Barat	82.500	98%

(TKDN Kemenperin, 2022)

Tabel 1.3. Daftar pabrik magnesium karbonat di berbagai negara

No.	Negara	Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)	Konsentrasi
1.		PT. Jiangsu Kolod Food Ingredient Co., Ltd.	Jiangsu, Tiongkok	10.000	99,2%
2.	China	PT. Jiangsu Zehui Magnesium New Material	Shangdong, Tiongkok	100.000	98%

		Co, Ltd.			
3.		PT. Hebei	Hebei,	1.000.000	99%
		Guanlian New	Tiongkok		
		Material Co.,			
		Ltd.			
4.		PT. Xiamen	Xiamen,	60.000	98%
		Ditai Chemical	Tiongkok		
		Co.,Ltd.,			
5.		PT. National	Maharast	600	99%
		Chemical			
		Industries			
6.	India	PT. Jaykem	Mumbai,	720	98%
		Enterprises	India		
7.		Agrosyn	Gujarat,	700	99%
		Impex	India		
8.		California	California,	440.000	99%
		Chemical	US		
		Company			
9.	Amerika	Sundland	California,	500.000	99%
	Serikat	Chemical	US		
10.		Custom	Florida, US	400.000	99%
		Chemical			
		Service LLC			

Dari analisa pemasok bahan baku yang telah dijabarkan diatas dengan mempertimbangkan harga untuk menekan biaya produksi. Berdasarkan pertimbangan tersebut dipilihlah untuk pemasok magnesium karbonat berasal dari PT. Xiamen Ditai Chemical Co.,Ltd.,dan asam sulfat berasal dari PT. Petrokimia Kimia Gresik. Berikut harga bahan baku dan produk dapat dilihat pada Tabel 1.4:

Tabel 1.4. Harga bahan baku dan produk

	Bahan	Harga (US \$/ Kg)
Produk	Magnesium Sulfat	1,8
	Karbon Dioksida	0,4
Bahan baku	Magnesium Karbonat	1,02
	Asam Sulfat	0,094

Sumber: diakses pada tanggal 11 November 2022

- www.alibaba.com
- Kurs 1 USD = 15.662,50 <http://kursdollar.net/bank/bi./php> (diakses pada 11 November 2022)

1.4 Analisa Pasar

Analisis pasar merupakan langkah untuk mengetahui besar minat pasar terhadap suatu produk. Target pasar prarancangan pabrik magnesium sulfat ini adalah Indonesia. Hal ini didasari karena agar memenuhi kebutuhan magnesium sulfat di Indonesia, yang selama ini dipenuhi oleh impor dari luar negeri. Berikut daftar pabrik yang membutuhkan magnesium sulfat sebagai bahan baku pada Tabel1.5:

Tabel 1.5. Data konsumsi magnesium sulfat di Indonesia

No.	Nama Pabrik	Produk	Alamat	Kapasitas Produksi (ton/tahun)
1.	PT. Indah Kiat Pulp & Paper Tbk.	Kertas dan pulp	Jl. M.H. Thamrin No. 51 Central Jakarta, DKI Jakarta	50.000
2.	PT. Suparma Tbk.	Kertas dan pulp	Jl. Mastrip No. 856, Karangpilang, Surabaya, Jawa Timur	250.000
3.	PT. Kedawung Setia Industrial Tbk.	Kertas dan pulp	Jl. Mastrip No. 862, Warugunung- karangpilang, Surabaya, Jawa Timur	300.000
4.	PT. Otsuka Indonesia	Obat	Jl. Sumber Waras No.25, Karang Sono, Kalirejo, Kec. Lawang, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65216	300
5.	PT. Magnesium Gosari Internasional	Pupuk	Jl. Raya Sekapuk No. KM 32, Doudo, Kec. Ujungpangkah, Kab.	300.000

		Gresik, Jawa Timur	
6.	PT. Polowijo Gosari Indonesia	Pupuk	Jl. Deandles, Doudo, Kec. Panceng,
			Kab. Gresik, Jawa Timur
7.	CJ Feed Jombang	Pakan Ternak	Jl. Raya Mojoagung Jombang Km 2,
			Jombang, Jawa Timur
8.	PT. Cargil Indonesia	Pakan Ternak	Jl. Raya Semaran-Purwodadi,
			Grobogan, Jawa Tengah

Sumber: <http://daftarperusahaanindonesia.com>

1.5 Kapasitas Rancangan

1.5.1 Data Impor dalam Negeri

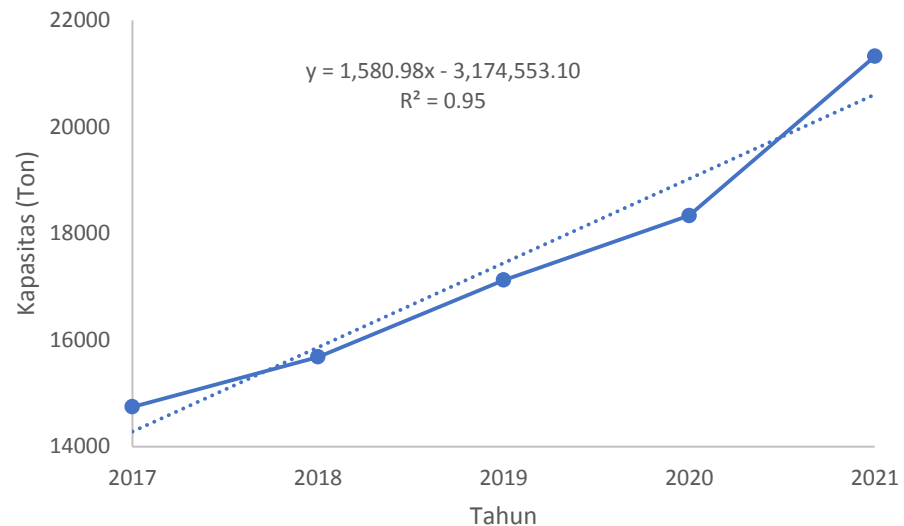
Hingga saat ini Indonesia masih mengimpor magnesium sulfat dari luar negeri. Di bawah ini merupakan Tabel 1.6 yang menunjukkan data impor magnesium sulfat beberapa tahun terakhir.

Tabel 1.6. Data Impor Magnesium Sulfat di Indonesia

Tahun Ke-	Tahun	Impor (ton)
1	2017	14743,663
2	2018	15682,074
3	2019	17124,292
4	2020	18333,519
5	2021	21322,83

Sumber: <http://www.bps.go.id>, 2022

Dari Tabel 1.6 akan diperoleh grafik sebagai berikut:



Gambar 1.1. Grafik Kebutuhan (Impor) Magnesium Sulfat di Indonesia

Berdasarkan grafik diatas, didapatkan persamaan garis lurus:

$$y = 1.580,98x - 3.174.553,10$$

$$y = 1.580,98(2027) - 3.174.553,10$$

$$y = 30089,0988 \approx 30.000 \text{ ton}$$

dimana y adalah kebutuhan dan x adalah tahun. Dari persamaan tersebut, maka dapat diketahui kebutuhan impor magnesium sulfat di Indonesia pada tahun 2027 adalah 30.000 ton/tahun. Pabrik magnesium sulfat direncanakan beroperasi pada tahun 2027 bertujuan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, sehingga dapat menekan jumlah impor. Akan tetapi, berdasarkan UU No. 5 tahun 1999, pelaku usaha dilarang melakukan penguasaan atas produksi dan/atau pemasaran barang dan/atau jasa yang dapat mengakibatkan terjadinya praktek monopoli lebih

dari 50% pangsa pasar satu jenis barang atau jasa tertentu. Dengan demikian, kapasitas produksi akan diambil 50% dari proyeksi kebutuhan pada tahun 2027 yaitu sebesar 15.000 ton/tahun.

1.6 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan hal yang sangat penting pada perancangan suatu pabrik karena merupakan salah satu faktor yang menentukan kelangsungan, perkembangan, dan keuntungan pabrik yang akan didirikan secara teknik maupun ekonomis dimasa yang akan datang. Lokasi yang dipilih untuk pendirian pabrik Magnesium Sulfat dengan kapasitas 15.000 ton/tahun adalah Gresik, Jawa Timur. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik adalah sebagai berikut:

1. Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan faktor yang penting dalam memilih lokasi pabrik. Lokasi sumber bahan baku yang lebih dekat dengan lokasi pabrik akan sangat menguntungkan dari segi ekonomis dan waktu. Kebutuhan bahan baku Magnesium Karbonat (MgCO_3) diperoleh dari PT.Xiamen Ditai Chemical Co.,Ltd., China. Meskipun bahan baku magnesium karbonat diperoleh secara impor dari China, akan tetapi hal ini tidak menghalangi pendistribusian bahan baku magnesium karbonat karena bahan baku Magnesium Karbonat dapat dilakukan melalui jalur laut. Untuk bahan baku Asam Sulfat (H_2SO_4) diperoleh dari PT.

Petrokimia Gresik, maka lokasi dipilih di daerah kawasan industri Gresik, Jawa Timur.

2. Fasilitas Transportasi

Ketersediaan transportasi yang memadai sangat mendukung dalam mendistribusikan produk dan bahan baku yang akan dipakai. Jalur akses melalui darat dapat ditempuh melalui Jalan Deandles (Jalan Nasional) Gresik-Tuban dan Jalan Tol Manyar yang berjarak 20 KM. Hal ini akan memudahkan dalam transportasi bahan baku maupun pendistribusian produk. selain jalur darat, lokasi Gresik berdekatan dengan pelabuhan dan yakni pelabuhan Tanjung Perak. Dengan adanya jalur transportasi tersebut, diharapkan agar pendistribusian tidak terhambat.

3. Utilitas

Utilitas yang diperlukan adalah air, bahan bakar serta listrik. Listrik merupakan energi yang sangat penting ketersediannya untuk menunjang berjalannya pabrik. Terdapat Pembangkit Listrik Tenaga Uap dan Gas (PLTGU) yang dikelola oleh PT. Pembangkitan Jawa – Bali di Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Pembangkit ini mengoperasikan 2 PLTG, 4 PLTU, dan 3 blok PLTGU dengan total kapasitas 2.218 MW.

