

**PRARANCANGAN PABRIK MAGNESIUM SULFAT HEPTAHIDRAT
DARI MAGNESIUM OKSIDA DAN ASAM SULFAT
KAPASITAS 63.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan *Crystallizer* (CR-301))**

Oleh

Annisa Aryanti

1715041023

Tugas Akhir

**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
2023**

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK MAGNESIUM SULFAT HEPTAHIDRAT DARI MAGNESIUM OKSIDA DAN ASAM SULFAT DENGAN KAPASITAS 63.000 TON/TAHUN (Tugas Khusus Perancangan *Crystallizer* (CR-301))

Oleh

ANNISA ARYANTI

Magnesium Sulfat Heptahidrat merupakan hasil produksi industri yang belum terealisasi produksinya di Indonesia. Industri produksi Magnesium Sulfat Heptahidrat berpotensi untuk menunjang bahan - bahan baku mentah bagi industri hilir dalam negeri serta meningkatkan nilai ekspor di dalam negeri. Proses pembuatan Magnesium Sulfat Heptahidrat yang umum digunakan adalah dengan mereaksikan bahan baku Magnesium Oksida dan Asam Sulfat dengan melewati beberapa proses diantaranya tahap pembentukan produk, Tahap pemurnian produk, dan Tahap penyimpanan produk. Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik berupa sistem pengolahan dan penyediaan air, sistem pengolahan limbah, sistem penyediaan *steam*, *cooling water*, sistem refrigerasi dan sistem pembangkit tenaga listrik.

Kapasitas produksi pabrik direncanakan 63.000 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) yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama yang dibantu oleh Direktur Produksi dan Direktur Keuangan dengan struktur organisasi *line and staff*.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp328.826.272.072
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp58.028.165.660
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp386.854.437.731,513
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 34%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 23%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 1,162 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 1,41 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 65%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 52%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 46,27%

Mempertimbangkan rangkuman di atas, penulis menyimpulkan bahwa pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat ini dapat dikaji lebih lanjut karena mempunyai prospek yang baik.

Kata kunci: Magnesium Sulfat Heptahidrat, Magnesium Oksida, Asam Sulfat

ABSTRACT

PRE-DESIGN OF A MAGNESIUM SULFATE HEPTAHYDRATE FACTORY FROM MAGNESIUM OXIDE AND SULFURIC ACID WITH CAPACITY OF 63,000 TONS/YEAR (Design of Crystallizer (CR-301))

By

ANNISA ARYANTI

Magnesium Sulfate Heptahydrate is an industrial product whose production has not been realized in Indonesia. The Magnesium Sulfate Heptahydrate production industry has the potential to support raw materials for domestic downstream industries and increase the value of domestic exports. The commonly used manufacturing process of Magnesium Sulfate Heptahydrate is by reacting the raw materials Magnesium Oxide and Sulfuric Acid through several processes including Product formation stage, Product purification stage, and Product storage stage. Provision of factory utility needs in the form of a water treatment and supply system, a waste treatment system, a steam supply system, cooling water, a refrigeration system and a power generation system.

The factory's production capacity is planned to be 63,000 tons per year, with 330 working days in a year. The factory location is planned to be established in the Gresik area of East Java. The required workforce is 157 people in the form of a Limited Liability Company (PT) business entity led by a Main director, who is assisted by the Director of Production and the Director of finance, with a line and staff organizational structure.

From the economic analysis obtained:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp328.826.272.072
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp58.028.165.660
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp386.854.437.731,513
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 34%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 23%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 1,162 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 1,41 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 65%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 52%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 46,27%

Considering the summary above, the authors conclude that this Magnesium Sulfate Heptahydrate factory can be studied further because it has good prospects.

Key Words: Magnesium Sulfate Heptahydrate, Magnesium Oxide, Sulfuric Acid

Judul Skripsi : PRARANCANGAN PABRIK MAGNESIUM
SULFAT HEPTAHIDRAT DARI MAGNESIUM
OKSIDA DAN ASAM SULFAT DENGAN
KAPASITAS 63.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan *Crystallizer* (CR-301))

Nama Mahasiswa : Annisa Aryanti

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715041023

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**



Dr. Herti Utami, S.T., M.T.

