

**PRARANCANGAN PABRIK MAGNESIUM SULFAT DARI  
MAGNESIUM KARBONAT DAN ASAM SULFAT DENGAN KAPASITAS  
15.000 TON/TAHUN  
(Perancangan *Crystallizer* (CR-401))**

**(Skripsi)**

Oleh  
**DEVI SAGITHA ANGGRAINI (1815041048)**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

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

(Perancangan *Crystallizer* (CR-401))

Oleh

**DEVI SAGITHA ANGGRAINI**

Magnesium sulfat adalah suatu senyawa kimia garam anorganik yang mengandung magnesium, sulfur, dan oksigen. Magnesium sulfat banyak digunakan di berbagai bidang, seperti bidang farmasi, bidang pertanian, bidang peternakan, hingga industry kertas. Magnesium sulfat dapat diproduksi dengan 2 jenis proses reaksi yaitu 1) Reaksi antara Magnesium Karbonat dengan Asam Sulfat, dan 2) Reaksi antara Magnesium Hidroksida dengan Kalsium Sulfat. Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik berupa sistem 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 Kawasan Industri JIPE, Gresik. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 188 orang dengan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi *line and staff*.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

Fixed Capital Investment (FCI)	= Rp 307.390.629.194,926
Working Capital Investment (WCI)	= Rp 54.245.405.152,046
Total Capital Investment (TCI)	= Rp 578.876.500.285
Break Even Point (BEP)	= 44%
Shut Down Point (SDP)	= 25%
Pay Out Time before taxes (POT) <sup>b</sup>	= 3,16 years
Pay Out Time after taxes (POT) <sup>a</sup>	= 3,65 years
Return on Investment before taxes (ROI) <sup>b</sup>	= 27,91%
Return on Investment after taxes (ROI) <sup>a</sup>	= 26%
Discounted Cash Flow (DCF)	= 26%

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.

## ABSTRACT

### PRE-DESIGN OF MAGNESIUM SULFATE FACTORY FROM MAGNESIUM CARBONATE AND SULFURIC ACID WITH CAPACITY OF 15,000 TONS/YEAR

(Design of Crystallizer (CR-401))

By

DEVI SAGITHA ANGGRAINI

Magnesium sulfate is an inorganic salt chemical compound containing magnesium, sulfur, and oxygen. Magnesium sulfate is widely used in various fields, such as pharmaceuticals, agriculture, animal husbandry, and the paper industry. Magnesium sulfate can be produced by 2 types of reaction processes, namely 1) Reaction between Magnesium Carbonate and Sulfuric Acid, and 2) Reaction between Magnesium Hydroxide and Calcium Sulphate. Provision of factory utility needs in the form of water treatment and supply systems, steam supply systems, cooling water, and power generation systems.

The production capacity of the magnesium sulfate factory is planned to be 15,000 tons/year with 330 working days in 1 year. The factory location is planned to be established in the JIPE Industrial Area, Gresik. The workforce needed is 188 people in the form of a Limited Liability Company (PT) with a line and staff organizational structure. From the economic analysis obtained:

Fixed Capital Investment (FCI)	= Rp 307,390,629,194.926
Working Capital Investment (WCI)	= Rp 54,245,405,152.046
Total Capital Investment (TCI)	= Rp 578,876,500,285
Break Even Point (BEP)	= 44%
Shut Down Point (SDP)	= 25%
Pay Out Time before taxes (POT) <sup>b</sup>	= 3.16 years
Pay Out Time after taxes (POT) <sup>a</sup>	= 3.65 years
Return on Investment before taxes (ROI) <sup>b</sup>	= 27.91%
Return on Investment after taxes (ROI) <sup>a</sup>	= 26%
Discounted Cash Flow (DCF)	= 26%

Based on the above explanations, the establishment of this magnesium sulfate factory is worthy of further study, because it is a factory that is profitable from an economic perspective and has relatively good prospects.

**PRARANCANGAN PABRIK MAGNESIUM SULFAT DARI  
MAGNESIUM KARBONAT DAN ASAM SULFAT DENGAN KAPASITAS  
15.000 TON/TAHUN  
(Perancangan *Crystallizer* (CR-401))**

Oleh  
**DEVI SAGITHA ANGGRAINI (1815041048)**

**(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 15.000 TON/TAHUN  
(Perancangan *Crystallizer* (CR-401))**

Nama Mahasiswa

**: Devi Sagitha Anggraini**

Nomor Pokok Mahasiswa

**: 1815041048**

Program Studi

**: Teknik Kimia**

Fakultas

**: Teknik**



**Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M.Eng.**

**NIP. 196908071998021001**

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

**NIP. 197407122000032001**

**2. Ketua Jurusan Teknik Kimia**

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

**NIP. 197407122000032001**

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M.Eng.** .....

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

Penguji

Bukan Pembimbing I : **Prof. Dr. Ir. Joni Agustian, S.T., M.Sc. IPM.** .....

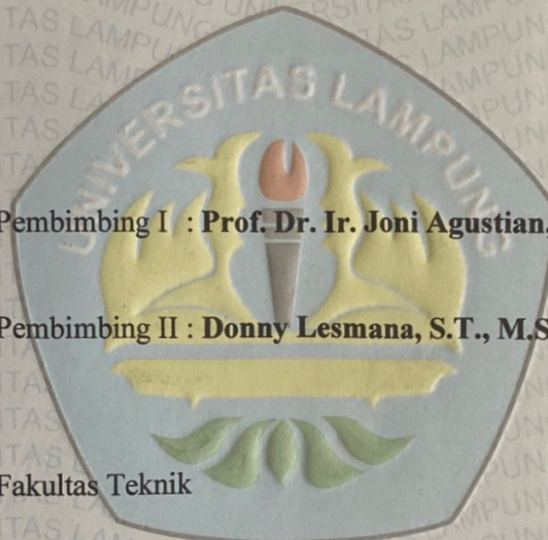
Bukan Pembimbing II : **Donny Lesmana, S.T., M.Sc.** .....

2. Dekan Fakultas Teknik

**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.** .....

**NIP. 197509282001121001**

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **18 Juli 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, 19 Agustus 2024



Devi Sagitha Anggraini

NPM. 1815041048

## RIWAYAT HIDUP



**Devi Sagitha Anggraini**, penulis laporan skripsi ini dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 12 Desember 2000, putri tunggal dari pasangan Bapak Dedi Kusworo dan Ibu Evi Eryani.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 2 Perumnas Way Halim pada tahun 2012, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPS AL-AZHAR 3 Bandar Lampung pada tahun 2015 dan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAS YP UNILA Bandar Lampung pada tahun 2018.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (HIMATEMIA) FT UNILA. Di HIMATEMIA FT UNILA, penulis menjadi Kepala Departemen Kesekretariatan pada tahun 2020, Staff Departemen Kesekretariatan pada tahun 2019 dan Sekertaris Pelaksana dalam acara Nasional EXCESS (*Explosion Chemical Engineering Studies Activities*) pada tahun 2021.

Pada tahun 2021, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di kelurahan Perumnas Way Halim, Way Halim, Bandar Lampung, dan melakukan Kerja Praktik (KP) di Pabrik Gula PT. Bungamayang Cintamanis Nusantara (BCN) distrik



Bungamayang PTPN VII dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja *Juice Heater II* Pada Stasiun Pemurnian”. Pada tahun 2021 hingga 2022, penulis melakukan penelitian dengan judul “Pengolahan Limbah Cair *Laundry* dengan Proses Elektrokoagulasi Sistem *Batch Recycle* Menggunakan Elektroda Aluminium Bipolar”.

Selama aktif berkuliah, pada tahun 2022 penulis juga pernah mendapatkan Juara I Lomba *Video Contest EXCESS (Explosion Chemical Engineering Studies Activities)* tingkat Nasional dengan tema “*Pengolahan Limbah Rumah Tangga*” dan menjadi peserta terpilih Lomba Karya Tulis Ilmiah (LKTIN) *Chemistry Expo XXVI* tingkat Nasional dengan tema “*Perkolasi: Peningkatan Kreativitas Mahasiswa sebagai Agent of Change Melalui Inovasi dan Implementasi di Era Super Smart Society*”. Selain lomba, penulis juga pernah menjadi asisten laboratorium. Pada tahun 2022, penulis menjadi asisten laboratorium praktikum Operasional Teknik Kimia 1 (OTK 1) dengan modul praktikum Distilasi untuk mahasiswa Teknik Kimia Universitas Lampung dan asisten laboratorium praktikum Operasional Teknik Kimia (OTK) dengan modul praktikum Distilasi untuk mahasiswa Teknik Kimia Universitas Jambi. Sedangkan untuk tahun 2023, penulis menjadi asisten laboratorium praktikum Kimia Fisika dengan modul praktikum Kinetika Reaksi.