Wilayah Kabupaten Gresik didominasi oleh perairan, dimana wilayah daratan seluas 1.191,25 km² sedangkan wilayah perairan seluas 5.773,80 km². Hampir sepertiga bagian dari wilayah Kabupaten Gresik merupakan daerah pesisir pantai, yaitu sepanjang 140 km, 69 km di daratan memanjang mulai dari Kecamatan Kebomas, Gresik, Manyar, Bungah, Ujungpangkah, Sidayu dan Panceng, serta 71 km di Kecamatan Tambak

dan Sangkapura yang berada di Pulau Bawean. Selain pesisir pantai, Kabupaten Gresik juga memiliki 6 Daerah Aliran Sungai (DAS) yaitu Tlogosandang, Sibro, Canga'an, Bengawan Solo, Corong, dan Lamong. DAS Bengawan Solo dan DAS Kali Lamong merupakan DAS yang memungkinkan untuk memenuhi kebutuhan air pabrik berupa air sungai karena debitnya yang besar (Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur, 2017).

DAS Bengawan Solo dan DAS Kali Lamong merupakan anak sungai Bengawan Solo yang bermuara di Kabupaten Gresik. DAS Bengawan Solo melayani wilayah Kabupaten Gresik bagian utara meliputi wilayah Panceng, Ujung Pangkah, Sidayu, Bungah, Dukun, dan Manyar. Luas DAS Bengawan Solo $\pm 16.000 \text{ km}^2$ dengan catchment area sebesar $8.465,87 \text{ km}^2$ dan panjang aliran sungai sepanjang 200 km. Lebar sungai berkisar antara 160 - 180 meter dengan kedalaman rata-rata 3-10 meter (Kementrian PUPR, 2010).

DAS Kali Lamong merupakan aliran sungai yang melayani wilayah Kabupaten Gresik bagian tengah meliputi wilayah Duduk Sampeyan, Balong Panggang, Benjeng, Cerme, Gresik, dan Kebomas. Luas DAS Kali Lamong $\pm 720 \text{ km}^2$ dengan catchment area sebesar $798,77 \text{ km}^2$ dan panjang aliran sungai sepanjang 92 km. Lebar sungai berkisar antara 50 - 60 meter dengan kedalaman rata-rata 3-7 meter (Kementrian PUPR, 2010).

4. Pemasaran

Lokasi pemasaran akan mempengaruhi harga produk dan biaya transportasi. Letak yang berdekatan dengan pasar penyebaran produk adalah pertimbangan penting karena akan lebih mudah terjangkau konsumen dan mengurangi biaya transportasi. Konsumen utama Magnesium Sulfat adalah industri farmasi, peternakan, kertas, pupuk dan kimia lainnya yang Sebagian besar berlokasi di daerah Jawa, terkhususnya Jawa Timur. Adanya jalanlintas Jakarta – Merak semakin mendukung distribusi produk. Selain itu, terdapat transportasi laut, yaitu pelabuhan Merak yang dapat digunakan untuk distribusi produk ke pulau-pulau lainnya di Indonesia, sehingga pemasaran produk di dalam dan di luar Pulau Jawa dapat ditangani dengan mudah. Pemilihan lokasi pabrik di Gresik juga mengingat daerah tersebut merupakan daerah utama transportasi (Jalur Pantura) dan sentral industri Jawa Timur selain Surabaya.

5. Keadaan Lingkungan

Berdasarkan data Gresik pada tahun 2022, Kondisi iklim dan cuaca masyarakat Gresik sudah terbiasa dengan adanya industri. Hal tersebut berdampak baik sehingga kawasan ini tidak menimbulkan masalah lingkungan dan adaptasi masyarakat yang tinggal di dekat lokasi pabrik. Iklim Kabupaten Gresik termasuk tropis dengan temperatur rata-rata 28,5°C dan kelembaban udara rata-rata 2.245 mm/tahun.

6. Tenaga Kerja

Tenaga kerja di Indonesia cukup banyak sehingga penyediaan tenaga kerja tidak begitu sulit diperoleh. Menurut data Gresik Dalam Angka 2021 yang dikeluarkan oleh BPS, Kabupaten Gresik memiliki angkatan kerja berjumlah 405.385 laki - laki dan 259.138 perempuan. Sebanyak 27.072 laki - laki dan 11.609 perempuan merupakan pengangguran. Dengan besarnya tingkat pengangguran, pendirian pabrik akan membuka lapangan pekerjaan baru sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan warga Kabupaten Gresik. Tenaga kerja yang berpendidikan menengah atau kejuruan dapat diambil dari daerah sekitar pabrik. Sedangkan untuk tenaga ahli dapat didatangkan dari kota lain. Selain itu, lokasi pabrik mudah dijangkau oleh transportasi angkutan yang beroperasi secara permanen pada daerah lokasi pabrik.

7. Perizinan

Lokasi pabrik dipilih pada daerah khusus untuk kawasan industri, sehingga memudahkan dalam perizinan pendirian pabrik.

BAB II

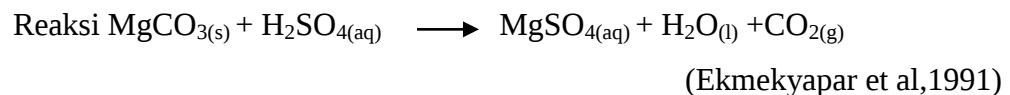
PEMILIHAN DAN URAIAN PROSES

2.1 Jenis-Jenis Proses

Terdapat 2 proses alternatif dalam pembuatan magnesium sulfat, yaitu:

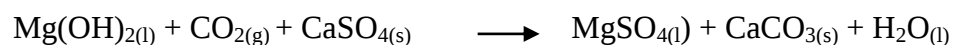
1. Reaksi antara Magnesium Karbonat dengan Asam Sulfat

Magnesium karbonat direaksikan dengan asam sulfat di dalam reaktor pada kondisi $T = 80^{\circ}\text{C}$ dan $P = 1 \text{ atm}$, maka terbentuk larutan MgSO_4 . Larutan yang terbentuk difiltrasi untuk menghilangkan impuritas, kemudian dimasukkan ke dalam *vaporizer* untuk memekatkan dan memurnikan cairan MgSO_4 sebelum dimasukkan ke *crystallizer* untuk pembentukan kristal MgSO_4 .

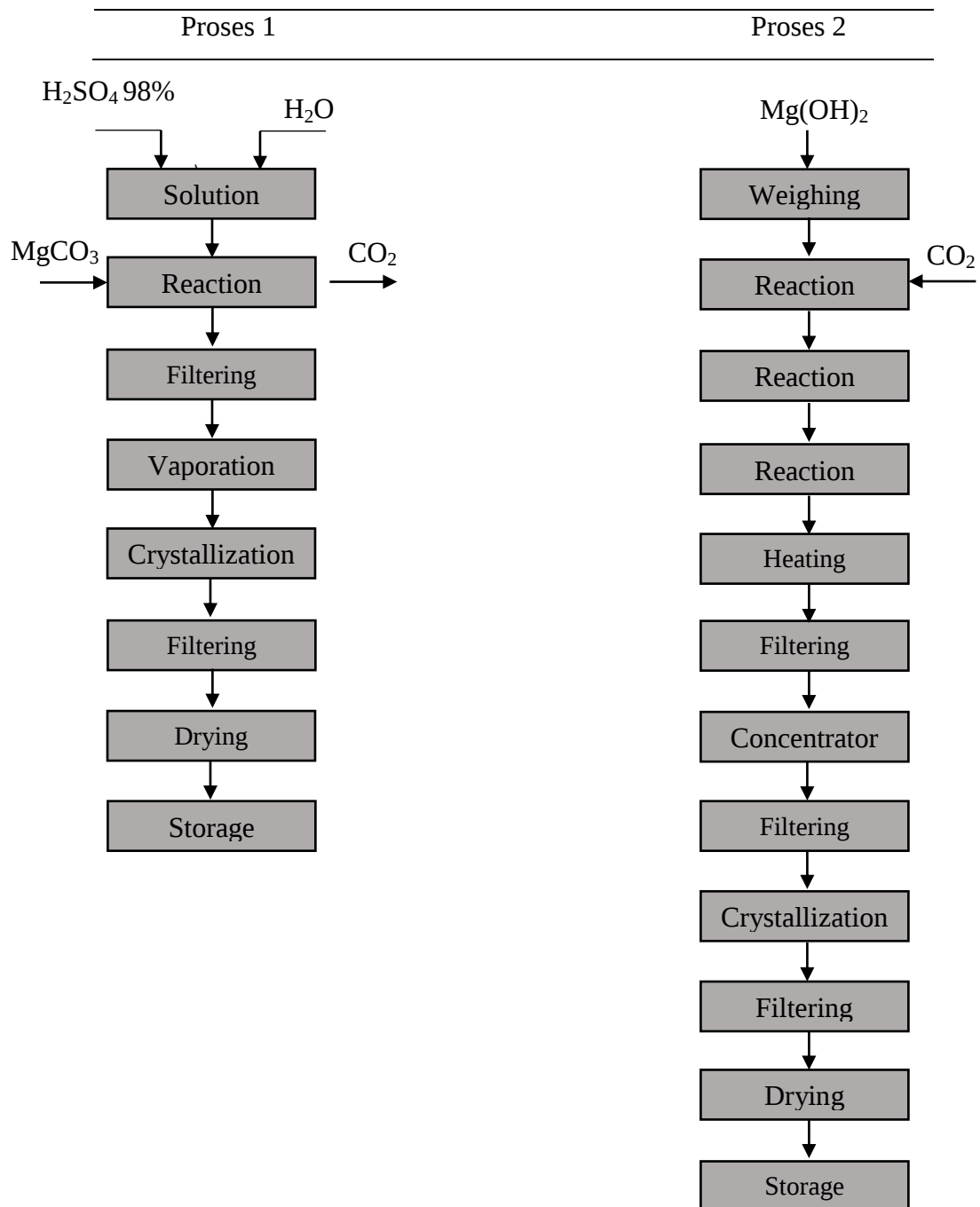


2. Reaksi antara Magnesium Hidroksida dengan Kalsium Sulfat

Proses ini menggunakan bahan baku magnesium hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) dan kalsium sulfat (CaSO_4). Kedua bahan baku ini diatur perbandingan komposisinya didalam weighing tank sebelum diumpankan kedalam *feed* tank. Suspensi ini akan dipompa dan dikarbonasi dengan karbon dioksida (CO_2) didalam reaktor yang bertujuan untuk membentuk magnesium karbonat (MgCO_3), dengan reaksi:



Magnesium karbonat yang terbentuk direaksikan dengan gypsum (CaSO_4) untuk menghasilkan magnesium sulfat (MgSO_4). Keluaran dari reaktor ini akan diumpankan ke *heating tank* pada $T = 70 - 100^\circ\text{C}$ dan dilakukan proses pemanasan untuk menghilangkan gas karbondioksida yang tersisa. Kemudian dilakukan filtrasi untuk memisahkan endapan kapur (CaCO_3). Filtrat yang terbentuk akan dipekatkan didalam concentrator, lalu difilter kembali dan dilanjutkan dengan proses kristalisasi di *crystalizer*. Kristal yang akan terbentuk difiltrasi kembali dan di keringkan untuk memperoleh produk Magnesium Sulfat (US Patent US2231327A, 1941)



Gambar 2.1 Perbandingan Diaagram Alir Proses Pembuatan Magnesium Sulfat

2.2 Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui keuntungan yang dihasilkan oleh pabrik per kg produk yang dihasilkan pada masing-masing proses yang akan digunakan. Berikut tinjauan ekonomi dari masing-masing reaksi:

a. Reaksi antara Magnesium Karbonat dengan Asam Sulfat

Pada tinjauan ekonomi, dibutuhkanlah harga-harga bahan baku. Harga-harga bahan baku tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1. berikut:

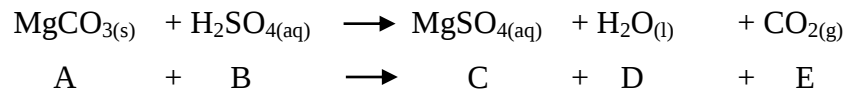
Tabel 2.1. Harga Bahan Baku dan Produk Proses I

Bahan	Konsentrasi (%)	Harga	
		USD/Kg	Rp/Kg
Magnesium Sulfat (MgSO_4) BM: 120,37 Kg/Kmol	98	1,8	28.192,50
Karbondioksida (CO_2) BM: 44,0095 Kg/Kmol	98	0,23	3.602,37
Magnesium Karbonat (MgCO_3) BM: 84,3139 Kg/Kmol	99	0,80	12.530
Asam Sulfat (H_2SO_4) BM: 98,08 Kg/Kmol	98	0,094	1.472,27

Sumber: diakses pada tanggal 11 November 2022

- www.alibaba.com
- Kurs 1 USD = 15.662,50 <http://kursdollar.net/bank/bi./php>
(diakses pada 11 November 2022)

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Konversi reaksi (X_A) : 99%

Tabel 2.2. Stoikiometri reaksi

Komponen	Simbol	Mol Awal	Mol Reaksi	Mol Akhir
$\text{MgCO}_3(s)$	A	F_{A0}	$-F_{A0} \cdot X_A$	$F_A = F_{A0}(1 - X_A)$
$\text{H}_2\text{SO}_4(l)$	B	F_{B0}	$-F_{A0} \cdot X_A$	$F_B = F_{B0} - F_{A0} \cdot X_A$
$\text{MgSO}_4(s)$	C	-	$F_{A0} \cdot X_A$	$F_C = F_{A0} \cdot X_A$
$\text{H}_2\text{O}(l)$	D	-	$F_{A0} \cdot X_A$	$F_D = F_{A0} \cdot X_A$
$\text{CO}_2(g)$	E	-	$F_{A0} \cdot X_A$	$F_E = F_{A0} \cdot X_A$

(Fogler, 2006 Hal 107)

Keterangan:

$$X_A = \frac{\text{mol A yang bereaksi}}{\text{mol A mula-mula}}$$

(Fogler, 2006 Hal 38)

Waktu operasi selama 330 hari dalam setahun

Mol Magnesium Sulfat (F_c)

$$F_c = 15.000 \text{ Ton/Tahun} = 15.000.000 \text{ Kg/Tahun}$$

$$F_c = 44.545,45 \text{ Kg/Hari} = 1893,9393 \text{ Kg/Jam}$$

$$F_c = \frac{\text{Massa magnesium sulfat}}{\text{BM magnesium sulfat}}$$

$$= 7,7198 \text{ Kmol/Jam}$$

Mol Awal Magnesium Karbonat (F_{A0})

Berdasarkan Tabel 2.2 Stoikiometri Reaksi, maka:

$$\begin{aligned} F_C &= F_{A0} \cdot X_A \\ F_{A0} &= \frac{F_c}{X_A} \\ F_{A0} &= \frac{7,7198 \text{ Kmol/Jam}}{99\%} \\ F_{A0} &= 7,7978 \text{ Kmol/Jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Magnesium Karbonat} &= \text{mol Magnesium Karbonat} \times \text{BM Magnesium} \\ &\quad \text{Karbonat} \\ &= 7,7978 \text{ Kmol/Jam} \times 84,31 \text{ Kg/Kmol} \\ &= 657,4653 \text{ Kg/Jam} \end{aligned}$$

Mol awal Asam Sulfat (F_{B0})

Diketahui: Rasio mol Asam Sulfat terhadap Magnesium Karbonat = 1:1

(Ekmekyapar et al, 1991)

$$\begin{aligned} \text{Mol Asam Sulfat (} F_{B0} \text{)} &= \text{Mol Magnesium Karbonat} \times 1 \\ &= 7,7978 \text{ Kmol/Jam} \times 1 \\ &= 7,7978 \text{ Kmol/Jam} \end{aligned}$$

Mol Air (F_D)

Berdasarkan table 2.2 Stoikiometri Persamaan, maka:

$$\begin{aligned} F_D &= F_{A0} \cdot X_A \\ F_D &= 7,7978 \times 99\% \\ F_D &= 7,7198 \text{ Kmol/Jam} \end{aligned}$$

Mol Karbondioksida (F_E)

Berdasarkan tabel 2.2 Stoikiometri Persamaan, maka:

$$F_E = F_{A0} \cdot X_A$$

$$F_E = 7,7978 \times 99\%$$

$$F_E = 7,7198 \text{ Kmol/Jam}$$

Tahapan reaksi pembentukan MgSO_4

	MgCO_3	+	H_2SO_4	→	MgSO_4	+	H_2O	+	CO_2
Mula-mula	7,7978		7,7978		-		-		-
Bereaksi	7,7198		7,7198		7,7198		7,7198		7,7198
Sisa	0,0779		0,0779		7,7198		7,7198		7,7198

- Kebutuhan biaya tahunan

a) Bahan baku

Magnesium karbonat MgCO_3 99% wt:

$$\text{BM } \text{MgCO}_3 = 84,31 \text{ Kg/Kmol}$$

$$\text{Mol } \text{MgCO}_3 = 7,7978 \text{ Kmol/Jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } \text{MgCO}_3 &= \text{Mol } \text{MgCO}_3 \times \text{BM } \text{MgCO}_3 \\ &= 7,7978 \text{ Kmol/Jam} \times 84,31 \text{ Kg/Kmol} \\ &= 657,4653 \text{ Kg/Jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa umpan } \text{MgCO}_3 &= \frac{657,4653}{99\%} \text{ Kg/Jam} \\ &= 664,1063 \text{ Kg/Jam} \\ &= 5.259.722,538 \text{ Kg/Tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya kebutuhan } \text{MgCO}_3 &= \text{Massa } \text{MgCO}_3 \times \text{Harga } \text{MgCO}_3 \\ &= 5.259.722,538 \text{ Kg/Tahun} \times 0,80 \text{ \$/Kg} \\ &= 4.207.778,03 \text{ \$/Tahun} \end{aligned}$$

Asam sulfat H_2SO_4 98% wt:

$$\text{BM } \text{H}_2\text{SO}_4 = 98,07 \text{ Kg/Kmol}$$

$$\text{Mol } \text{H}_2\text{SO}_4 = 7,7978 \text{ Kmol/Jam}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa H}_2\text{SO}_4 &= \text{Mol H}_2\text{SO}_4 \times \text{BM H}_2\text{SO}_4 \\
 &= 7,7978 \text{ Kmol/Jam} \times 98,07 \text{ Kg/Kmol} \\
 &= 764,8110 \text{ Kg/Jam} \\
 \text{Massa umpan H}_2\text{SO}_4 &= \frac{764,8110}{98\%} \text{ Kg/Jam} \\
 &= 780,4193 \text{ Kg/Jam} \\
 &= 6.180.921,565 \text{ Kg/Tahun} \\
 \text{Biaya kebutuhan H}_2\text{SO}_4 &= \text{Massa H}_2\text{SO}_4 \times \text{Harga H}_2\text{SO}_4 \\
 &= 6.180.921,565 \text{ Kg/Tahun} \times 0,094 \text{ \$/Kg} \\
 &= 581.006,6271 \text{ \$/Tahun} \\
 \text{Biaya total umpan pada proses:} \\
 \text{Biaya total umpan} &= (4.207.778,03 + 581.006,6271) \text{ \$/Tahun} \\
 &= 4.788.784,658 \text{ \$/Tahun}
 \end{aligned}$$

b) Produk

Magnesium sulfat MgSO_4 :

$$\begin{aligned}
 \text{BM MgSO}_4 &= 120,36 \text{ Kg/Kmol} \\
 \text{Mol MgSO}_4 &= 7,7198 \text{ Kmol/Jam} \\
 \text{Massa MgSO}_4 &= \text{Mol MgSO}_4 \times \text{BM MgSO}_4 \\
 &= 7,7198 \text{ Kmol/Jam} \times 246 \text{ Kg/Kmol} \\
 &= 1893,9393 \text{ Kg/Jam} \\
 &= 15.000.000 \text{ Kg/Tahun} \\
 \text{Hasil Penjualan MgSO}_4 &= \text{Massa MgSO}_4 \times \text{Harga MgSO}_4 \\
 &= 15.000.000 \text{ Kg/Tahun} \times 1,8 \text{ \$/Kg} \\
 &= 27.000.000 \text{ \$/Tahun}
 \end{aligned}$$

Magnesium sulfat CO_2 :

$$\begin{aligned}
 \text{BM CO}_2 &= 44,0095 \text{ Kg/Kmol} \\
 \text{Mol CO}_2 &= 7,7198 \text{ Kmol/Jam} \\
 \text{Massa CO}_2 &= \text{Mol CO}_2 \times \text{BM CO}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 7,7198 \text{ Kmol/Jam} \times 44,0095 \text{ Kg/Kmol} \\
 &= 339,7467 \text{ Kg/Jam} \\
 &= 2.690.794,183 \text{ Kg/Tahun} \\
 \text{Hasil Penjualan CO}_2 &= \text{Massa CO}_2 \times \text{Harga CO}_2 \\
 &= 2.690.794,183 \text{ Kg/Tahun} \times 0,23 \text{ \$/Kg} \\
 &= 618.882,662 \text{ \$/Tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya total produk} &= 27.000.000 + 618.882,662 \text{ \$/Tahun} \\
 &= 27.618.882,66 \text{ \$/Tahun}
 \end{aligned}$$

Sehingga potensi ekonomi pada proses ini adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Potensi ekonomi} &= \text{biaya total produk} - \text{biaya total umpan} \\
 &= (27.618.882,66 - 4.788.784,658) \text{ \$/Tahun} \\
 &= 22.830.090,28 \text{ \$/Tahun}
 \end{aligned}$$

b. reaksi antara magnesium hidroksida dan kalsium sulfat

Pada tinjauan ekonomi, dibutuhkanlah harga-harga bahan baku.