NIP. 197112192000032001



Muhammad Haviz, S.T., M.T.

NIP. 199001282019031015

2. **Ketua Jurusan**



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

NIP. 197407122000032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Herti Utami, S.T., M.T.**



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

Penguji

Bukan pembimbing I : **Simpardin Br. Ginting, S.T., M.T.**



Bukan Pembimbing II : **Lia Lismeri, S. T., M. T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



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

NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 9 Juni 2023

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, 02 Agustus 2023



Annisa Aryanti

NPM. 1715041023

RIWAYAT HIDUP



Annisa Aryanti, penulis laporan ini dilahirkan di Bekasi pada tanggal 03 April 1999, putri pertama dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Arianto dan Ibu Widiarti

Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDIT AL-FIDAA pada tahun 2011, pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 1 Tambun Selatan pada tahun 2014 dan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 1 Tambun Selatan pada tahun 2017.

Pada tahun 2017, 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 berbagai organisasi antara lain sebagai Sekretaris CEEC (*Chemical Enginnering English Club*) Departemen Edukasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) Periode 2019 dan sebagai Ketua Departemen INFOKOM Unit Kreativitas Mahasiswa Penelitian Universitas Lampung (UKM-P Unila) Periode 2019-2020.

Pada tahun 2020, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Muara Baru, Kecamatan Kebun Tebu, Kabupaten Lampung Barat dan melakukan Kerja Praktik (KP) di PT Avesta Continental Pack Bekasi dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja Extruder 1B (L-202) Unit Laminasi”. Pada tahun 2021, penulis melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Rasio Pati Sorgum, Batang Sorgum dan Polivinil Alkohol (PVOH) Terhadap Karakteristik Biofoam” di Laboratorium Fisika Teknik, Teknik Kimia, Universitas Lampung.

Motto dan Persembahan

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah (94): 5)

“NO CHALLENGE, NO CHANGE”

(Choi Siwon)

“Meski sangat sengsara dan menyedihkan, aku harus melakukan yang terbaik
sekarang. Jika tidak melakukan apapun, sebaiknya mati saja”

(Alchemy of Soul)

“ISO ORA ISO, HAL SU ISSEOO!!!!”

Karya ini merupakan sebuah bukti atas tidak menyerahnya diriku dalam proses pembelajaran hidup untuk menjadi manusia dewasa dan merupakan suatu langkah awal menuju kesuksesan. Dengan sepenuh hati kupersembahkan tugas akhir ini kepada:

Allah SWT

Yang telah memberikan Rahmat dan Petunjuk-Nya sepanjang perjalananku meniti ilmu. Atas Ridho dan karunia-Nya, aku bisa menyelesaikan karya ini. Atas anugerah-Nya, aku bisa bertahan selama ini.

Ayahku Arianto dan Mamaku Widiarti, terima kasih atas segalanya, doa, kasih sayang, pengorbanan dan keikhlasannya. Ini hanyalah butiran debu yang tidak bisa dibandingkan dengan pengorbanan kalian selama ini.

Mas madan, Babang abay dan Arip, terimakasih atas dukungan, doa dan semangat selama ini. Semoga dapat termotivasi untuk terus belajar.

Sahabat-sahabatku, teman-teman seperjuangan. terimakasih atas dukungan, doa, bantuan dan ketulusannya selama ini.

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

Tak lupa kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta, semoga kelak berguna dikemudian hari.