## ***Motto dan Persembahan***

*“Janganlah engkau bersedih, sesungguhnya Allah SWT bersama kita”*

*(QS At-Taubah :40)*

*“Apa pun yang kau cinta dan segala usaha pasti nanti kan  
berbunga, disaat sudah waktunya. Bukan untuk menang kalah,  
tapi tentang bagaimana kau bangkit berkali kalinya. Sebesar  
apapun hasilnya, nikmati perjalanannya”*

*(Chintya Gabriella – Nikmati Perjalanannya)*

*“Sadarlah yang terjadi dalam hidupmu tak selalu semudah itu  
berjalan mengikuti keinginanmu. Jangan putus asa dahulu,  
karena pelaut hebat tak pernah lahir di laut yang tenang. Mari  
teruslah kau berjuang. Coba ingat kembali tujuan awalmu  
berlari”*

*(HiVi! – Jatuh, Bangkit Kembali)*

*“Besar dan membesarlah, tak ada guna menjadi besar karena  
mengerdihkan. Pintar dan jadilah cahaya, tak ada harga menjadi  
pintar karena membodohi semua. Benar dan jadilah tegar, bukan  
mencari pembenaran. Meski seluruh dunia menyalahkan, yang benar  
tidak mungkin kehilangan binar. Tak perlu merengek minta diakui.  
Matahari tidak pernah sesumbar kalau menyinari, hangatnya sudah  
melingkupi tanpa perlu basa-basi”*

# *Sebuah Karya*

*Kupersembahkan dengan sepenuh hati:*

*Dengan mengucapkan syukur kepada Allah SWT,*

*Kupersembahkan karya kecilku ini kepada:*

*Kedua Orang Tuaku, manusia paling utama di hidupku.*

*terima kasih atas pengorbanan, perjuangan, jerih payah yang sudah tak  
terhitung jumlahnya dan terima kasih atas doa, dukungan, motivasi dan kasih  
sayangnya yang tak terhingga selama ini.*

*Keluarga Besariku, Terimakasih banyak untuk do'a dan dukungannya selama ini.*

*Sahabat-sahabatku, terima kasih atas bantuan, semangat, doa, dorongan, senang  
dan sedih, yang kita lalui selama Semoga suatu saat kita dapat berjumpa  
kembali dengan kisah kesuksesan kita masing-masing.*

*Civitas Akademisi Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung, Terimakasih atas  
ilmu yang telah diberikan selama ini*

*Serta kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta,  
semoga dapat berguna dikemudian hari.*

## SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Prarancangan Pabrik Magnesium Sulfat dari Magnesium Karbonat dan Asam Sulfat dengan Kapasitas 15.000 Ton/Tahun” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana (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. Kedua Orang Tuaku (Bapak Dedi Kusworo dan Ibu Evi Eryani) tersayang, sumber kebahagiaan dan manusia paling utama di muka bumi dalam hidup penulis. Terima kasih atas seluruh kasih sayang, semangat, doa, usaha, dan fasilitas yang tidak putus diberikan kepada putri tunggalnya ini hingga detik ini. Terima kasih atas semua yang telah diberikan, karena kalianlah faktor utama penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung sekaligus Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, masukan, saran, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir.
3. Ibu Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak ilmu yang bermanfaat, pengarahan, bimbingan, motivasi, solusi, dan saran selama penyelesaian tugas akhir.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Joni Agustian, S. T., M. Sc., IPM. selaku Dosen Peguji I yang telah memberikan banyak saran dan kritikan dalam penyelesaian tugas akhir.
5. Bapak Donny Lesmana, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan banyak saran dan kritikan dalam penyelesaian tugas akhir.

6. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu yang telah diberikan selama masa studi. Semoga dapat menjadi bekal dan acuan untuk terus berkembang di masa depan
7. Puspito Wijayanto. selaku partner TA dan pendengar keluh kesah penulis. Terima kasih atas kerja sama, ilmu, dukungan, bantuan, waktu, dan canda tawa dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Sahabatku tersayang Silmin, Ardele, Ibeh, Uling, Berna dan Ice atas semua kebaikan, bantuan, ilmu, motivasi, dorongan, canda tawa, keluh kesah selama penulis menjalani kehidupan perkuliahan. Kalian *support system* penulis nomor 1 di kampus.
9. Teman-teman angkatan 2018 Teknik Kimia Unila yang mewarnai hari-hari penulis selama di kampus, teman seperjuangan dari hari pertama PKKMB, pengkaderan, panitia, hima, hingga kelulusan penulis. Terima kasih atas kebaikan dan suka dukanya selama ini.

Penulis menyadari laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian dengan yang lebih baik. Harapan lainnya semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya. Aamiin.

Bandar Lampung, Agustus 2024  
Penulis,

Devi Sagitha Anggraini

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
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
<b>BAB II PEMILIHAN DAN DESKRIPSI PROSES.....</b>	<b>17</b>
2.1. Jenis-Jenis Proses .....	17
2.2. Tinjauan Ekonomi .....	20
2.3 Tinjauan Thermodinamika .....	32
2.4. Perbandingan Proses.....	43
2.5. Uraian Proses.....	44
<b>BAB III SPESIFIKASI BAHAN DAN PRODUK .....</b>	<b>46</b>
3.1. Spesifikasi Bahan Baku.....	46
3.2 Spesifikasi Bahan Pembantu.....	50
3.3 Spesifikasi Produk Utama.....	51
3.4 Spesifikasi Produk Samping.....	53
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN ENERGI .....</b>	<b>54</b>
4.1 Neraca Massa.....	60
4.2 Neraca Panas.....	64

<b>BAB V SPESIFIKASI ALAT .....</b>	<b>68</b>
5.1. Spesifikasi Alat Unit Proses .....	68
1. Tangki Asam Sulfat (T-101).....	68
2. <i>Dissolution Tank</i> (ST-101) .....	69
3. <i>Heater</i> (HE-111).....	71
4. <i>Warehouse</i> (WH-101).....	72
5. <i>Silo Storage</i> (SS-101).....	73
6. Reaktor (RE-201) .....	74
7. Filter Press (FP-201).....	76
17. <i>Crystallizer</i> (CR-301).....	74
9. <i>Centrifuge</i> (CF-301) .....	78
10. <i>Rotary Dryer</i> ( RD – 301 ).....	79
11. <i>Screw Conveyor</i> (SC-101) .....	80
12. <i>Screw Conveyor</i> (SC-102).....	81
13. <i>Screw Conveyor</i> (SC-301).....	82
14. <i>Screw Conveyor</i> (SC-401).....	83
15. Pompa Proses (PP-101) .....	84
16. Pompa Proses (PP-102) .....	85
17. Pompa Proses (PP-201) .....	86
18. Pompa Proses (PP-302).....	87
19. Pompa Proses (PP-303).....	88
20. Bak Sedimentasi (BS-501) .....	89
21. Tangki Alum (ST-501).....	90
22. Tangki Kaporit (ST-502) .....	91
23. Tangki Soda Kaustik (ST-503).....	92
24. Tangki Air Filter (ST-504) .....	93
25. Tangki Asam Sulfat (ST-505) .....	94
26. Tangki Dispersan (ST-506) .....	95
27. Tangki Inhibitor (ST-507) .....	96
28. Tangki Penyimpanan Air Kondensat (ST-509) .....	97
29. Tangki Hidrazin (ST-510) .....	98
30. Spesifikasi Tangki Solar (ST-701) .....	99
31. CO <sub>2</sub> (ST-901) .....	100
32. <i>Clarifier</i> (CL-501) .....	101
33. <i>Sand Filter</i> (SF-501).....	102