Harga-harga bahan baku tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3. berikut:

Tabel 2.3. Harga Bahan Baku dan Produk Proses II

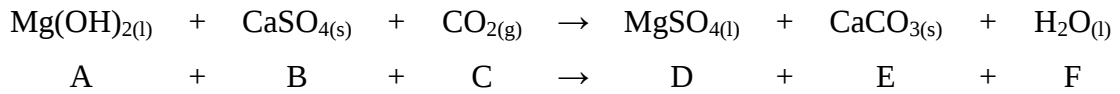
Bahan	Konsentration (%)	Harga	
		USD/Kg	Rp/Kg
Magnesium Sulfat (MgSO ₄) BM: 120,366 Kg/Kmol	98	1,8	28.192,50
Kalsium Karbonat (CaCO ₃) BM: 100,0869 Kg/Kmol	98	0,7	10.963,75
Magnesium Hidroksida (Mg(OH) ₂) BM: 58,3197 Kg/Kmol	98	0,6	9.397,5
Karbon Dioksida (CO ₂) BM: 44Kg/Kmol	98	0,23	3.602,37
Kalsium Sulfat (CaSO ₄) BM: 136,14 Kg/Kmol	98	0,9	14.096,25

Sumber: diakses pada tanggal 11 November 2022

- www.alibaba.com
- Kurs 1 USD = 15.662,50 <http://kursdollar.net/bank/bi./php> (diakses pada 11 November 2022)

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

reaksi:



Konversi reaksi (X_A) : 70%

Basis Perhitungan : 1 Jam

Tabel 2.4. Stoikiometri Reaksi

Komponen	Simbol	Mol Awal	Mol Reaksi	Mol Akhir
$\text{Mg(OH)}_{2(l)}$	A	F_{A0}	$-F_{A0} \cdot X_A$	$F_A = F_{A0} (1 - X_A)$
$\text{CaSO}_{4(s)}$	B	F_{B0}	$-F_{A0} \cdot X_A$	$F_B = F_{B0} - F_{A0} \cdot X_A$
$\text{CO}_{2(g)}$	C	F_{C0}	$F_{A0} \cdot X_A$	$F_C = F_{C0} + F_{A0} \cdot X_A$
$\text{MgSO}_{4(s)}$	D	-	$F_{A0} \cdot X_A$	$F_D = F_{A0} \cdot X_A$
$\text{CaCO}_{3(s)}$	E	-	$F_{A0} \cdot X_A$	$F_E = F_{A0} \cdot X_A$
$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	F	-	$F_{A0} \cdot X_A$	$F_F = F_{A0} \cdot X_A$

Keterangan:

$$X_A = \frac{\text{mol A yang bereaksi}}{\text{mol A mula-mula}}$$

Waktu operasi selama 330 hari dalam setahun

Mol Magnesium Sulfat (F_D)

$$F_D = 14.700 \text{ Ton/Tahun} = 14.700.000 \text{ Kg/Tahun}$$

$$F_D = 44.545,45 \text{ Kg/Hari} = 1.856,06 \text{ Kg/Jam}$$

$$F_D = \frac{\text{Massa magnesium sulfat}}{\text{BM magnesium sulfat}}$$

$$= \frac{1856,06 \text{ Kg/Jam}}{120,36 \text{ Kg/Kmol}}$$

$$= 15,42 \text{ Kmol/Jam}$$

Mol Awal magnesium hidroksida (F_{A0})

Berdasarkan table 2.4 Stoikiometri Persamaan, maka:

$$F_D = F_{A0} \cdot X_A$$

$$F_{A0} = \frac{F_D}{X_A}$$

$$F_{A0} = \frac{15,42 \text{ Kmol/Jam}}{70\%}$$

$$F_{A0} = 22,02 \text{ Kmol/Jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Magnesium hidroksida} &= \text{mol Magnesium hidroksida} \times \text{BM} \\ \text{Magnesium hidroksida} &= 22,02 \text{ Kmol/Jam} \times 58,31 \text{ Kg/Kmol} \\ &= 1.284,77 \text{ Kg/Jam} \end{aligned}$$

Mol awal Kalsium Sulfat (F_{B0})

Diketahui: Rasio mol Kalsium Sulfat terhadap Magnesium Hidroksida = 1:1

$$\begin{aligned} \text{Mol Kalsium Sulfat (} F_{B0} \text{)} &= \text{Mol Magnesium Hidroksida} \times 1 \\ &= 22,02 \text{ Kmol/Jam} \times 1 \\ &= 22,02 \text{ Kmol/Jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Kalsium Sulfat} &= \text{Mol Kalsium Sulfat} \times \text{BM Kalsium Sulfat} \\ &= 22,02 \text{ Kmol/Jam} \times 136,14 \text{ Kg/Kmol} \\ &= 2.999,14 \text{ Kg/Jam} \end{aligned}$$

Mol awal Karbon Dioksida (F_{C0})

Diketahui: massa Karbon Dioksida 16% dari total massa campuran Kalsium Sulfat dan Magnesium Hidroksida (US Patent US2231327A, 1941).

$$\begin{aligned}
 F_C &= (\text{magnesium hidroksida} + \text{massa kalsium sulfat}) \times 16\% \\
 &= (1.284,77 + 2.999,14) \text{ Kg/Jam} \times 16\% \\
 &= 685,42 \text{ kg/jam} \\
 F_C &= \frac{\text{Massa karbon dioksida}}{\text{BM karbon dioksida}} \\
 &= \frac{685,42 \text{ kg/jam}}{44 \text{ Kg/Kmol}} \\
 &= 15,57 \text{ Kmol/Jam}
 \end{aligned}$$

Mol kalsium karbonat (F_E)

Berdasarkan table 2.4 Stoikiometri Persamaan, maka:

$$\begin{aligned}
 F_E &= F_{A0} \cdot X_A \\
 F_E &= 22,02 \times 70\% \\
 F_E &= 15,42 \text{ Kmol/Jam}
 \end{aligned}$$

Mol air (F_F)

Berdasarkan table 2.4 Stoikiometri Persamaan, maka:

$$\begin{aligned}
 F_F &= F_{A0} \cdot X_A \\
 F_F &= 22,02 \times 70\% \\
 F_F &= 15,42 \text{ Kmol/Jam}
 \end{aligned}$$

Tahapan reaksi pembentu MgSO_4

	Mg(OH)_2	+	CaSO_4	+	CO_2	$\rightarrow$	MgSO_4	+	CaCO_3	+	H_2O
Mula-mula	22,02		22,02		15,57		-		-		-
Bereaksi	15,42		15,42		15,42		15,42		15,42		15,42
Sisa	6,6		6,6		0,15		15,42		15,42		15,42

- Kebutuhan biaya tahunan

- c) Bahan baku

Magnesium Hidroksida $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 98% wt:

$$\text{BM } \text{Mg}(\text{OH})_2 = 58,31 \text{ Kg/Kmol}$$

$$\text{Mol } \text{Mg}(\text{OH})_2 = 22,02 \text{ Kmole/Jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } \text{Mg}(\text{OH})_2 &= \text{Mol } \text{MgCO}_3 \times \text{BM } \text{MgCO}_3 \\ &= 22,02 \text{ Kmole/Jam} \times 58,31 \text{ Kg/Kmol} \\ &= 1.284,77 \text{ Kg/Jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa umpan } \text{Mg}(\text{OH})_2 &= \frac{1.284,77}{98\%} \text{ Kmole/Jam} \\ &= 1.310,99 \text{ Kg/Jam} \\ &= 10.383.082,89 \text{ Kg/Tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya kebutuhan } \text{Mg}(\text{OH})_2 &= \text{Massa } \text{Mg}(\text{OH})_2 \times \text{Harga } \text{Mg}(\text{OH})_2 \\ &= 10.383.082,89 \text{ Kg/Tahun} \times 0,6 \text{ \$/Kg} \\ &= 6.229.849,73 \text{ \$/Tahun} \end{aligned}$$

Kalsium sulfat CaSO_4 98% wt:

$$\text{BM } \text{CaSO}_4 = 136,14 \text{ Kg/Kmol}$$

$$\text{Mol } \text{CaSO}_4 = 22,02 \text{ Kmole/Jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } \text{CaSO}_4 &= \text{Mol } \text{CaSO}_4 \times \text{BM } \text{CaSO}_4 \\ &= 22,02 \text{ Kmole/Jam} \times 136,14 \text{ Kg/Kmol} \\ &= 2.999,14 \text{ Kg/Jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa umpan } \text{CaSO}_4 &= \frac{2.999,14}{98\%} \text{ Kmole/Jam} \\ &= 3.060,35 \text{ Kg/Jam} \\ &= 24.238.000,28 \text{ Kg/Tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya kebutuhan } \text{CaSO}_4 &= \text{Massa } \text{H}_2\text{SO}_4 \times \text{Harga } \text{H}_2\text{SO}_4 \\ &= 24.238.000,28 \text{ Kg/Tahun} \times 0,9 \text{ \$/Kg} \\ &= 21.814.200,26 \text{ \$/Tahun} \end{aligned}$$