Dan terakhir, untuk diriku sendiri, terima kasih sudah bertahan sampai titik ini. Setiap keringat dan tangis yang tumpah menjadi bukti keteguhan hati untuk mencapai Impian ini. Karya ini bukti bahwa kesabaran, kerja keras dan keteguhan hati tak pernah mengkhianati.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Prarancangan Pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat dari Magnesium Oksida dan Asam Sulfat Kapasitas 63.000 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. Keluarga tercinta, Bapak Arianto, Ibu Widiarti, Ramadhan, Akbar dan Arief serta seluruh keluarga besar atas doa, dukungan, kepercayaan, ketulusan dan semangat yang telah diberikan serta cinta dan kasih sayang yang selalu mengiringi setiap saat.
2. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan bimbingan dan motivasi selama masa kuliah.
3. Ibu Dr. Herti Utami, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir. Terima kasih juga telah mengajarkan untuk menjadi insan yang lebih literatif dan teliti.
4. Bapak Muhammad Haviz, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
5. Ibu Simparmin Br. Ginting. S.T., M.T. selaku Dosen Peguji I yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir, serta terima kasih telah mengaktifkan logika dan mengarahkan ke jalan yang benar.

6. Ibu Lia Lismeri, S. T., M.T. selaku Dosen Penguji II dan Dosen Penanggung Jawab Mata Kuliah Tugas Akhir. yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir, serta terima kasih telah terus mendorong dan memberikan kemudahan untuk menyelesaikan studi di Teknik Kimia Universitas Lampung.
7. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
8. Heri Ramadhan sebagai partner tugas akhir. Terimakasih karena sudah membantu dan terus berjuang untuk meraih gelar S.T. ini. Semoga kita menjadi orang yang sukses di jalannya masing-masing dan bermanfaat bagi banyak orang.
9. Teman-teman teknik kimia 17 yang menemani perjalanan kuliah ini selama 6 tahun dari mulai propti, makrab dan semua tahap menyusun tugas akhir ini.
10. Semua pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu.
11. Terima kasih kepada diriku sendiri yang telah hebat berjuang sampai titik ini.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian dengan yang lebih baik dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin.

Bandar Lampung, 2 Agustus 2023

Penulis,

Annisa Aryanti

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Kegunaan Produk	2
1.3. Ketersediaan Bahan Baku.....	4
1.4. Analisis Pasar	4
1.5. Kapasitas Produksi	11
1.6. Pemilihan Lokasi Pabrik	12
1.7. Spesifikasi Produk.....	14
BAB II PEMILIHAN DAN DESKRIPSI PROSES	17
2.1. Macam-Macam Proses	17
2.2. Perbandingan Proses	27
2.3. Pemilihan Proses	48
2.4. Uraian Singkat Proses	48
BAB III SPESIFIKASI BAHAN DAN PRODUK	51
3.1. Spesifikasi Bahan Baku	51
3.2 Spesifikasi Bahan Pembantu	53
3.3 Spesifikasi Produk.....	54
BAB IV NERACA MASSA DAN ENERGI.....	55
4.1 Neraca Massa	56
4.2 Neraca Panas	58
BAB V SPESIFIKASI ALAT.....	61
5.1. Spesifikasi Alat Unit Proses	61

1.	Tangki Asam Sulfat (T-101)	61
2.	Pompa Proses (PP-111).....	62
3.	Pompa Proses (PP-112).....	63
4.	<i>Solution Tank</i> (ST-101).....	64
5.	Pompa Proses (PP-113).....	65
6.	<i>Heater</i> (HE-111)	66
7.	Pompa Proses (PP-114).....	67
8.	<i>Silo Storage</i> (SS-101).....	68
9.	<i>Screw Conveyor</i> (SC-101).....	68
10.	<i>Bucket Elevator</i> (BE-101)	69
11.	<i>Rotary Heater</i> (RH-101).....	70
12.	<i>Screw Conveyor</i> (SC-101).....	71
13.	<i>Bucket Elevator</i> (BE-101)	71
14.	<i>Hopper Feeder</i> (HF-201)	72
15.	Reaktor (RE-201)	73
16.	Pompa Proses (PP-211).....	74
17.	<i>Crystallizer</i> (CR-301).....	75
18.	<i>Belt Conveyor Filter</i> (FB-401)	76
19.	<i>Fan</i> (F-401)	77
20.	<i>Bucket Elevator</i> (BE-401)	77
21.	<i>Silo Storage</i> (SS-501).....	78
22.	<i>Belt Conveyor</i> (BC-501).....	78
23.	Gudang Produk (W-501)	79
5.2.	Spesifikasi Alat Unit Utilitas	80
5.2.1.	Unit Penyedia Air	80
5.2.2.	Unit Penyedia <i>Steam</i>	92
5.2.3.	Unit Penyedia Udara Instrumen.....	96
5.2.4.	Unit Penyedia Listrik.....	99
5.2.5.	Pompa Utilitas	101
5.2.6.	Bak Pengolahan Limbah (BPL-1001).....	121
BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH		122
6.1.	Unit Pendukung Proses	122
1.	Unit Penyediaan Air	122
2.	Unit Penyediaan Steam	137
3.	Sistem Pembangkit Tenaga Listrik	138