34. <i>Cooling Tower (CT-501)</i> .....	103
35. <i>Cation Exchanger (CE-501)</i> .....	104
36. <i>Anion Exchanger (AE-501)</i> .....	105
37. <i>Deaerator (DA-501)</i> .....	106
38. <i>Pompa Utilitas (PU-501)</i> .....	107
39. <i>Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-502)</i> .....	108
40. <i>Pompa Utilitas (PU-503)</i> .....	109
41. <i>Pompa Utilitas (PU-504)</i> .....	110
42. <i>Pompa Utilitas (PU-505)</i> .....	111
43. <i>Pompa Utilitas (PU-506)</i> .....	112
44. <i>Pompa Utilitas (PU-507)</i> .....	113
45. <i>Pompa Utilitas (PU-508)</i> .....	114
46. <i>Pompa Utilitas (PU-509)</i> .....	115
47. <i>Pompa Utilitas (PU-510)</i> .....	116
48. <i>Pompa Utilitas (PU-511)</i> .....	117
49. <i>Pompa Utilitas (PU-512)</i> .....	118
50. <i>Pompa Utilitas (PU-513)</i> .....	119
51. <i>Pompa Utilitas (PU-514)</i> .....	120
52. <i>Pompa Utilitas (PU-415)</i> .....	121
53. <i>Pompa Utilitas (PU-516)</i> .....	122
54. <i>Pompa Utilitas (PU-517)</i> .....	123
55. <i>Pompa Utilitas (PU-518)</i> .....	124
56. <i>pompa Utilitas (PU-519)</i> .....	125
57. <i>Pompa Utilitas (PU-520)</i> .....	126
58. <i>Pompa Utilitas (PU-521)</i> .....	127
59. <i>Boiler (BO-501)</i> .....	128
60. <i>Blower Steam (BS-501)</i> .....	129
61. <i>Air Blower 601 (AB-601)</i> .....	129
62. <i>Air Blower 602 (AB-602)</i> .....	130
63. <i>Air Blower 603 (AB-603)</i> .....	130
64. <i>Air Blower 604 (AB-604)</i> .....	131
65. <i>Cyclone (CY-601)</i> .....	131
66. <i>Air Dryer (AD-601)</i> .....	132
67. <i>Compressor (CP-601)</i> .....	132
68. <i>Heater (HE-601)</i> .....	133



69. <i>Generator Set</i> (GS-701).....	134
70. <i>CO<sub>2</sub> Blower</i> (BL-901).....	134
71. <i>CO<sub>2</sub> Compressor</i> (CP-901).....	135
<b>BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH</b> .....	136
6.1. Unit Pendukung Proses.....	136
1. Unit Pengolahan Air .....	136
2. Unit Penyediaan Umum dan Sanitasi .....	143
3. Air Pendingin.....	145
4. Air Bebas Mineral .....	149
5. Unit Penyediaan Kukus ( <i>Steam</i> ).....	152
6.2. Sistem Pembangkit Tenaga Listrik.....	155
6.3. Sistem Penyediaan Bahan Bakar .....	155
6.4. Sistem Penyedia Udara .....	156
6.5. Pengolahan Limbah.....	157
6.6. Laboratorium .....	159
1. Laboratorium Fisika .....	160
2. Laboratorium Analitik .....	161
3. Laboratorium Penelitian dan Pengembangan .....	161
4. Laboratorium Analisa Air.....	161
6.7. Instrumentasi dan Pengendalian Proses.....	162
<b>BAB VII TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK</b> .....	168
7.1. Lokasi Pabrik.....	168
7.2. Tata Letak Pabrik.....	171
7.3. Estimasi Area Pabrik .....	174
<b>BAB VIII MANAJEMEN DAN ORGANISASI PERUSAHAAN</b> .....	178
8.1. Bentuk Perusahaan .....	178
8.2. Struktur Organisasi Perusahaan.....	181
8.3. Tugas dan Wewenang.....	184
8.4. Status Karyawan dan Penggajian.....	192
8.5. Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	193
8.6. Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan.....	195

8.7. Kesejahteraan Kaaryawan .....	199
<b>BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI .....</b>	<b>203</b>
9.1. Investasi .....	203
9.2. Evaluasi Ekonomi .....	207
9.3. Angsuran Pinjaman .....	210
9.4. <i>Discounted Cash Flow</i> (DCF).....	210
<b>BAB X KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>212</b>
10.1. Kesimpulan.....	212
10.2. Saran.....	212

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1. 1</b> Kebutuhan Bahan Baku.....	4
<b>Tabel 1. 2</b> Daftar Pabrik Asam Sulfat di Indonesia.....	5
<b>Tabel 1. 3</b> Daftar Pabrik Magnesium Karbonat di Berbagai Negara .....	5
<b>Tabel 1. 4</b> Harga Bahan Baku dan Produk .....	7
<b>Tabel 1. 5</b> Data Konsumsi Magnesium Sulfat di Indonesia.....	8
<b>Tabel 1. 6</b> Data Impor Magnesium Sulfat di Indonesia .....	10
<b>Tabel 2. 1</b> Harga Bahan Baku dan Produk Proses I.....	18
<b>Tabel 2. 2</b> Stoikiometri Reaksi Proses I .....	21
<b>Tabel 2. 3</b> Harga Bahan Baku dan Produk Proses II.....	26
<b>Tabel 2. 4</b> Stoikiometri Reaksi Proses II.....	27
<b>Tabel 2. 5</b> Data Entalpi dan Energi Bebas <i>Gibbs</i> pada $T = 298,15 \text{ K}$ ( $25^\circ\text{C}$ ) Proses I.....	34
<b>Tabel 2. 6</b> Data Konstanta Masing-Masing Komponen Proses I.....	35
<b>Tabel 2. 7</b> Data Entalpi dan Energi Bebas <i>Gibbs</i> pada $T = 298,15 \text{ K}$ ( $25^\circ\text{C}$ ) Proses II.....	38
<b>Tabel 2. 8</b> Data Konstanta Masing-Masing Komponen Proses II.....	39
<b>Tabel 2. 9</b> Perbandingan Proses .....	42
<b>Tabel 4. 1</b> Berat Molekul Tiap Komponen.....	54
<b>Tabel 4. 2</b> Stoikiometri Reaksi.....	55
<b>Tabel 4. 3</b> Neraca Massa di <i>Dissolution Tank (DT-101)</i> .....	60
<b>Tabel 4. 4</b> Neraca Massa di <i>Screw Conveyor (SC-102)</i> .....	60
<b>Tabel 4. 5</b> Neraca Massa di <i>Reaktor (RE-201)</i> .....	61
<b>Tabel 4. 6</b> Neraca Massa di <i>Filter Press (FP-301)</i> .....	61
<b>Tabel 4. 7</b> Neraca Massa di <i>Crystallizer (CR-301)</i> .....	62
<b>Tabel 4. 8</b> Neraca Massa di <i>Centrifuge (CF-301)</i> .....	62
<b>Tabel 4. 9</b> Neraca Massa di <i>Rotary Dryer (RD-301)</i> .....	63
<b>Tabel 4. 10</b> Neraca Panas di <i>Dissolution Tank (DT-101)</i> .....	64
<b>Tabel 4. 11</b> Neraca Panas di <i>Heater (HE-111)</i> .....	64

Tabel 4. 12 Neraca Panas di Screw Conveyor (SC-102) .....	65
Tabel 4. 13 Neraca Panas di Reaktor (RE-201) .....	65
Tabel 4. 14 Neraca Panas di Filter Press (FP-301) .....	66
Tabel 4. 15 Neraca Panas di Crystallizer (CR-301) .....	66
Tabel 4. 16 Neraca Panas di Centrifuge (CF-301) .....	67
Tabel 4. 17 Neraca Panas di Rotary Dryer (RD-301) .....	67
Tabel 5. 1 Spesifikasi Tangki Penyimpanan Asam Sulfat (ST-101) .....	68
Tabel 5. 2 Spesifikasi Tangki Pengenceran Asam Sulfat (DT-101) .....	69
Tabel 5. 3 Spesifikasi Heater (HE-101) .....	71
Tabel 5. 4 Spesifikasi Warehouse (WH-401) .....	72
Tabel 5. 5 Spesifikasi Solid Storage (SS-401) .....	73
Tabel 5. 6 Spesifikasi Reaktor (RE-201) .....	74
Tabel 5. 7 Spesifikasi Filter Press (FP-101) .....	76
Tabel 5. 8 Spesifikasi Crystallizer (CR-301) .....	77
Tabel 5. 9 Spesifikasi Centrifuge (CF-301) .....	78
Tabel 5. 10 Spesifikasi Rotary Dryer (RD – 301) .....	79
Tabel 5. 11 Spesifikasi Screw Conveyor (SC-101) .....	80
Tabel 5. 12 Spesifikasi Screw Conveyor (SC-102) .....	81
Tabel 5. 13 Spesifikasi Screw Conveyor (SC-301) .....	82
Tabel 5. 14 Spesifikasi Screw Conveyor (SC-401) .....	83
Tabel 5. 15 Spesifikasi Pompa Proses (PP-101) .....	84
Tabel 5. 16 Spesifikasi Pompa Proses (PP-102) .....	85
Tabel 5. 17 Spesifikasi Pompa Proses (PP-201) .....	86
Tabel 5. 18 Spesifikasi Pompa Proses (PP-302) .....	87
Tabel 5. 19 Spesifikasi Pompa Proses (PP-303) .....	88
Tabel 5. 20 Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-501) .....	89
Tabel 5. 21 Spesifikasi Tangki Alum (ST-501) .....	90
Tabel 5. 22 Spesifikasi Tangki Kaporit (ST-502) .....	91
Tabel 5. 23 Spesifikasi Tangki Soda Kaustik (ST-503) .....	92
Tabel 5. 24 Spesifikasi Tangki Air Filter (ST-504) .....	93
Tabel 5. 25 Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (ST-505) .....	94