Karbondioksida CO₂ 99% wt:

$$\begin{aligned}
 \text{BM CO}_2 &= 44 \text{ Kg/Kmol} \\
 \text{Mol CO}_2 &= 15,57 \text{ Kmol/Jam} \\
 \text{Massa CO}_2 &= \text{Mol CO}_2 \times \text{BM CO}_2 \\
 &= 15,57 \text{ Kmol/Jam} \times 44 \text{ Kg/Kmol} \\
 &= 685,42 \text{ Kg/Jam} \\
 \text{Massa umpan CO}_2 &= \frac{685,42}{99\%} \text{ Kmol/Jam} \\
 &= 699,41 \text{ Kg/Jam} \\
 &= 5.539.373,30 \text{ Kg/Tahun} \\
 \text{Biaya kebutuhan CO}_2 &= \text{Massa CO}_2 \times \text{Harga CO}_2 \\
 &= 5.539.373,30 \text{ Kg/Tahun} \times 0,23 \text{ \$/Kg} \\
 &= 1.274.055.86 \text{ \$/Tahun}
 \end{aligned}$$

Biaya total umpan pada proses:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya total umpan} &= (6.229.849,73 + 21.814.200,26 + \\
 &\quad 1.274.055.86) \text{ \$/Tahun} \\
 &= 29.318.105,85 \text{ \$/Tahun}
 \end{aligned}$$

d) Produk

Magnesium sulfat MgSO₄:

$$\begin{aligned}
 \text{BM MgSO}_4 &= 120,36 \text{ Kg/Kmol} \\
 \text{Mol MgSO}_4 &= 15,42 \text{ Kmol/Jam} \\
 \text{Massa MgSO}_4 &= \text{Mol MgSO}_4 \times \text{BM MgSO}_4 \\
 &= 15,42 \text{ Kmol/Jam} \times 120,36 \text{ Kg/Kmol} \\
 &= 1.856,06 \text{ Kg/Jam} \\
 &= 15.000.000 \text{ Kg/Tahun} \\
 \text{Biaya kebutuhan MgSO}_4 &= \text{Massa MgSO}_4 \times \text{Harga MgSO}_4 \\
 &= 15.000.000 \text{ Kg/Tahun} \times 1,8 \text{ \$/Kg} \\
 &= 27.000.000 \text{ \$/Tahun}
 \end{aligned}$$

Kalsium karbonat CaCO_3 :

$$\text{BM CaCO}_3 = 100,08 \text{ Kg/Kmol}$$

$$\text{Mol CaCO}_3 = 15,42 \text{ Kmol/Jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa CaCO}_3 &= \text{Mol CaCO}_3 \times \text{BM CaCO}_3 \\ &= 15,42 \text{ Kmol/Jam} \times 100,08 \text{ Kg/Kmol} \\ &= 1.543,43 \text{ Kg/Jam} \\ &= 12.223.973,33 \text{ Kg/Tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya kebutuhan CaCO}_3 &= \text{Massa CaCO}_3 \times \text{Harga CaCO}_3 \\ &= 12.223.973,33 \text{ Kg/Tahun} \times 0,9 \text{ \$/Kg} \\ &= 8.556.781,33 \text{ \$/Tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya total produk} &= 27.000.000 + 8.556.781,33 \text{ \$/Tahun} \\ &= 35.556.781,33 \text{ \$/Tahun} \end{aligned}$$

Sehingga potensi ekonomi pada proses ini adalah:

$$\begin{aligned} \text{Potensi ekonomi} &= \text{biaya total produk} - \text{biaya total umpan} \\ &= (35.556.781,33 - 29.318.105,85) \text{ \$/Tahun} \\ &= 6.238.675,47 \text{ \$/Tahun} \end{aligned}$$

2.1.1 Berdasarkan tinjauan termodinamika

Tinjauan termodinamika dapat dianalisis dari perubahan entalpi (ΔH) dan perubahan energi bebas gibbs (ΔG) pada suatu reaksi, dalam hal ini yaitu reaksi pembentukan Magnesium Sulfat.

Perubahan entalpi merupakan perubahan energi yang diberikan sebagai panas pada tekanan konstan. Jika perubahan entalpi suatu sistem bernilai positif ($+\Delta H$), reaksi tersebut menyerap energi dengan mendinginkan lingkungan karena menghasilkan peningkatan entalpi. Sedangkan jika perubahan entalpi pada suatu sistem bernilai negatif ($-\Delta H$) maka reaksi

tersebut melepaskan energi dengan memanaskan lingkungan karena menandakan penurunan entalpi system. Jadi besar kecilnya panas yang perlu disuplai pada suatu reaksi dapat diketahui dari nilai perubahan entalpi reaksi tersebut (Atkins & Paula, 2006).

Suatu reaksi dapat berlangsung secara spontan atau tidak spontan dapat dilihat dari seberapa besar perubahan energi gibbsnya. Jika perubahan energi perubahan energi bebas gibbs reaksi bernilai negatif ($-\Delta G$) maka reaksi dapat berlangsung spontan, sedangkan jika perubahan energi bebas gibbs bernilai positif ($+\Delta G$) maka reaksi tidak dapat berlangsung secara spontan sehingga membutuhkan energi tambahan agar reaksi dapat berlangsung spontan (Atkins & Paula, 2006).

Untuk menghitung nilai ΔH , digunakan persamaan berikut (Himmelblau, 2012) :

$$\Delta H = H_{Products}(T^{out}) - H_{Reactans}(T^{In}) + \Delta H_{rxn}(25^{\circ}C)$$

Keterangan :

ΔH : heat (enthalpy) of reaction

$\Delta H_{rxn}(25^{\circ}C)$: standard heat of reaction

H : enthalpy per units mass or mole

T : temperature

Sedangkan untuk persamaan ΔG digunakan persamaan (smith, 2001) berikut:

$$\Delta G = \Delta H_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta Cp}{R} dT - T\Delta S_0 - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta Cp}{R} \frac{dT}{T}$$

$$\text{Dengan } \Delta S_0 = \frac{\Delta H_0 - \Delta G_0}{T_0}$$

Maka,

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

Dimana:

dan

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

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta c p^o}{R} dT = \Delta A (T - T_0) + \frac{\Delta B}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3} (T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{T T_0} \right)$$

Keterangan :

ΔG : gibbs energi change of mixing

$\Delta H_0 = \Delta H_{rxn}(25^\circ C)$: standard heat of reaction

$\Delta f G^o = \Delta G_0$: standard Gibbs energi change of reaction

A,B,C,D : heat capacity constant

T : Temperature

R : ideal gas constant

a. Reaksi antara Magnesium Karbonat dengan Asam Sulfat

Reaksi yang terjadi adalah :



Tabel 2.5. data entalpi dan Energi Bebas *Gibbs* pada T = 298,15 K (25°C)

Komponen	H_f^o (kJ/mol)	ΔG_f^o (kJ/mol)
H ₂ SO ₄	-813,989	-690,003
MgCO ₃	-1.095,80	-1.012,10
MgSO ₄	-1.284,40	-1.170,6000
H ₂ O	-285,8300	-237,1290
CO ₂	-393,5090	-394,3590

Sumber : David R.Lide, 2005

Tabel 2.6. Data konstanta masing-masing komponen

Komponen	A	B	C	D	E	Cp
MgSO ₄ ^{a)}	75,83	111,72	-39,68	5,12	-0,83257	103,88
H ₂ O ^{a)}	-203,6	1523,29	-3196,41	2474,45	3,855326	75,60
CO ₂ ^{a)}	24,99	55,18	-33,69	7,94	-0,136638	39,52
H ₂ SO ₄ ^{b)}	26,004	7,03E-01	-1,39E-03	1,03E-06	-	145,95
MgCO ₃ ^{a)}	44,93	149,7	-74,18	11,97	-0,629261	84,02

Sumber: ^{a)} Chase (1998), dengan $C_p = A + Bt + Ct^2 + Dt^3 + \frac{D}{t^2}$

dimana t = suhu (K)/1000

^{b)} Perry (1997), dengan $C_p = A + BT + C/T^2$

dimana t = suhu (K)

- Menghitung enthalpy dan energi bebas gibbs pada T = 298,15 K (25°C)

- Perhitungan enthalpy

$$\Delta H_{rxn}^o(25^\circ C) = \left(\sum_i^{produk} v_i \Delta H_{f,i}^o - \sum_i^{reaktan} v_i \Delta H_{f,i}^o \right)$$

(Himmelblau, 2012)

$$\begin{aligned} \Delta H_{rxn}^o &= (v_{MgSO_4} \Delta H_{fMgSO_4}^o + v_{H_2O} \Delta H_{fH_2O}^o + v_{CO_2} \Delta H_{fCO_2}^o) \\ &\quad - (v_{H_2SO_4} \Delta H_{fH_2SO_4}^o + v_{MgCO_3} \Delta H_{fMgCO_3}^o) \\ &= (-1.284,40 + (-285,83) + (-393,50)) - (-813,98) + (-1.095,80)) \\ &= -54 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

- Perhitungan energi bebas gibbs

$$\Delta_f G^0 = \sum_{products} v \Delta_f G^0 - \sum_{reactants} v \Delta_f G^0$$

(Atkins & Paula, 2006)

$$\begin{aligned} \Delta_f G^0 &= (\Delta_f G^0 MgSO_4 + \Delta_f G^0 H_2O + \Delta_f G^0 CO_2) - \Delta_f G^0 H_2SO_4 + \Delta_f G^0 MgCO_3) \\ &= ((-1170,60) + (-237,129) + (-394,359)) - ((-690,003) + (-1012,10)) \\ &= -99,98 \end{aligned}$$

- Menghitung enthalpy dan energi bebas gibbs pada kondisi operasi $T = 353,15 \text{ K}$ (80°C)
 - Perhitungan enthalpy

$$\Delta H = H_{Products}(T^{Out}) - H_{Reactans}(T^{In}) + \Delta H_{rxn}(25^\circ\text{C})$$

$$\Delta H = [(Cp \Delta T)MgSO_4 + (Cp \Delta T)H_2O + (Cp \Delta T)CO_2] - [(Cp \Delta T)MgCO_3 + (Cp \Delta T)H_2SO_4] + \Delta H_{rxn}(25^\circ\text{C})$$

$$\begin{aligned} \Delta H = & [(103,88 \times (353,15 - 298,15)) + (75,60 \times (353,15 - 298,15)) \\ & + (39,52 \times (353,15 - 298,15))] \\ & - [(145,95 \times (353,15 - 298,15)) + (84,02 \times (353,15 - 298,15))] \\ & + (-54) \end{aligned}$$

$$\Delta H = [5713,67 + 4158,29 + 2174,11] - [8027,43 + 4621,47] + (-54)$$

$$\Delta H = 12.648,91 - 12.046,08 + (-54)$$

$$\Delta H = -656,78 \text{ Kj/mol}$$

- Perhitungan energi bebas gibbs

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

Dimana :