4.	Sistem Penyediaan Bahan Bakar	138
5.	Unit Penyediaan Udara Tekan	139
6.2.	Pengolahan Limbah	139
6.3.	Laboratorium	140
6.4.	Instrumentasi dan Pengendalian Proses	143
BAB VII TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK.....		146
7.1.	Lokasi Pabrik	146
7.2.	Tata Letak Pabrik	150
7.3.	Estimasi Area Pabrik	153
BAB VIII MANAJEMEN DAN ORGANISASI PERUSAHAAN.....		157
8.1.	<i>Project Master Schedule</i>	157
8.2.	Bentuk Perusahaan	158
8.3.	Struktur Organisasi	160
8.4.	Status Karyawan dan Sistem Penggajian	173
8.5.	Pembagian Jam Kerja Karyawan	176
8.6.	Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan	178
8.7.	Kesejahteraan Karyawan	182
8.8.	Bahaya pada Pabrik (<i>Hazard</i>)	184
BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....		187
9.1.	Investasi	187
9.2.	Evaluasi Ekonomi	194
9.3.	Angsuran Pinjaman	198
9.4.	<i>Discounted Cash Flow</i> (DCF)	198
BAB X KESIMPULAN DAN SARAN		200
10.1.	Kesimpulan	200
10.2.	Saran	201

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Harga Bahan Baku dan Produk	4
Tabel 1. 2 Data Impor Magnesium Sulfat Heptahidrat di Indonesia.....	5
Tabel 1. 3 Data Produksi Magnesium Oksida di Indonesia	7
Tabel 1. 4 Data Produksi Asam Sulfat di Indonesia.....	7
Tabel 1. 5 Konsumsi Magnesium Sulfat Heptahidrat pada beberapa Industri (Ton/Tahun) di Indonesia.....	8
Tabel 1. 6 Produksi Magnesium Sulfat Heptahidrat di Dunia	9
Tabel 1. 7 Data Kebutuhan Magnesium Sulfat Heptahidrat.....	9
Tabel 1. 8 Spesifikasi Magnesium Sulfat Heptahidrat Grade Pertanian	14
Tabel 1. 9 Spesifikasi Magnesium Sulfat Heptahidrat Grade Industri	15
Tabel 1. 10 Spesifikasi Magnesium Sulfat Heptahidrat Grade Medis	16
Tabel 2. 1 Data Nilai $\Delta H^{\circ}f$ dan ΔG° Reaktan dan Produk Proses Netralisasi.....	18
Tabel 2. 2 Data Nilai $\Delta H^{\circ}f$ dan ΔG° Reaktan dan Produk Proses Brine and Dolomite.....	21
Tabel 2. 3 Data Nilai $\Delta H^{\circ}f$ dan ΔG° Reaktan dan Produk Proses Farnsworth	26
Tabel 2. 4 Data Nilai $\Delta H^{\circ}f$ Komponen Reaksi pada Proses Netralisasi	31
Tabel 2. 5 Nilai Konstanta Kapasitas Panas Komponen	31
Tabel 2. 6 Data Nilai $\Delta H^{\circ}f$ Komponen Reaksi pada Proses <i>Brine and Dolomite</i> 32	32
Tabel 2. 7 Nilai Konstanta Kapasitas Panas Komponen Reaksi pada Proses <i>Brine and Dolomite</i>	33
Tabel 2. 8 Data Nilai $\Delta H^{\circ}f$ Komponen Reaksi pada Proses Farnsworth	37
Tabel 2. 9 Nilai Konstanta Kapasitas Panas Komponen Reaksi pada Proses Farnsworth.....	38
Tabel 2. 10 Data Nilai $\Delta G^{\circ}f$ Komponen Reaksi pada Proses Netralisasi	41
Tabel 2. 11 Data Nilai ΔG° Komponen pada Proses <i>Brine and Dolomite</i>	42
Tabel 2. 12 Data Nilai $\Delta G^{\circ}f$ Komponen pada Proses Farnsworth	44
Tabel 2. 13 Perbandingan Metode Pembuatan Magnesium Sulfat Heptahidrat... 46	46