<b>Tabel 5. 27</b> Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST-507).....	96
<b>Tabel 5. 28</b> Spesifikasi Tangki Penyimpanan Air Kondensat (ST-509) .....	97
<b>Tabel 5. 29</b> Spesifikasi Tangki Hidrazin (ST-510).....	98
<b>Tabel 5. 30</b> Spesifikasi Tangki Solar (ST-701) .....	99
<b>Tabel 5. 31</b> Spesifikasi CO <sub>2</sub> (ST-901).....	100
<b>Tabel 5. 32</b> Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CL-501).....	101
<b>Tabel 5. 33</b> Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-501) .....	102
<b>Tabel 5. 34</b> Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-501).....	103
<b>Tabel 5. 42</b> Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-501) .....	104
<b>Tabel 5. 43</b> Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-501).....	105
<b>Tabel 5. 44</b> Spesifikasi <i>Deaerator</i> (DA-501) .....	106
<b>Tabel 5. 45</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-501) .....	107
<b>Tabel 5. 46</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-502) .....	108
<b>Tabel 5. 47</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-503) .....	109
<b>Tabel 5. 48</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-504) .....	110
<b>Tabel 5. 49</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-505) .....	111
<b>Tabel 5. 50</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-506) .....	112
<b>Tabel 5. 51</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-507) .....	113
<b>Tabel 5. 52</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-508) .....	114
<b>Tabel 5. 53</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-509) .....	115
<b>Tabel 5. 54</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-510) .....	116
<b>Tabel 5. 55</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-511) .....	117
<b>Tabel 5. 56</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-512) .....	118
<b>Tabel 5. 57</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-513) .....	119
<b>Tabel 5. 58</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-514) .....	120
<b>Tabel 5. 59</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-415) .....	121
<b>Tabel 5. 60</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-516) .....	122
<b>Tabel 5. 61</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-517) .....	123
<b>Tabel 5. 62</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-518) .....	124
<b>Tabel 5. 63</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-519) .....	125
<b>Tabel 5. 64</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-520) .....	126
<b>Tabel 5. 65</b> Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-521) .....	127

<b>Tabel 5. 66</b> Spesifikasi <i>Boiler</i> (BO-501).....	128
<b>Tabel 5. 67</b> Spesifikasi <i>Blower Steam</i> (BS-501).....	129
<b>Tabel 5. 68</b> Spesifikasi <i>Air Blower</i> 601 (AB-601) .....	129
<b>Tabel 5. 69</b> Spesifikasi <i>Air Blower</i> 602 (AB-602) .....	130
<b>Tabel 5. 70</b> Spesifikasi <i>Air Blower</i> 603 (AB-603) .....	130

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1</b>	Grafik Impor Magnesium Sulfat Heptahidrat Tahun 2017 -2021 ...	11
<b>Gambar 2. 1</b>	Diagram Alir Proses Pembuatan Magnesium Sulfat .....	19
<b>Gambar 6. 4</b>	Diagram Alir Pengolahan Air.....	137
<b>Gambar 7. 1</b>	Peta Kabupaten Gresik .....	175
<b>Gambar 7. 2</b>	Area Kawasan Industri JIPE Gresik.....	175
<b>Gambar 7. 3</b>	Tata Letak Pabrik .....	176
<b>Gambar 7. 4</b>	Tata Letak Unit Proses .....	177
<b>Gambar 8. 1</b>	Struktur Organisasi pada Pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat..	183
<b>Gambar 9. 1</b>	Grafik Analisa Ekonomi.....	201
<b>Gambar 9. 2</b>	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 <sub>4</sub>	15.000
2.	MgCO <sub>3</sub>	5.259
3.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	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 Guanlian New Material Co., Ltd.	Hebei, Tiongkok	1.000.000	99%
4.		PT. Xiamen Ditai Chemical Co.,Ltd.,	Xiamen, Tiongkok	60.000	98%
5.		PT. National Chemical Industries	Maharast	600	99%
6.	India	PT. Jaykem Enterprises	Mumbai, India	720	98%
7.		Agrosyn Impex	Gujarat, India	700	99%
8.		California Chemical Company	California, US	440.000	99%
9.	Amerika Serikat	Sundland Chemical	California, US	500.000	99%
10.		Custom Chemical Service LLC	Florida, US	400.000	99%

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](http://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	500.000
7.	CJ Feed Jombang	Pakan Ternak	Jl. Raya Mojoagung Jombang Km 2, Jombang, Jawa Timur	240.000
8.	PT. Cargil Indonesia	Pakan Ternak	Jl. Raya Semaran-Purwodadi, Grobogan, Jawa Tengah	400.000

---

Sumber: <http://daftarperusahaanindonesia.com>

## 1.5 Kapasitas Rancangan

### 1.5.1 Data Impor dalam Negeri

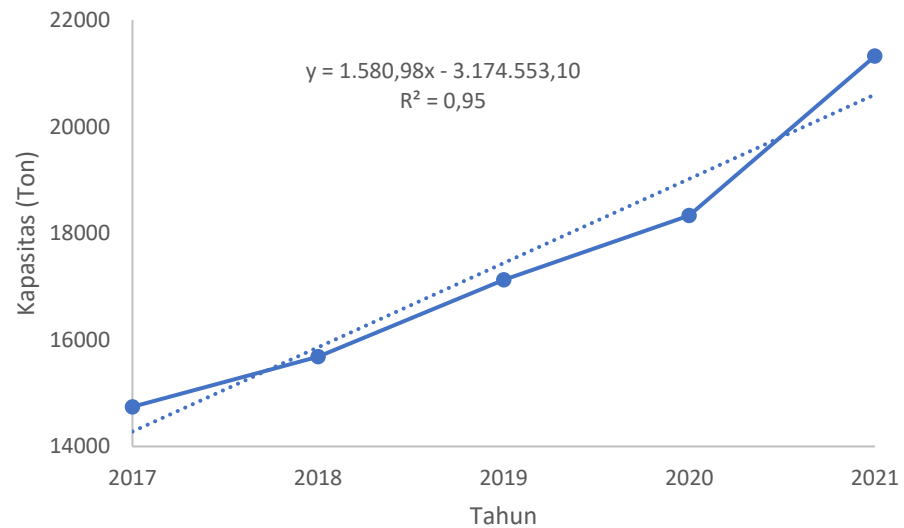
Hingga saat ini Indonesia masih mengimpor magnesium sulfat dari luar negeri. Di bawah ini merupakan Tabel 1.6 yang menunjukkan data impor magnesium sulfat beberapa tahun terakhir.