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta Cp^o}{R} dT = (\Delta A)T_0(\tau - 1) + \frac{\Delta B}{2}T_0^2(\tau^2 - 1) + \frac{\Delta C}{3}T_0^3(\tau^3 - 1) + \frac{\Delta D}{T_0}\left(\frac{\tau - 1}{\tau}\right)$$

$$\text{Dan } \tau \equiv \frac{T}{T_0}$$

$$\begin{aligned} \Delta A &= \Sigma A_{produk} - \Sigma A_{reaktan} \\ &= (A \text{ MgSO}_4 + A \text{ H}_2\text{O} + A \text{ CO}_2) - (A \text{ H}_2\text{SO}_4 + A \text{ MgCO}_3) \\ &= (75,83 + (-203,6) + 24,99) - (26,004 + 44,93) \\ &= -173,71 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta B &= \Sigma B_{produk} - \Sigma B_{reaktan} \\ &= (B \text{ MgSO}_4 + B \text{ H}_2\text{O} + B \text{ CO}_2) - (B \text{ H}_2\text{SO}_4 + B \text{ MgCO}_3) \\ &= (111,72 + 1523,29 + 55,18) - (7,00\text{E-}01 + 149,70) \\ &= 1539,79 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta C &= \Sigma C_{produk} - \Sigma C_{reaktan} \\
&= (C \text{ MgSO}_4 + C \text{ H}_2\text{O} + C \text{ CO}_2) - (C \text{ H}_2\text{SO}_4 + C \text{ MgCO}_3) \\
&= (-39,68 + (-3.196,41) + (-33,69)) - (-1,39\text{E-}03 + (-74,18)) \\
&= -3195,59
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta D &= \Sigma D_{produk} - \Sigma D_{reaktan} \\
&= (D \text{ MgSO}_4 + D \text{ H}_2\text{O} + D \text{ CO}_2) - (D \text{ H}_2\text{SO}_4 + D \text{ MgCO}_3) \\
&= (5,19 + 2474,45 + 7,94) - (1,03\text{E-}06 + 11,97) \\
&= 2475,53
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\int_{T_0}^T \frac{\Delta c p^o}{R} dT &= (\Delta A) T_0 (\tau - 1) + \frac{\Delta B}{2} T_0^2 (\tau^2 - 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^3 (\tau^3 - 1) + \frac{\Delta D}{T_0} \left(\frac{\tau - 1}{\tau} \right) \\
&= (173,71)(293,15) \left(\frac{353,15}{298,15} - 1 \right) \left(\frac{1539,79}{2} \right) (298,15^2) \left(\left(\frac{353,15}{298,15} \right)^2 - 1 \right) \\
&\quad + \left(\left(\frac{-3195,59}{3} \right) (298,15)^3 \left(\left(\frac{353,15}{298,15} \right)^3 - 1 \right) \right) + \frac{2475,53}{298,15} \left(\frac{\frac{353,15}{298,15} - 1}{\frac{353,15}{298,15}} \right) \\
&= 2348,11
\end{aligned}$$

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

$$\text{Dan } \tau \equiv \frac{T}{T_0}$$

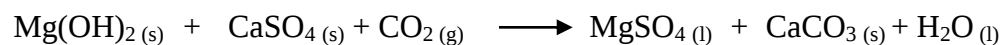
$$\begin{aligned}
&= (173,71) \left(\ln \left(\frac{353,15}{298,15} \right) \right) \\
&\quad + \left[(1539,79)(298,15) + ((-3195,59)(298,15)^2 \right. \\
&\quad \left. + \left(\frac{2475,53}{\left(\frac{353,15}{298,15} \right)^2 (298,15^2)} \right) \left(\frac{\frac{353,15}{298,15} - 1}{\frac{353,15}{298,15}} \right) \right] \left(\frac{353,15}{298,15} - 1 \right) \\
&= 472,21
\end{aligned}$$

Sehingga nilai ΔG_r adalah:

$$\begin{aligned}\Delta G_r &= \Delta H_0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0 - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta Cp}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta Cp}{R} \times \frac{dT}{T} \\ &= (-54) - \frac{353,15}{298,15} (-54 - (-99,98)) + ((8,314 \times 10^{-3}) \times 2348,11) - \\ &\quad (((8,314 \times 10^{-3}) \times 353,15 \times 472,21)) \\ &= -1.475,41 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

b. Reaksi Antara Magnesium Hidroksida dan Kalsium Sulfat

Reaksi yang terjadi adalah :



Tabel 2.7. data entalpi dan Energi Bebas *Gibbs* pada T = 298,15 K (25°C)

Komponen	ΔH° (kJ/mol)	ΔG°_f (kJ/mol)
Mg(OH) ₂	-913,7	-883,5
CaSO ₄	-1.434,10	-1.321,70
CO ₂	-393,5090	-394,35
MgSO ₄	-1.284,40	-1.170,60
CaCO ₃	-1.206,90	-1.128,70
H ₂ O	-285,8300	-237,12

Sumber : David R.Lide, 2005

Tabel 2.8. Data konstanta masing-masing komponen

Komponen	A	B	C	D	E	Cp
H ₂ O ^{a)}	-203.6	1523.29	-3196.41	2474.45	3.88	75.71
MgSO ₄ ^{a)}	75.83	111.72	-39.68	5.12	-0.83	102.63
CaCO ₃ ^{b)}	19.68	0.01189	307600	0	0	21.14
CaSO ₄ ^{b)}	18.52	0.02	156800.00	0	0	24.72
Mg(OH) ₂ ^{a)}	84.90	74.44	-68.92	26.63	-2.17	84.93
CO ₂ ^{a)}	24.99	55.18	-33.6	7.94	-0.13	39.12

Sumber: ^{a)} Chase (1998), dengan $C_p = A + Bt + Ct^2 + Dt^3 + \frac{D}{t^2}$

dimana t = suhu (K)/1000

^{b)} Perry (1997), dengan $C_p = A + BT + C/T^2$

dimana t = suhu (K)

- Menghitung enthalpy dan energi bebas gibbs pada T = 298,15 K (25°C)
 - Perhitungan enthalpy

$$\Delta H_{rxn}^o(25^\circ C) = \left(\sum_i^{produk} v_i \Delta H_{f,i}^o - \sum_i^{reaktan} v_i \Delta H_{f,i}^o \right)$$

(Himmelblau, 2012)

$$\begin{aligned} \Delta H_{rxn}^o &= (v_{MgSO_4} \Delta H_{fMgSO_4}^o + v_{CaCO_3} \Delta H_{fCaCO_3}^o \\ &\quad + v_{H_2O} \Delta H_{fH_2O}^o) \\ &\quad - (v_{Mg(OH)_2} \Delta H_{fMg(OH)_2}^o + v_{CaSO_4} \Delta H_{fCaSO_4}^o \\ &\quad + v_{CO_2} \Delta H_{fCO_2}^o) \\ &= (-1284,40 + (-1206,90) + (-285,83)) - ((-1434,10) + (-1913,70) + (-393,50)) \\ &= 35,83 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

- Perhitungan energi bebas gibbs

$$\Delta_f G^o = \sum_{products} v \Delta_f G^o - \sum_{reactants} v \Delta_f G^o$$

(Atkins & Paula, 2006)

$$\begin{aligned} \Delta_f G^o &= (\Delta_f G^o MgSO_4 + \Delta_f G^o CaCO_3 + \Delta_f G^o H_2O) \\ &\quad - (\Delta_f G^o Mg(OH)_2 + \Delta_f G^o CaSO_4 + \Delta_f G^o CO_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= ((-1170,60) + (-1128,70) + (-237,12)) - ((-883,5) + (-1321,70) + (-394,35)) \\
&= 63.13 \text{ Kj/mol}
\end{aligned}$$

- Menghitung enthalpy dan energi bebas gibbs pada kondisi operasi $T = 343,15 \text{ K}$ (70°C)

- Perhitungan enthalpy

$$\begin{aligned}
\Delta H &= H_{\text{Products}}(T^{\text{Out}}) - H_{\text{Reactans}}(T^{\text{In}}) + \Delta H_{\text{rxn}}(25^\circ\text{C}) \\
\Delta H &= [(Cp \Delta T) MgSO_4 + (Cp \Delta T) H_2O + (Cp \Delta T) CaCO_3] - [(Cp \Delta T) Mg(OH)_2 + (Cp \Delta T) CaSO_4 + \\
&\quad (Cp \Delta T) CO_2] + \Delta H_{\text{rxn}}(25^\circ\text{C}) \\
\Delta H &= [(102,63 \times (343,15 - 298,15)) + (75,71 \times (343,15 - 298,15)) \\
&\quad + (21,14 \times (343,15 - 298,15))] \\
&\quad - [(84,93 \times (343,15 - 298,15)) + (24,72 \times (343,15 - 298,15)) + 39,12] \\
&\quad + (-35,83) \\
\Delta H &= [4.618,39 + 3.407,10 + 951,65] - [3.822,16 + 1.112,73 + 1.760,77] + (-35,83) \\
\Delta H &= 6.695,67 - 8.977,15 + (-35,83) \\
\Delta H &= 2.317,31 \text{ Kj/Kmol}
\end{aligned}$$

- Perhitungan energi bebas gibbs

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

Dimana :