Tabel 4. 1 Neraca Massa di <i>Solution Tank</i> (ST-101).....	56
Tabel 4. 2 Neraca Massa di Reaktor (RE-201).....	56
Tabel 4. 3 Neraca Massa di <i>Crystallizer</i> (CR-301).....	57
Tabel 4. 4 Neraca Massa di <i>Belt Conveyor Filter</i> (BCF-401).....	57
Tabel 4. 5 Neraca Panas <i>Solution Tank</i> (ST-101).....	58
Tabel 4. 6 Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-111).....	58
Tabel 4. 7 Neraca Panas <i>Rotary Heater</i> (RH-111).....	59
Tabel 4. 8 Neraca Panas Reaktor (RE-201).....	59
Tabel 4. 9 Neraca Panas <i>Crystallizer</i> (CR-301).....	60
Tabel 4. 10 Neraca Panas <i>Belt Conveyor Filter</i> (BCF-401).....	60
Tabel 5. 1 Tangki Asam Sulfat.....	61
Tabel 5. 2 Pompa Proses (PP-111).....	62
Tabel 5. 3 Pompa Proses (PP-112).....	63
Tabel 5. 4 <i>Solution Tank</i> (ST-101).....	64
Tabel 5. 5 Spesifikasi Pompa Proses (PP-113).....	65
Tabel 5. 6 Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-101).....	66
Tabel 5. 7 Spesifikasi Pompa Proses (PP-114).....	67
Tabel 5. 8 Spesifikasi Silo (S-101).....	68
Tabel 5. 9 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC -101).....	68
Tabel 5. 10 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-101).....	69
Tabel 5. 11 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-101).....	70
Tabel 5. 12 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC -101).....	71
Tabel 5. 13 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-101).....	71
Tabel 5. 14 Spesifikasi <i>Hopper Feeder</i> (HF-101).....	72
Tabel 5. 15 Spesifikasi Reaktor (RE-201).....	73
Tabel 5. 16 Spesifikasi Pompa Proses (PP-211).....	74
Tabel 5. 17 Spesifikasi <i>Crystallizer</i> (CR-301).....	75
Tabel 5. 18 Spesifikasi <i>Belt Conveyor Filter</i> (BFC-401).....	76
Tabel 5. 19 Spesifikasi <i>Fan</i> (F-401).....	77
Tabel 5. 20 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-401).....	77
Tabel 5. 21 Spesifikasi Silo (S-501).....	78
Tabel 5. 22 Spesifikasi <i>Belt Conveyor</i> (BC -501).....	78