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 35.000 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 km<sup>2</sup> sedangkan wilayah perairan seluas 5.773,80 km<sup>2</sup>. 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 didaerah 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

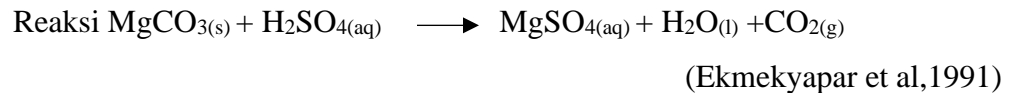
### PEMILIHAN DAN URAIAN PROSES

#### 2.1 Jenis-Jenis Proses

Terdapat 2 proses alternatif dalam pembuatan magnesium sulfat, yaitu:

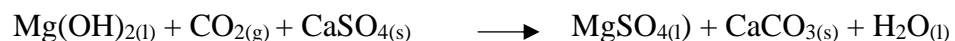
1. Reaksi antara Magnesium Karbonat dengan Asam Sulfat

Magnesium karbonat direaksikan dengan asam sulfat di dalam reaktor pada kondisi  $T = 80^{\circ}\text{C}$  dan  $P = 1 \text{ atm}$ , maka terbentuk larutan  $\text{MgSO}_4$ . Larutan yang terbentuk difiltrasi untuk menghilangkan impuritas, kemudian dimasukkan ke dalam *vaporizer* untuk memekatkan dan memurnikan cairan  $\text{MgSO}_4$  sebelum dimasukkan ke *crystallizer* untuk pembentukan kristal  $\text{MgSO}_4$ .

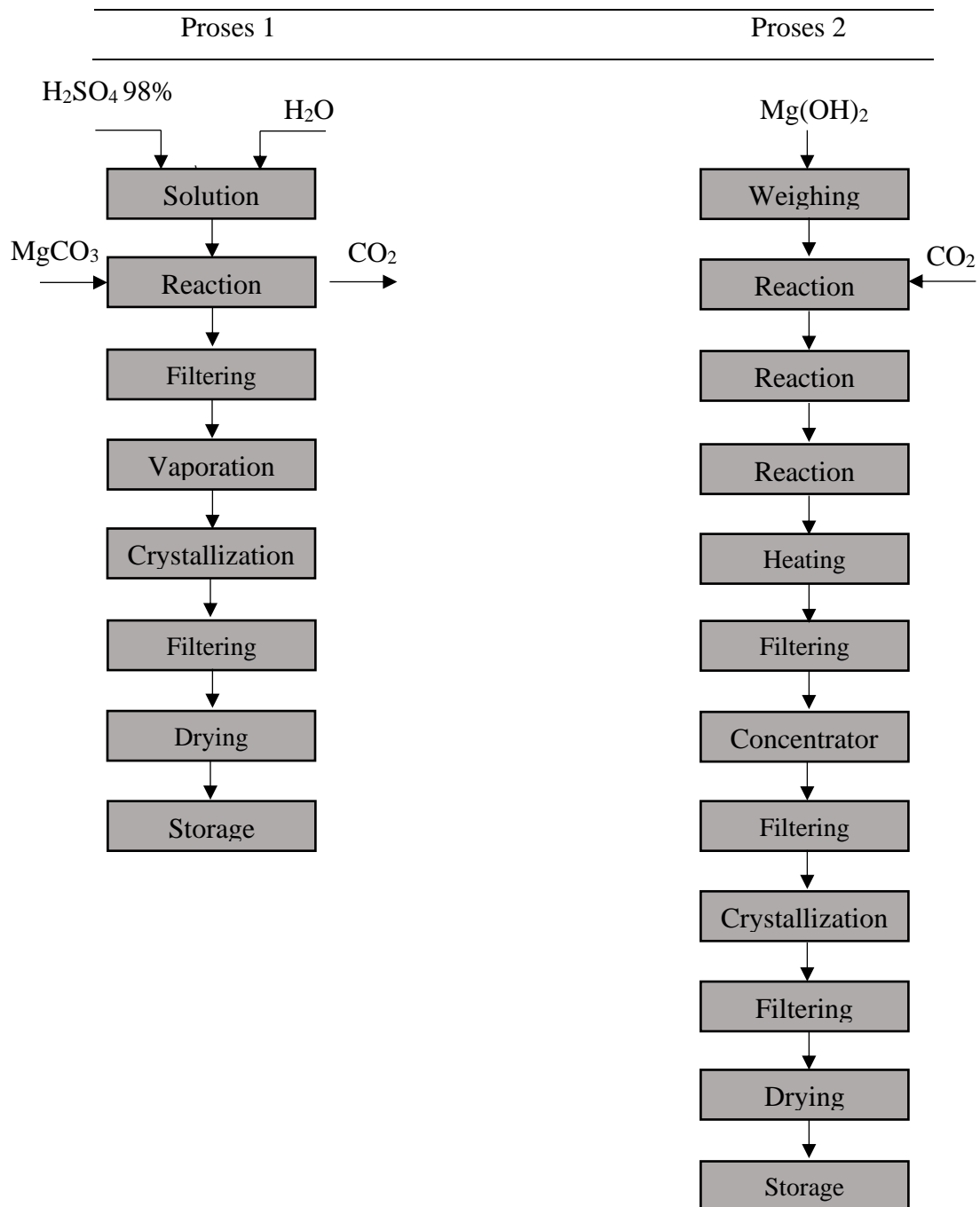


2. Reaksi antara Magnesium Hidroksida dengan Kalsium Sulfat

Proses ini menggunakan bahan baku magnesium hidroksida ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) dan kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ). Kedua bahan baku ini diatur perbandingan komposisinya didalam weighing tank sebelum diumpankan kedalam *feed* tank. Suspensi ini akan dipompa dan dikarbonasi dengan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) didalam reaktor yang bertujuan untuk membentuk magnesium karbonat ( $\text{MgCO}_3$ ), dengan reaksi:



Magnesium karbonat yang terbentuk direaksikan dengan gypsum ( $\text{CaSO}_4$ ) untuk menghasilkan magnesium sulfat ( $\text{MgSO}_4$ ). 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 ( $\text{CaCO}_3$ ). Filtrat yang terbentuk akan dipekatkan didalam *consentrator*, 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:

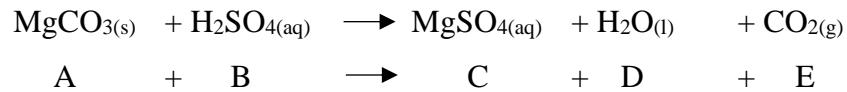
**Tabel 2.1.** Harga Bahan Baku dan Produk Proses I

Bahan	Konsentrasi (%)	Harga	
		USD/Kg	Rp/Kg
Magnesium Sulfat (MgSO <sub>4</sub> ) BM: 120,37 Kg/Kmol	98	1,8	28.192,50
Karbondioksida (CO <sub>2</sub> ) BM: 44,0095 Kg/Kmol	98	0,23	3.602,37
Magnesium Karbonat (MgCO <sub>3</sub> ) BM: 84,3139 Kg/Kmol	99	0,80	12.530
Asam Sulfat (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) BM: 98,08 Kg/Kmol	98	0,094	1.472,27

Sumber: diakses pada tanggal 11 November 2022

- [www.alibaba.com](http://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
MgCO <sub>3</sub> (s)	A	F <sub>A0</sub>	-F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>A</sub> = F <sub>A0</sub> (1-X <sub>A</sub> )
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (l)	B	F <sub>B0</sub>	-F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>B</sub> = F <sub>B0</sub> - F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>
MgSO <sub>4</sub> (s)	C	-	F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>C</sub> = F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>
H <sub>2</sub> O(l)	D	-	F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>D</sub> = F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>
CO <sub>2</sub> (g)	E	-	F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>E</sub> = F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>

(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<sub>c</sub>)

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

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

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

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

Mol Awal Magnesium Karbonat ( $F_{A0}$ )

Berdasarkan Tabel 2.2 Stoikiometri Reaksi, maka:

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

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

$$F_{A0} = \frac{7,7198 \text{ Kmol/Jam}}{99\%}$$

$$F_{A0} = 7,7978 \text{ Kmol/Jam}$$

Massa Magnesium Karbonat = mol Magnesium Karbonat x BM Magnesium Karbonat

$$= 7,7978 \text{ Kmol/Jam} \times 84,31 \text{ Kg/Kmol}$$

$$= 657,4653 \text{ Kg/Jam}$$

Mol awal Asam Sulfat ( $F_{B0}$ )

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

(Ekmekyapar et al, 1991)

Mol Asam Sulfat ( $F_{B0}$ ) = Mol Magnesium Karbonat  $\times$  1

$$= 7,7978 \text{ Kmol/Jam} \times 1$$

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

Mol Air ( $F_D$ )

Berdasarkan table 2.2 Stoikiometri Persamaan, maka:

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

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

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

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  $\text{MgSO}_4$

	$\text{MgCO}_3$	+	$\text{H}_2\text{SO}_4$	→	$\text{MgSO}_4$	+	$\text{H}_2\text{O}$	+	$\text{CO}_2$
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  $\text{MgCO}_3$  99% wt:

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

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

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

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

$$= 5.259.722,538 \text{ Kg/Tahun}$$

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

Asam sulfat  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% wt:

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

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

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

## b) Produk

Magnesium sulfat  $\text{MgSO}_4$ :

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

Magnesium sulfat  $\text{CO}_2$  :

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



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

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

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

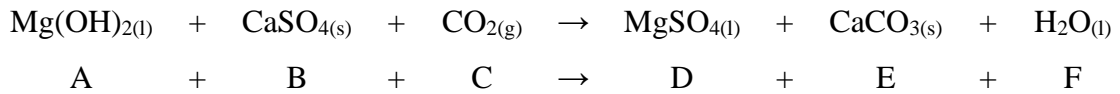
Bahan	Konsentresi (%)	Harga	
		USD/Kg	Rp/Kg
Magnesium Sulfat (MgSO <sub>4</sub> ) BM: 120,366 Kg/Kmol	98	1,8	28.192,50
Kalsium Karbonat (CaCO <sub>3</sub> ) BM: 100,0869 Kg/Kmol	98	0,7	10.963,75
Magnesium Hidroksida (Mg(OH) <sub>2</sub> ) BM: 58,3197 Kg/Kmol	98	0,6	9.397,5
Karbon Dioksida (CO <sub>2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

Sumber: diakses pada tanggal 11 November 2022

- [www.alibaba.com](http://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 2.1.** Stoikiometri Reaksi

Komponen	Simbol	Mol Awal	Mol Reaksi	Mol Akhir
Mg(OH) <sub>2(l)</sub>	A	F <sub>A0</sub>	-F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>A</sub> = F <sub>A0</sub> (1-X <sub>A</sub> )
CaSO <sub>4 (s)</sub>	B	F <sub>B0</sub>	-F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>B</sub> = F <sub>B0</sub> - F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>
CO <sub>2(g)</sub>	C	F <sub>C0</sub>	F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>C</sub> = F <sub>C0</sub> + F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>
MgSO <sub>4 (s)</sub>	D	-	F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>D</sub> = F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>
CaCO <sub>3(s)</sub>	E	-	F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>E</sub> = F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>
H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>	F	-	F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>F</sub> = F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>

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<sub>c</sub>)

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

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

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

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

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

Mol Awal magnesium hidroksida ( $F_{A0}$ )

Berdasarkan table 2.4 Stoikiometri Persamaan, maka:

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

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

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

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

Massa Magnesium hidroksida = mol Magnesium hidroksida      x      BM  
Magnesium hidroksida

$$= 22,02 \text{ Kmol/Jam} \times 58,31 \text{ Kg/Kmol}$$

$$= 1.284,77 \text{ Kg/Jam}$$

Mol awal Kalsium Sulfat ( $F_{B0}$ )

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

$$\text{Mol Kalsium Sulfat } (F_{B0}) = \text{Mol Magnesium Hidroksida} \times 1$$

$$= 22,02 \text{ Kmol/Jam} \times 1$$

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

Massa Kalsium Sulfat      = Mol Kalsium Sulfat x BM Kalsium Sulfat

$$= 22,02 \text{ Kmol/Jam} \times 136,14 \text{ Kg/Kmol}$$

$$= 2.999,14 \text{ Kg/Jam}$$

Mol awal Karbon Dioksida ( $F_{C0}$ )

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

$$\begin{aligned} F_C &= (\text{magnesium hidroksida} + \text{massa kalsium sulfat}) \times 16\% \\ &= (1.284,77 + 2.999,14) \text{ Kg/Jam} \times 16\% \\ &= 685,42 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_C &= \frac{\text{Massa karbon dioksida}}{\text{BM karbon dioksida}} \\ &= \frac{685,42 \text{ kg/jam}}{44 \text{ Kg/Kmol}} \\ &= 15,57 \text{ Kmol/Jam} \end{aligned}$$

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  $\text{MgSO}_4$

	$\text{Mg(OH)}_2$	+	$\text{CaSO}_4$	+	$\text{CO}_2$	→	$\text{MgSO}_4$	+	$\text{CaCO}_3$	+	$\text{H}_2\text{O}$
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:

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

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

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

$$\text{Massa umpan Mg}(\text{OH})_2 = \frac{1.284,77}{98\%} \text{ Kmol/Jam}$$

$$= 1.310,99 \text{ Kg/Jam}$$

$$= 10.383.082,89 \text{ Kg/Tahun}$$

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

Kalsium sulfat  $\text{CaSO}_4$  98% wt:

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

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

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

$$\text{Massa umpan CaSO}_4 = \frac{2.999,14}{98\%} \text{ Kmol/Jam}$$

$$= 3.060,35 \text{ Kg/Jam}$$

$$= 24.238.000,28 \text{ Kg/Tahun}$$

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

Karbondioksida CO<sub>2</sub> 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 MgSO<sub>4</sub>:

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

Kalsium karbonat  $\text{CaCO}_3$ :

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

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

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

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

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

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 ( $\Delta H$ ) dan perubahan energi bebas gibbs ( $\Delta G$ ) 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  $\Delta H$ , digunakan persamaan berikut (Himmelblau, 2012) :

$$\Delta H = H_{products}(T^{out}) - H_{reactants}(T^{in}) + \Delta H_{rxn}(25^{\circ}C)$$

Keterangan :

$\Delta H$  : 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  $\Delta G$  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

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

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

Keterangan :

$\Delta G$  : gibbs energi change of mixing

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

$\Delta fG^o = \Delta G_0$  : 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 <sup>o</sup> <sub>f</sub> (kJ/mol)	ΔG <sup>o</sup> <sub>f</sub> (kJ/mol)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-813,989	-690,003
MgCO <sub>3</sub>	-1.095,80	-1.012,10
MgSO <sub>4</sub>	-1.284,40	-1.170,6000
H <sub>2</sub> O	-285,8300	-237,1290
CO <sub>2</sub>	-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 <sub>4</sub> <sup>a)</sup>	75,83	111,72	-39,68	5,12	-0,83257	103,88
H <sub>2</sub> O <sup>a)</sup>	-203,6	1523,29	-3196,41	2474,45	3,855326	75,60
CO <sub>2</sub> <sup>a)</sup>	24,99	55,18	-33,69	7,94	-0,136638	39,52
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> <sup>b)</sup>	26,004	7,03E-01	-1,39E-03	1,03E-06	-	145,95
MgCO <sub>3</sub> <sup>a)</sup>	44,93	149,7	-74,18	11,97	-0,629261	84,02

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

dimana t = suhu (K)/1000

<sup>b)</sup> Perry (1997), dengan  $C_p = A + BT + C/T^2$

dimana t = suhu (K)

**Tabel 2.7** Komponen reaktan

Komponen	kmol	H <sup>o</sup> <sub>f</sub> (kJ/kmol)	$\Delta H_{25^oC}^{80^oC}$ (kJ/kmol)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7,7978	-813.989,0000	8.092,891
MgCO <sub>3</sub>	7,7978	-1.095.800,0000	4.621,474
<b>Total</b>		<b>-1.909.789,0000</b>	

**Tabel 2.8** Komponen produk

Komponen	kmol	H <sup>o</sup> <sub>f</sub> (kJ/kmol)	$\Delta H_{25^oC}^{80^oC}$ (kJ/kmol)
MgSO <sub>4</sub>	7,7199	-1.284.400,0000	5.713,6958
H <sub>2</sub> O	7,7199	-285.830,0000	4.158,293
CO <sub>2</sub>	7,7199	-393.509,0000	12.046,099
<b>Total</b>		<b>-1.963.739,0000</b>	

Sumber : David R. Lide, 2005, hal 58 dst.