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta Cp^o}{R} dT = (\Delta A) T_0 (\tau - 1) + \frac{\Delta B}{2} T_0^2 (\tau^2 - 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^3 (\tau^3 - 1) + \frac{\Delta D}{T_0} \left(\frac{\tau - 1}{\tau} \right)$$

$$\text{Dan } \tau \equiv \frac{T}{T_0}$$

$$\begin{aligned}
\Delta A &= \Sigma A_{\text{produk}} - \Sigma A_{\text{reaktan}} \\
&= (A MgSO_4 + A H_2O + A CaCO_3) - (A CaSO_4 + A Mg(OH)_2 + A CO_2) \\
&= (75.83 + (-203,6) + 19.68) - (18.52 + 84.90 + 24.99) \\
&= -236,51
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta B &= \Sigma B_{\text{produk}} - \Sigma B_{\text{reaktan}} \\
&= (B MgSO_4 + B H_2O + B CaCO_3) - (B CaSO_4 + B Mg(OH)_2 + B CO_2) \\
&= (111.72 + 1523.29 + 0.01189) - (0.02 + 74.44 + 55.18) \\
&= 1505,37
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta C &= \Sigma C_{produk} - \Sigma C_{reaktan} \\
&= (C \text{ MgSO}_4 + C \text{ H}_2\text{O} + C \text{ CaCO}_3) - (C \text{ CaSO}_4 + C \text{ Mg(OH)}_2 + C \text{ CO}_2) \\
&= (-39,68 + (-3196,41) + 307600) - (156800 + (-68,92) + (-33,6)) \\
&= 147666,52
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta D &= \Sigma D_{produk} - \Sigma D_{reaktan} \\
&= (D \text{ MgSO}_4 + D \text{ H}_2\text{O} + D \text{ CaCO}_3) - (D \text{ CaSO}_4 + D \text{ Mg(OH)}_2 + D \text{ CO}_2) \\
&= (5,12 + 2474,45 + 0) - (0 + 26,63 + 7.94) \\
&= 2444,99
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\int_{T_0}^T \frac{\Delta C p^o}{R} dT &= (\Delta A) T_0 (\tau - 1) + \frac{\Delta B}{2} T_0^2 (\tau^2 - 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^3 (\tau^3 - 1) + \frac{\Delta D}{T_0} \left(\frac{\tau - 1}{\tau} \right) \\
&= (-236,51)(293,15) \left(\frac{343,15}{298,15} - 1 \right) \left(\frac{1505,37}{2} \right) (298,15^2) \left(\left(\frac{343,15}{298,15} \right)^2 - 1 \right) \\
&\quad + \left(\left(\frac{147666,52}{3} \right) (298,15)^3 \left(\left(\frac{343,15}{298,15} \right)^3 - 1 \right) \right) + \frac{2444,99}{298,15} \left(\frac{\frac{343,15}{298,15} - 1}{\frac{343,15}{298,15}} \right) \\
&= 1770.82
\end{aligned}$$

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

$$\text{Dan } \tau \equiv \frac{T}{T_0}$$

$$\begin{aligned}
&= (-236,51) \left(\ln \left(\frac{343,15}{298,15} \right) \right) \\
&\quad + \left[(1505,37)(298,15) + ((147666,52)(298,15)^2 \right. \\
&\quad \left. + \left(\frac{2444,99}{\left(\frac{343,15}{298,15} \right)^2 (298,15^2)} \right) \left(\frac{\frac{343,15}{298,15} - 1}{\frac{343,15}{298,15}} \right) \right] \left(\frac{343,15}{298,15} - 1 \right) \\
&= 297.55
\end{aligned}$$

Sehingga nilai ΔG adalah:

$$\begin{aligned}\Delta G &= \Delta H_0 - \frac{T}{T_0}(\Delta H_0 - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta Cp}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta Cp}{R} \times \frac{dT}{T} \\ &= (35,83) - \frac{343,15}{298,15} (35,83 - 27,1) + ((8,314 \times 10^{-3}) \times 1770,82) - \\ &\quad ((8,314 \times 10^{-3}) \times 343,15 \times 297,55) \\ &= 91,94 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

2.3 Perbandingan Proses

Adapun perbandingan proses dapat dilihat pada tabel 2.25 dan gambar 2.1 berikut:

Tabel 2.10 Perbandingan Proses

Kriteria	Proses I	Proses II
Bahan Baku	- MgCO_3 (impor) - H_2SO_4 (dalam negeri)	- Mg(OH)_2 , CO_2 , MgCO_3 , CaSO_4 (impor)
Keuntungan (USD/Tahun)	18.670.330,65	6.238.675,47
Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	80	75
ΔH (kJ/mol)	-54 (Eksotermis)	2.317,31(Endotermis)
ΔG (kJ/mol)	-1.475,4 (Spontan)	91,94 (Tidak Spontan)
Konversi	99	70

Dari kedua proses yang telah disebutkan diatas, dipilih proses I yaitu reaksi magnesium karbonat dengan asam sulfat dengan alasan:

1. Bahan baku yang digunakan pada proses I tidak seluruhnya impor, hal ini dapat menekan biaya produksi.

2. Keuntungan pada proses I lebih besar dibandingkan dengan proses II.
3. Alat-alat yang digunakan lebih sederhana sehingga perawatannya lebih murah dan mudah.
4. ΔG spontan, sehingga tidak diperlukan energi dari luar sistem agar reaksi tersebut terjadi.
5. Konversi reaksi yang lebih besar sehingga reaktan yang berubah menjadi produk lebih banyak.

2.4 Uraian Proses

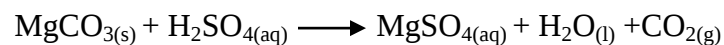
Berdasarkan US Patent 9,073,797 B2, proses pembuatan magnesium sulfat dengan bahan baku magnesium karbonat dan asam sulfat dibagi menjadi tiga tahap yaitu :

1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku magnesium karbonat (MgCO_3) disimpan pada fase padat pada suhu 30°C , tekanan 1 atm di *Silo*. Bahan baku magnesium karbonat selanjutnya diangkut menuju Reaktor dengan *Screw Conveyor* untuk direaksikan. Sementara itu bahan baku asam sulfat (H_2SO_4) 98% yang disimpan di dalam Tangki pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm di pompa menuju *Dissolution Tank* untuk diencerkan sampai 26% dengan H_2O . Selanjutnya H_2SO_4 26% dipanaskan menggunakan *Heat Exchanger* untuk menghasilkan H_2SO_4 suhu 80°C dan selanjutnya dipompakan menuju Reaktor untuk direaksikan.

2. Tahap Reaksi

Bahan baku magnesium karbonat dan asam sulfat akan direaksikan dalam Reaktor pada suhu 80°C , tekanan 1 atm, kondisi operasi isothermal dan reaksinya eksotermis, sehingga diperlukan pendingin untuk menjaga suhu tetap konstan. Reaksi yang terjadi yaitu:



3. Tahap Pemurnian Produk

Produk keluar Reaktor dipompakan menuju *Crystallizer* pada suhu 30 °C yang berfungsi untuk membentuk kristal magnesium sulfat. Dimana produk dari *Crystallizer* selanjutnya akan dipisahkan menggunakan alat *Centrifuge*. Produk *liquor* akan *direcycle* menuju *Crystallizer*, sedangkan produk kristal akan menuju *Rotary Dryer* yang berfungsi untuk mengeringkan padatan dari kandungan air. Produk *Rotary Dryer* berupa kristal kering akan diangkut dengan *Screw Conveyor* menuju *Bin*. Selanjutnya produk kristal *dipacking* dan disimpan di gudang untuk dipasarkan.

BAB III

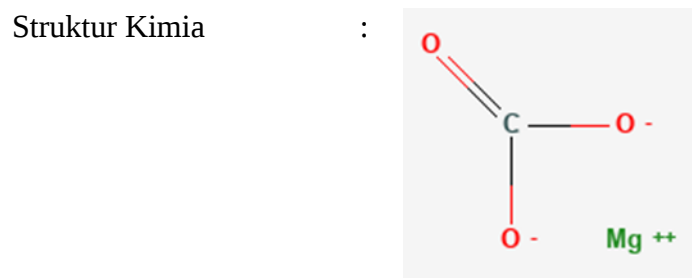
SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

3.1 Bahan Baku

3.1.1 Magnesium Karbonat

Nama lain : Magnesite dan carbonic acid, magnesium salt

Rumus Kimia : MgCO_3 atau CMgO_3



Bentuk : Padatan Serbuk



Warna : Putih

Berat Molekul : 84,31 gr/mol

Densitas : 2,958 gr/cm³

Titik Dekomposisi : 350°C

Titik leleh	: 990°C
Titik didih	: 333,6°C
Kestabilan	: Stabil pada air
Kelarutan	: larut pada asam, tidak larut pada aseton, alcohol, dan ammonia
Kapasitas Panas, Cp	: 18,05 cal/degree mol
ΔH_f°	: -1096 kJ/mol
ΔG_f°	: -1012 kJ/mol
Kemurnian	: 99%
Impurities	: 1% H ₂ O
<i>Hazard Statement</i> menurut	: bukan merupakan bahan berbahaya Regulasi (EC 1272/2008) (PubChem, 2023; MSDS 2019)

3.1.2 Asam Sulfat

Nama lain	: Dihydrogen Sulfate, Sulfurid Acid, dan Oil of Vitriol
Rumus Kimia	: H ₂ SO ₄ atau H ₂ O ₄ S
Struktur Kimia	:



Bentuk : Cairan



Warna : Tidak Berwarna

Bau : Tidak Berbau

Berat molekul : 98,08 gr/mol

Densitas : 1,8302 g/cm³

Titik didih : 337°C

Titik lebur : 10°C

Titik Dekomposisi : 340°C

Densitas Uap (Udara=1) : 3,4

Kelarutan : Larut dalam air

Viskositas : 26,7 cP (20°C)

Kapasitas Panas, Cp : 0,3404 kkal/gmol

ΔH_f° : -194,56 kkal/gmol

ΔG_f° : -164,93 kkal/mol

Kemurnian : 98% H_2SO_4

Impurities : 2% H_2O

MSDS

:



Hazard Statement

: H290 Dapat korosif terhadap logam.

H314 Menyebabkan kulit terbakar yang parah dan kerusakan mata.

Pencegahan

: P280 Pakai sarung tangan pelindung /pakaian pelindung /pelindung mata/pelindung wajah.

Respons

: P301 + P330 + P331 JIKA TERTELAN : Basuh mulut. JANGAN merangsang muntah.

P305 + P351 + P338 JIKA TERKENA MATA : Bilas dengan seksama dengan air untuk beberapa menit. Lepaskan lensa kontak jika memakainya dan mudah melakukannya. Lanjutkan membilas.

P308 + P310 Jika terpapar atau dikuatirkan: Segera hubungi SENTRA INFORMASI KERACUNAN atau dokter/tenaga medis.