Tabel 5. 23 Gudang Produk.....	79
Tabel 5. 24 Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS – 401).....	80
Tabel 5. 25 Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CL–601).....	81
Tabel 5. 26 Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF–401)	81
Tabel 5. 27 Spesifikasi Gudang Utilitas (WH-601)	82
Tabel 5. 28 Spesifikasi Tangki NaOH (T–601).....	83
Tabel 5. 29 Spesifikasi Tangki Air Domestik (TA–602)	84
Tabel 5. 30 Spesifikasi Tangki Air Domestik (TA–602)	84
Tabel 5. 31 Spesifikasi Tangki Hidran (TA–603).....	85
Tabel 5. 32 Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT–601)	86
Tabel 5. 33 Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB – 601).....	87
Tabel 5. 34 Spesifikasi <i>Hot Basin</i> (HB – 601)	87
Tabel 5. 35 Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (TP-601).....	88
Tabel 5. 36 Spesifikasi Tangki Inhibitor (TP-602)	89
Tabel 5. 37 Spesifikasi Tangki Inhibitor (TP-603)	89
Tabel 5. 38 Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE–601)	90
Tabel 5. 39 Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE–601).....	91
Tabel 5. 40 Spesifikasi Tangki Air Demin (TA-604).....	92
Tabel 5. 41 Spesifikasi <i>Deaerator</i> (DA–701)	92
Tabel 5. 42 Spesifikasi Tangki Hidrazin (TP–701).....	93
Tabel 5. 43 Spesifikasi <i>Boiler</i> (B-701).....	94
Tabel 5. 44 Spesifikasi Blower Air (BA– 701)	95
Tabel 5. 45 Spesifikasi <i>Burner</i> (B-701)	95
Tabel 5. 46 Spesifikasi Blower <i>Steam</i> (BS– 701)	96
Tabel 5. 47 Spesifikasi <i>Air Dryer</i> (AD – 801)	96
Tabel 5. 48 Spesifikasi <i>Air Compressor</i> (AC-801)	97
Tabel 5. 49 Spesifikasi <i>Cyclone</i> (CYC-801)	97
Tabel 5. 50 Spesifikasi <i>Blower Udara</i> 1 (BU – 801).....	98
Tabel 5. 51 Spesifikasi <i>Blower Udara</i> 1 (BU – 802).....	98
Tabel 5. 52 Spesifikasi <i>Blower Udara</i> 1 (BU – 803).....	98
Tabel 5. 53 Spesifikasi <i>Blower Udara</i> 4 (BU – 804).....	99
Tabel 5. 54 Spesifikasi Generator Listrik (GS-901).....	99

Tabel 5. 55 Spesifikasi Tangki Bahan Bakar Generator (GS-901)	99
Tabel 5. 56 Spesifikasi Pompa (PU – 6101).....	101
Tabel 5. 57 Spesifikasi Pompa (PU – 6102).....	102
Tabel 5. 58 Spesifikasi Pompa (PU – 6103).....	103
Tabel 5. 59 Spesifikasi Pompa (PU – 6104).....	104
Tabel 5. 60 Spesifikasi Pompa (PU – 6105).....	104
Tabel 5. 61 Spesifikasi Pompa (PU – 6106).....	105
Tabel 5. 62 Spesifikasi Pompa (PU – 6107).....	106
Tabel 5. 63 Spesifikasi Pompa (PU – 6108).....	107
Tabel 5. 64 Spesifikasi Pompa (PU – 6109).....	108
Tabel 5. 65 Spesifikasi Pompa (PU – 6110).....	109
Tabel 5. 66 Spesifikasi Pompa (PU – 6111).....	110
Tabel 5. 67 Spesifikasi Pompa (PU – 6112).....	111
Tabel 5. 68 Spesifikasi Pompa (PU – 6113).....	112
Tabel 5. 69 Spesifikasi Pompa (PU – 6114).....	113
Tabel 5. 70 Spesifikasi Pompa (PU – 6115).....	114
Tabel 5. 71 Spesifikasi Pompa (PU – 6116).....	115
Tabel 5. 72 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-6117)	116
Tabel 5. 73 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-6118)	117
Tabel 5. 74 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-7101)	118
Tabel 5. 75 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-7102)	119
Tabel 5. 76 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-7103)	120
Tabel 5. 77 Spesifikasi Bak Pengolahan Limbah (BS – 1001)	121
Tabel 6. 1 Kebutuhan Air untuk <i>General Uses</i>	123
Tabel 6. 2 Kebutuhan Air Pendingin.....	125
Tabel 6. 3 Kebutuhan air umpan boiler	128
Tabel 6. 4 Kebutuhan Air Proses.....	130
Tabel 6. 5 Kebutuhan Air Pabrik.....	131
Tabel 6. 6 Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian.	144
Tabel 6. 7 Pengendalian Variabel Utama Proses.....	145
Tabel 7. 1 Perincian luas area Pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat.....	153
Tabel 8. 1 <i>Project Master Schedule of Magnesium Sulfate Heptahydrate Plant</i>	158