Menghitung panas reaksi pada keadaan standar,  $\Delta H_{R, 298,15 K}$

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

(Himmelblau, 2012)

$$= [(7,7199)(-1.284.400) + (7,7199)(-285.830)$$

$$(7,7199)(-393.509) - [(7,7978)(-813.989) +$$

$$(7,7978)(-1.095.800)]$$

$$= -267.563,8420 \text{ kJ}$$

$$\sum_i^{reaktan} [H_i(80^{\circ}C) - H_i(25^{\circ}C)] = (7,7978)(8.092,891) + (7,7978)(4.621,474)$$

$$= 99.144,4341$$

$$\sum_i^{produk} [H_i(80^{\circ}C) - H_i(25^{\circ}C)] = (7,7199)(5.713,6958) + (7,7199)(4.158,293)$$

$$+ (7,7199)(12.046,099)$$

$$= 169.204,3544$$

$$\Delta H_R = \Delta H_{R, 298,15 K}^{\circ} + \Delta H_{produk} - \Delta H_{reaktan}$$

$$= 267,563.8420 + 169.204,3544 - 99.144,4341$$

$$= 337.623,7623 \text{ kJ}$$

- 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)

$$\begin{aligned} \Delta_f G^0 &= (\Delta_f G^0 MgSO_4 + \Delta_f G^0 H_2O + \Delta_f G^0 CO_2) - (\Delta_f G^0 H_2SO_4 + \Delta_f G^0 MgCO_3) \\ &= [(7,7199)(-1.170.600) + (7,7199)(-273.129) + \\ &\quad (7,7199)(-394.359)] - [(7,7978)(-690.003) + (7,7978)(-1.012.100)] \\ &= -639.142,1362 \text{ kJ} \end{aligned}$$

- 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 :

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

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

$$\begin{aligned} \Delta A &= \Sigma A_{produk} - \Sigma A_{reaktan} \\ &= (A MgSO_4 + A H_2O + A CO_2) - (A H_2SO_4 + A MgCO_3) \\ &= (75,83 + (-203,6) + 24,99) - (26,004 + 44,93) \\ &= -173,71 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta B &= \Sigma B_{produk} - \Sigma B_{reaktan} \\ &= (B MgSO_4 + B H_2O + B CO_2) - (B H_2SO_4 + B MgCO_3) \\ &= (111,72 + 1523,29 + 55,18) - (7,00E-01 + 149,70) \\ &= 1539,79 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta C &= \Sigma C_{produk} - \Sigma C_{reaktan} \\ &= (C MgSO_4 + C H_2O + C CO_2) - (C H_2SO_4 + C MgCO_3) \\ &= (-39,68 + (-3.196,41) + (-33,69)) - (-1,39E-03 + (-74,18)) \\ &= -3195,59 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta D &= \Sigma D_{produk} - \Sigma D_{reaktan} \\
&= (D MgSO_4 + D H_2O + D CO_2) - (D H_2SO_4 + D MgCO_3) \\
&= (5,19 + 2474,45 + 7,94) - (1,03E-06 + 11,97) \\
&= 2475,53
\end{aligned}$$

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

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

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

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

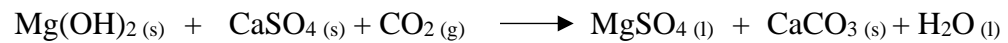
Sehingga nilai  $\Delta G_r$  adalah:

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

$$\begin{aligned}
 &= (-54) - \frac{353,15}{298,15} (-54 - (-99,98)) + ((8,314 \times 10^{-3}) \times 2348,11) - \\
 &\quad (((8,314 \times 10^{-3}) \times 353,15 \times 472,21)) \\
 &= -1.475,41 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

### 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	$\Delta H^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta G^\circ_f$ (kJ/mol)
Mg(OH) <sub>2</sub>	-913,7	-883,5
CaSO <sub>4</sub>	-1.434,10	-1.321,70
CO <sub>2</sub>	-393,5090	-394,35
MgSO <sub>4</sub>	-1.284,40	-1.170,60
CaCO <sub>3</sub>	-1.206,90	-1.128,70
H <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sup>a)</sup>	-203.6	1523.29	-3196.41	2474.45	3.88	75.71
MgSO <sub>4</sub> <sup>a)</sup>	75.83	111.72	-39.68	5.12	-0.83	102.63
CaCO <sub>3</sub> <sup>b)</sup>	19.68	0.01189	307600	0	0	21.14
CaSO <sub>4</sub> <sup>b)</sup>	18.52	0.02	156800.00	0	0	24.72
Mg(OH) <sub>2</sub> <sup>a)</sup>	84.90	74.44	-68.92	26.63	-2.17	84.93
CO <sub>2</sub> <sup>a)</sup>	24.99	55.18	-33.6	7.94	-0.13	39.12

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

dimana t = suhu (K)/1000

<sup>b)</sup> 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

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

(Himmelblau, 2012)

$$\begin{aligned} \Delta H_{rxn}^{\circ} = & (v_{MgSO_4} \Delta H_{fMgSO_4}^{\circ} + v_{CaCO_3} \Delta H_{fCaCO_3}^{\circ} \\ & + v_{H_2O} \Delta H_{fH_2O}^{\circ}) \\ & - (v_{Mg(OH)_2} \Delta H_{fMg(OH)_2}^{\circ} + v_{CaSO_4} \Delta H_{fCaSO_4}^{\circ} \\ & + v_{CO_2} \Delta H_{fCO_2}^{\circ}) \end{aligned}$$

$$= (-1284,40 + (-1206,90) + (-285,83)) - ((-1434,10) + (-1913,70) + (-393,50))$$

$$= 35,83 \text{ kJ/mol}$$

- Perhitungan energi bebas gibbs

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

(Atkins & Paula, 2006)

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



$$= ((-1170,60) + (-1128,70) + (-237,12)) - ((-883,5) + (-1321,70) + (-394,35))$$

$$= 63.13 \text{ Kj/mol}$$

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

- Perhitungan enthalpy

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

$$\Delta H = [(Cp \Delta T)MgSO_4 + (Cp \Delta T)H_2O + (Cp \Delta T)CaCO_3] - [(Cp \Delta T)Mg(OH)_2 + (Cp \Delta T)CaSO_4 + (Cp \Delta T)CO_2] + \Delta H_{rxn}(25^\circ\text{C})$$

$$\Delta H = [(102,63 \times (343,15 - 298,15)) + (75,71 \times (343,15 - 298,15)) + (21,14 \times (343,15 - 298,15))] - [(84,93 \times (343,15 - 298,15)) + (24,72 \times (343,15 - 298,15)) + 39,12] + (-35,83)$$

$$\Delta H = [4.618,39 + 3.407,10 + 951,65] - [3.822,16 + 1.112,73 + 1.760,77] + (-35,83)$$

$$\Delta H = 6.695,67 - 8.977,15 + (-35,83)$$

$$\Delta H = 2.317,31 \text{ Kj/Kmol}$$

- 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 :

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
\Delta C &= \Sigma C_{produk} - \Sigma C_{reaktan} \\
&= (C MgSO_4 + C H_2O + C CaCO_3) - (C CaSO_4 + C Mg(OH)_2 + C CO_2) \\
&= (-39,68 + (-3196,41) + 307600) - (156800 + (-68,92) + (-33,6)) \\
&= 147666,52
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta D &= \Sigma D_{produk} - \Sigma D_{reaktan} \\
&= (D MgSO_4 + D H_2O + D CaCO_3) - (D CaSO_4 + D Mg(OH)_2 + D CO_2) \\
&= (5,12 + 2474,45 + 0) - (0 + 26,63 + 7,94) \\
&= 2444,99
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\int_{T_0}^T \frac{\Delta cp^o}{R} dT &= (\Delta A)T_0(\tau - 1) + \frac{\Delta B}{2}T_0^2(\tau^2 - 1) + \frac{\Delta C}{3}T_0^3(\tau^3 - 1) + \frac{\Delta D}{T_0}\left(\frac{\tau - 1}{\tau}\right) \\
&= (-236,51)(293,15)\left(\frac{343,15}{298,15} - 1\right) + \left(\frac{1505,37}{2}\right)(298,15^2)\left(\left(\frac{343,15}{298,15}\right)^2 - 1\right) \\
&\quad + \left(\left(\frac{147666,52}{3}\right)(298,15)^3\left(\left(\frac{343,15}{298,15}\right)^3 - 1\right)\right) + \frac{2444,99}{298,15}\left(\frac{\frac{343,15}{298,15} - 1}{\frac{343,15}{298,15}}\right) \\
&= 1770,82
\end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned}
&= (-236,51) \ln \left( \frac{343,15}{298,15} \right) \\
&\quad + \left[ (1505,37)(298,15) + ((147666,52)(298,15)^2) \right. \\
&\quad \left. + \left( \frac{2444,99}{\left(\frac{343,15}{298,15}\right)^2 (298,15^2)} \right) \left( \frac{\frac{343,15}{298,15} - 1}{\frac{343,15}{298,15}} \right) \right] \left( \frac{343,15}{298,15} - 1 \right) \\
&= 297,55
\end{aligned}$$