(PubChem, 2023; MSDS 2006)

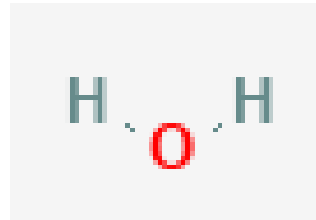
3.2 Bahan Pembantu

3.2.1 Air

Nama lain : Dihydrogen oxide

Rumus molekul : H₂O

Struktur kimia :



Bentuk : Cairan

Warna : Tidak Berwarna

Bau : Tidak Berbau

Berat molekul : 18,015 gr/gmol

Densitas : 1 gr/ml (1 atm)

Titik didih : 100°C

Titik leleh : 0°C

Tekanan Uap : 14 mmHg (20°C)

Densitas Uap (Udara=1) : 0,7

Kapasitas Panas, Cp : 4,192 kJ/Kg.K

ΔH_f° : -68,3174 kkal/mol

ΔG_f° : -56,6899 kkal/mol

Hazard Statement : Tidak Berbahaya

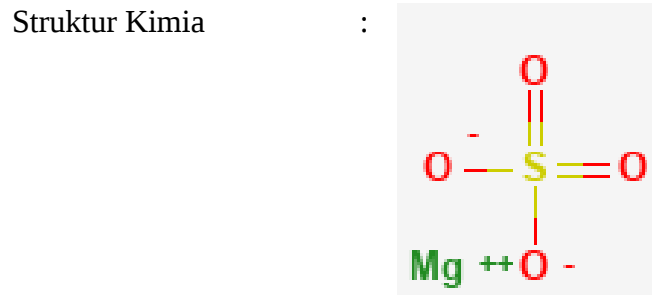
(PubChem, 2023)

3.3 Produk Utama

3.3.1 Magnesium Sulfat

Nama lain : Magnesium sulfate anhydrous

Rumus Kimia : MgSO_4 atau MgO_4S



Bentuk : Padatan



Warna : Putih

Bau : Tidak berbau

Berat Molekul : 120,37 gr/mol

Densitas : 2,66 gr/mol

Indeks Bias : 1,433

Titik leleh : 1124°C

Spesific Gravity : 1,76 gr/cm³

Kapasitas Panas, Cp : 23 kal/degree mol

ΔH_f° : -304,94 kkal/mol

ΔG_f° : -277,7 kkal/mol

Kemurnian : 98%

Impurities : 2% H₂O

Signal Word : 

Warning

Hazard Statement : H302: Berbahaya jika tertelan

H315: Menyebabkan iritasi kulit

H319: Menyebabkan iritasi mata yang
serius

H335: Dapat menyebabkan iritasi
pernapasan

Precautionary Statement : P261: Hindari menghirup
debu/asap/gas/kabut/uap/semprotan.

Respons : P301 + P312 JIKA TERTELAN: hubungi
PUSAT RACUN atau dokter JIKA Anda
merasa tidak enak badan.

P302 + P352 JIKA TERKENA KULIT:
cuci dengan sabun dan air yang banyak.

P304 + P340 JIKA TERHIRUP: Pindahkan
korban ke udara segar dan Pertahankan
posisi istirahat nyaman untuk bernafas.

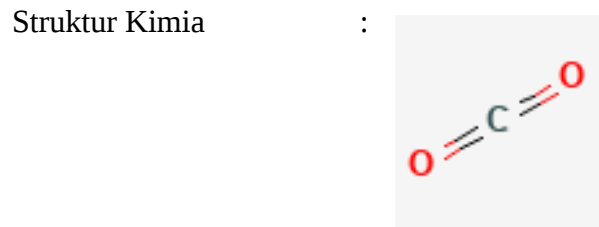
P305 + P351 + P338 JIKA TERKENA
MATA: Bilas hati-hati dengan air selama
beberapa menit. Lepaskan lensa kontak,
jika ada dan mudah dilakukan. Lanjutkan
membilas.

(PubChem, 2023; SDS 2017)

3.4 Produk Samping

3.4.1 Karbon Dioksida

Rumus kimia : CO_2



Bentuk : Gas

Warna : Tidak Berwarna

Berat Molekul : 44,009 gr/mol

Densitas : 1,80 gr/L (25°C)

Titik Kritis : 31°C

Titik Didih : -88,1°C

Titik Leleh : 56,6°C

Spesific Volume : 0,5456 m³/kg

Kapasitas Panas, Cp : 8,87 kal/degree mol

ΔH_f° : -94,05 kkal/mol

ΔG_f° : -94,26 kkal/mol

Kemurnian : 99,5 - 100%

Hazzard Statement : Tidak berbahaya

(PubChem, 2023)

BAB X

SIMPULAN DAN SARAN

10.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Magnesium Sulfat dari Magnesium Karbonat dan Asam Sulfat kapasitas 15.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut :

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak adalah 26%.
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak adalah 2,48 tahun
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 44% dimana syarat umum pabrik di Indonesia adalah 30–60% kapasitas produksi. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 25%, yakni batasan kapasitas produksi 20–30% sehingga pabrik masih dapat berproduksi karena mendapat keuntungan.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 32,5%, 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 Magnesium Sulfat dari *Magnesium Karbonat* dan Asam Sulfat kapasitas lima belas ribu ton per tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut baik dari segi proses maupun ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2022. Data Hidrologi, DAS Aliran Sungai Bengawan Solo.
<https://www.sih3.dpuair.jatimprov.go.id>. Diakses pada 15 Desember 2022.
- Anonim. 2023. *Indeks Harga Peralatan*.
<http://accessintelligence.imirus.com/>. Diakses pada tanggal 12 Noveber 2023.
- Anonim. 2023. *Indonesia Salary Handbook 2009/2010*. Kelly Service. Jakarta.
- Anonim. 2023. *Peta Provinsi Gresik*. <https://indonesia-peta.blogspot.com>.
Diakses pada September 2017.
- Badan Pusat Statistik. 2022. *Statistic Indonesia*. www.bps.go.id. Indonesia.
Diakses pada 17 Oktober 2022.
- Banchero, Julius T., and Walter L. Badger. 1988. *Introduction to Chemical Engineering*. McGraw Hill. New York.
- Bank Indonesia. 2016. *Nilai Kurs*. <http://kursdollar.net/bank/bi.php>. Diakses pada 16 Juni 2016.
- Brown.G.George. 1950. *Unit Operation 6^{ed}*. Wiley&Sons. USA& Sons. New York.
- .

Considine, Douglas M. 1985. *Process Instruments and Controls Handbook*, 3rd Edition. McGraw Hill. New York.

Coulson.J.M. and Ricardson.J.F. 1983. *Chemical Engineering vol 6*. Pergamon Press Inc. New York.

Ekmekyapar, Ahmed, dkk . 1991. *Dissolution Kinetics of Magnesite Ore With Sulfuric Acid Solution*. Department of Chemical Engineering University Malatya. Turkey.

Evans, F.L. 1980. *Equipment Design Handbook*, Vol. 1, 2nd ed. Gulf Publishing Co. Houston.

Fogler, H. Scott. 2006. *Elements of Chemical Reaction EnvGINEERING* 4th edition. Prentice Hall International Inc. United States of America.

Geankoplis.Christie.J. 1993. *Transport Processes and unit Operation* 3th ^{ed}. Allyn & Bacon Inc. New Jersey.

Google Map. 2023. Area Sungai Bengawan Solo – Banten. Diakses pada 21 April 2023.

Himmeblau, David. 1996. *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*. Prentice Hall Inc. New Jersey.

Joshi, M.V. 1976. *Process Equipment Design*. Macmillan India Limited.
India

.

- Kern, Donald Q. 1965. *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill Co. New York.
- Kirk, R.E and Othmer, D.F. 1998. *Encyclopedia of Chemical Technology*, 4nd ed.,
vol. 1. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Lide, David R. 2005. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, Vol.11.
National Bureau of Standards. Washington.
- Ludwig, E.E. 1965. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical
Plants*, volume 1. Gulf Publishing Company. Houston
- 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.
- Metals, Teck Cominco Ltd. 2003. *Sulfuric Acid Material Safety Data Sheet*.
Vancouver, British Columbia.
- Minton, Paul E. 1986. *Handbook of Evaporation Technology*. Noyes Publications.
South Charleston, West Virginia.
- Moss, D. 2004. *Pressure Vessel Design Manual*, Ed. 3th. Elsevier. Boston
- Mullin, J.W. 2001. *Crystallization*, 4th ed. Emeritus Professor of Chemical
Engineering. University of London

Patnaik, Pradyot. 2003. *Handbook of Inorganic Chemicals*. McGraw Hill. New York.

Perry.R.H. and Green.D. 1997. *Perry's Chemical Engineer Handbook 7th^{ed}*. McGraw-Hill Book Company. New York.

Perry, Robert H., and Don W. Green. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th edition*. McGraw Hill. New York.

Peters, M.S., Timmerhaus, K.D., West, R.E. 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, 5th ed. Mc-Graw Hill. New York.

Powell, S.T. 1954. *Water Conditioning for Industry*. McGraw Hill Book Company. New York.

Rase. 1977. *Chemical Reactor Design for Process Plant, Vol. 1st, Principles and Techniques*. John Wiley and Sons. New York

Sinnott, R.K. 2003. *Chemical Engineering Design, Vol.6, 4th Ed*. Elsevier Butterworth-Heinemann. Oxford.

Smith, J.M., H.C. Van Ness, and M.M. Abbott. 2001. *Chemical Engineering Thermodynamics 6th edition*. McGraw Hill. New York.

Sugiharto, dkk. 1988. *Keputusan Gubernur Kepala Daerah Khusus Ibukota Jakarta*, No.1608 tahun 1988. Jakarta.

Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 1991.

Plant Design an Economic for Chemical Engineering

3th edition. McGraww-Hill Book Company. New York.

Treyball.R.E. 1981. *Mass Transfer Operation 3^{ed}.* McGraw-Hill Book Company.

New York.

Ulrich.G.D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process*

Design and Economics. John Wiley & Sons Inc. New York.

US Patent Office. 2015. Magnesium Sulphate. No. 9.073.797 B2.

Vilbrandt, Frank C. 1959. *Chemical Engineering Plant Design.* Mc-Graw Hill.

New York.

Wallas, Stanley M. 1990. *Chemical Process Equipment.* Butterworth-

Heinemann : Washington.

Wang, L, K. 2008. *Gravity Thickener, Handbook of Enviromental*

Engineering, Vol. 6th. The Humana Press Inc. New Jersey.

Wilson, E. T. 2005. *Clarifier Design.* Mc Graw Hill Book Company. London

Yaws, C.L. 1999. *Chemical Properties Handbook.* Mc Graw Hill

Book Co. NewYork.