Tabel 8. 2 Daftar Gaji Karyawan	174
Tabel 8. 3 Jadwal kerja masing - masing regu	177
Tabel 8. 4 Perincian Tingkat Pendidikan	178
Tabel 8. 5 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat	180
Tabel 8. 6 Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan	181
Tabel 9. 1 <i>Fixed Capital Investment</i>	188
Tabel 9. 2 <i>Manufacturing Cost</i>	190
Tabel 9. 3 <i>General Expenses</i>	191
Tabel 9. 4 Biaya Administratif	192
Tabel 9. 5 Minimum Acceptable Percent Return On Investment.....	195
Tabel 9. 6 <i>Acceptable Pay Out Time</i> untuk Tingkat Resiko Pabrik.....	196
Tabel 9. 7 Hasil Uji Kelayakan Ekonomi.....	199

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Impor Magnesium Sulfat Heptahidrat Tahun 2012 -2021	6
Gambar 1. 2 Grafik Kebutuhan Magnesium Sulfat Heptahidrat di Negara Kawasan Asia Tenggara Tahun 2015-2019	10
Gambar 1. 3 Lokasi Pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat.....	13
Gambar 2. 2 Diagram Alir Singkat Pembuatan Magnesium Sulfat Heptahidrat dari MgO dan H ₂ SO ₄	18
Gambar 2. 3 Diagram Alir Singkat Pembuatan Magnesium Sulfat Heptahidrat dan <i>Brine and Dolomit</i>	20
Gambar 2. 4 Diagram Alir Singkat Pembuatan Magnesium Sulfat Heptahidrat dengan Menggunakan Bahan Baku MgCO ₃ dan CaSO ₄	25
Gambar 2. 5 Blok Diagram Pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat.....	50
Gambar 6. 1 <i>Cooling tower</i>	127
Gambar 6. 2 <i>Diagram Cooling Water System</i>	128
Gambar 6. 3 <i>Daerator</i>	130
Gambar 6. 4 Diagram Alir Pengolahan Air	132
Gambar 7. 1 Peta Kabupaten Gresik	154
Gambar 7. 2 Area Kawasan Industri JIPE Gresik.....	154
Gambar 7. 3 Tata Letak Pabrik.....	155
Gambar 7. 4 Tata Letak Unit Proses.....	156
Gambar 8. 1 Struktur Organisasi pada Pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat .	163
Gambar 9. 1 Grafik Analisa Ekonomi.....	198
Gambar 9. 2 Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i>	199

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang ikut berperan dalam menyongsong revolusi industri 4.0 yang perkembangannya didorong oleh Kementerian Perindustrian. Melalui revolusi industri 4.0 dalam upaya transformasi menuju perbaikan dengan mengintegrasikan dunia online dan lini produksi di industri, Kementerian Perindustrian melahirkan kebijakan berbasis kepentingan industri dalam negeri. Salah satunya ialah dengan menetapkan Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional 2015 - 2035 (RIPIN) pada tahun 2015 yang menetapkan strategi strategi yang ditempuh sebagai contoh yaitu mengembangkan industri hulu dan industri antara berbasis sumber daya alam.