Sehingga nilai  $\Delta G$  adalah:

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

### 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 <sub>3</sub> (impor) - H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (dalam negeri)	- Mg(OH) <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , MgCO <sub>3</sub> , CaSO <sub>4</sub> (impor)
Keuntungan (USD/Tahun)	18.670.330,65	6.238.675,47
Suhu (°C)	80	75
$\Delta H$ (kJ/mol)	-54 (Eksotermis)	2.317,31 (Endotermis)
$\Delta G$ (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.  $\Delta G$  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

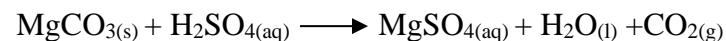
Berdasarkan US Patent 9,073,797 B2, proses pembuatan magnesium sulfat dengan bahan baku magnesium karbonat dan asam sulfat dibagi menjadi tiga tahap yaitu :

### 1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku magnesium karbonat ( $\text{MgCO}_3$ ) disimpan pada fase padat pada suhu  $30^\circ\text{C}$ , tekanan 1 atm di *Silo*. Bahan baku magnesium karbonat selanjutnya diangkut menuju Reaktor dengan *Screw Conveyor* untuk direaksikan. Sementara itu bahan baku asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 98% yang disimpan di dalam Tangki pada suhu  $30^\circ\text{C}$  dan tekanan 1 atm di pompa menuju *Dissolution Tank* untuk diencerkan sampai 26% dengan  $\text{H}_2\text{O}$ . Selanjutnya  $\text{H}_2\text{SO}_4$  26% dipanaskan menggunakan *Heat Exchanger* untuk menghasilkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  suhu  $80^\circ\text{C}$  dan selanjutnya dipompakan menuju Reaktor untuk direaksikan.

### 2. Tahap Reaksi

Bahan baku magnesium karbonat dan asam sulfat akan direaksikan dalam Reaktor pada suhu  $80^\circ\text{C}$ , 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

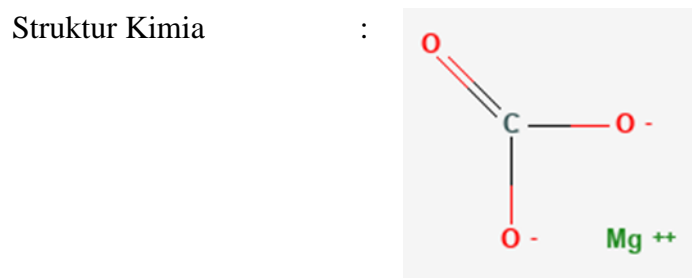
### SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

#### 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/cm<sup>3</sup>

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
$\Delta H_f^\circ$	: -1096 kJ/mol
$\Delta G_f^\circ$	: -1012 kJ/mol
Kemurnian	: 99%
Impurities	: 1% H <sub>2</sub> O
<i>Hazard Statement</i>	: bukan merupakan bahan berbahaya menurut 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<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> atau H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>S

Struktur Kimia :



Bentuk : Cairan



Warna : Tidak Berwarna

Bau : Tidak Berbau

Berat molekul : 98,08 gr/mol

Densitas : 1,8302 g/cm<sup>3</sup>

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

$\Delta H_f^o$  : -194,56 kkal/gmol

$\Delta G_f^o$  : -164,93 kkal/mol

Kemurnian : 98% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Impurities : 2% H<sub>2</sub>O



MSDS

:



Corrosive

*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)

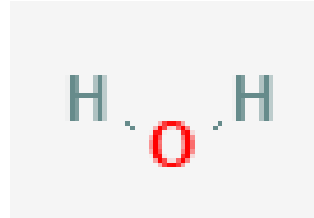
## 3.2 Bahan Pembantu

### 3.2.1 Air

Nama lain : Dihydrogen oxide

Rumus molekul : H<sub>2</sub>O

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

$\Delta H_f^o$  : -68,3174 kkal/mol

$\Delta G_f^o$  : -56,6899 kkal/mol

*Hazard Statement* : Tidak Berbahaya

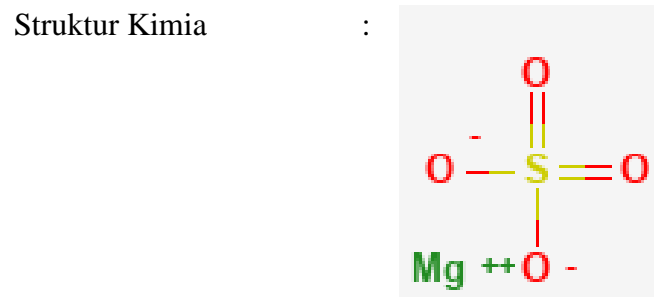
(PubChem, 2023)

### 3.3 Produk Utama

#### 3.3.1 Magnesium Sulfat

Nama lain : Magnesium sulfate anhydrous

Rumus Kimia :  $\text{MgSO}_4$  atau  $\text{MgO}_4\text{S}$



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

Specific Gravity : 1,76 gr/cm<sup>3</sup>

Kapasitas Panas, Cp : 23 kal/degree mol

$\Delta H_f^o$  : -304,94 kkal/mol

$\Delta G_f^o$  : -277,7 kkal/mol

Kemurnian : 98%

Impurities : 2% H<sub>2</sub>O

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 <sub>2</sub>
Struktur Kimia	: 
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 m <sup>3</sup> /kg
Kapasitas Panas, Cp	: 8,87 kal/degree mol
$\Delta H_f^o$	: -94,05 kkal/mol
$\Delta G_f^o$	: -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. 2017. Data Hidrologi, DAS Aliran Sungai Cidanau dan Ciujung.  
<https://www.dsdap.bantenprov.go.id>. Diakses pada 15 Agustus 2017.

Anonim. 2017. *Indeks Harga Peralatan*.  
<http://accessintelligence.imirus.com/>. Diakses pada tanggal 12 September 2017.

Anonim. 2017. *Indonesia Salary Handbook 2009/2010*. Kelly Service. Jakarta.

Anonim. 2017. *Peta Provinsi Banten*. <https://indonesia-peta.blogspot.com>.  
Diakses pada 2 September 2017.

Badan Pusat Statistik. 2015. *Statistic Indonesia*. [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id). Indonesia.  
Diakses pada 24 Mei 2016.

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<sup>ed</sup>*. Wiley&Sons. USA.

- Brownell,L.E. and Young,E.H. 1959. *Process Equipment Design 3<sup>ed</sup>*. John Wiley & Sons. New York.
- Considine, Douglas M. 1985. *Process Instruments and Controls Handbook, 3<sup>rd</sup> 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, 2<sup>nd</sup> ed*. Gulf Publishing Co. Houston.
- Fogler, H. Scott. 2006. *Elements of Chemical Reaction Envginering4<sup>th</sup> edition*. Prentice Hall International Inc. United States of America.
- Geankoplis.Christie.J. 1993. *Transport Processes and unit Operation 3th<sup>ed</sup>*. Allyn & Bacon Inc. New Jersey.
- Google Map. 2016. Area Sungai Cidanau – Banten. Diakses pada 20 Agustus 2016.
- 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*, 4<sup>nd</sup> 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. 3<sup>th</sup>*. Elsevier. Boston
- Mullin, J.W. 2001. *Crystallization*, 4<sup>th</sup> 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<sup>ed</sup>*. McGraw-Hill Book Company. New York.

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

Peters, M.S., Timmerhaus, K.D., West, R.E. 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 5<sup>th</sup> 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. 1<sup>st</sup>, Principles and Techniques*. John Wiley and Sons. New York

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

Smith, J.M., H.C. Van Ness, and M.M. Abbott. 2001. *Chemical Engineering Thermodynamics 6<sup>th</sup> 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 3<sup>th</sup> edition*. McGraww-Hill Book Company. New York.

Treyball.R.E. 1981. *Mass Transfer Operation 3<sup>ed</sup>*. 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. 6<sup>th</sup>*. 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. New York.

[www.alibaba.com](http://www.alibaba.com), Diakses pada 16 Juni 2016

[www.indoacid.com](http://www.indoacid.com). Diakses pada 3 Juni 2016

[www.matches.com](http://www.matches.com). Diakses pada 9 September 2017

[www.mhhe.com](http://www.mhhe.com). Diakses pada 9 September 2017