Sejalan dengan fokus Kebijakan Industri Nasional 2020 - 2024 serta dalam menghadapi era revolusi industri 4.0, Kementerian Perindustrian telah meluncurkan inisiatif *Making Indonesia 4.0* yang bertujuan untuk mempersiapkan Indonesia menjadi sepuluh besar ekonomi dunia pada tahun 2030 melalui salah satu pencapaian aspirasi utama yaitu peningkatan porsi net-ekspor menjadi 10% dari nilai pasar semua barang. Kemudian pada tahun 2019 Pemerintah melalui Kementerian Perindustrian telah menginisiasi adanya Ekosistem Industri 4.0 (SINDI 4.0) dalam mengakselerasi implementasi *Making Indonesia 4.0* yang akan berkoordinasi dan berkesinambungan dalam menciptakan inovasi - inovasi di bidang industri.

Berdasarkan dua pernyataan di atas, Indonesia perlu melakukan pembangunan dalam upaya peningkatan dan pengembangan pada industri -

industri hulu yang membantu memproduksi bahan baku mentah untuk industri hilir di dalam negeri serta menunjang Indonesia dalam hal kebutuhan ekspor. Magnesium Sulfat Heptahidrat merupakan hasil produksi industri yang belum terealisasikan produksinya di Indonesia. Industri produksi Magnesium Sulfat Heptahidrat berpotensi untuk menunjang bahan - bahan baku mentah bagi industri hilir dalam negeri serta meningkatkan nilai ekspor di dalam negeri.

Hal - hal yang menjadi dasar utama dalam mendirikan pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat ialah sebagai berikut :

1. Konsumsi Magnesium Sulfat Heptahidrat masih membutuhkan impor dari negara lain.
2. Produksi Magnesium Sulfat Heptahidrat dapat berpotensi meningkatkan ekspor ke negara lain.
3. Pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat sebagai industri hulu dapat memasok kebutuhan bahan baku mentah pada industri hilir.
4. Dengan didirikannya pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat dapat menambahkan lapangan kerja bagi para tenaga kerja dan meningkatkan nilai dalam segi sosial ekonomi.

1.2. Kegunaan Produk

Magnesium Sulfat Heptahidrat merupakan hasil produk yang dapat digunakan sebagai bahan baku mentah yang dimanfaatkan sebagai berikut :

1.2.1 Magnesium Sulfat Heptahidrat Bidang Pertanian

Dalam penggunaan pupuk di bidang pertanian, biasanya terdapat 96-97,5% kadar Magnesium Sulfat Heptahidrat, Berikut ini adalah kegunaan kegunaan Magnesium Sulfat Heptahidrat di bidang pertanian :

1. Magnesium Sulfat Heptahidrat memiliki kandungan magnesium dan sulfur. Magnesium merupakan elemen penting pada molekul klorofil sedangkan sulfur merupakan makrotrien penting lainnya dan juga dapat meningkatkan produktivitas tanaman.

2. Magnesium Sulfat Heptahidrat sebagai garam alkali, dapat memperbaiki pH tanah karena sifatnya yang netral serta Magnesium Sulfat Heptahidrat bisa dicampurkan dengan Ammonium Nitrat untuk meningkatkan efektivitas pupuk.
3. Magnesium Sulfat Heptahidrat merupakan agen dehidrasi yang mampu mengurangi kadar air dan kelembapan pakan ternak sehingga bisa lebih awet dan tahan lama.

1.2.2 Magnesium Sulfat Heptahidrat Bidang Medis

Di dalam dunia medis digunakan 99-99,5% kadar Magnesium Sulfat Heptahidrat sebagai bahan kimia tambahan. Berikut ini adalah kegunaan dari Magnesium Sulfat di bidang medis :

1. Obat penghilang nyeri otot dan luka memar
2. Bahan netralisasi untuk produk kosmetik
3. Suplai kadar magnesium di dalam darah untuk penderita hipomagnesemia
4. Menunda persalinan dengan cara menghambat kontraksi otot uterus dalam kasus persalinan prematur.

1.2.3 Magnesium Sulfat Heptahidrat Bidang Industri

Di indonesia sendiri, bidang industri menggunakan 95-97,5% kadar Magnesium Sulfat Heptahidrat sebagai bahan bakunya. Berikut ini adalah kegunaan dari Magnesium Sulfat Heptahidrat di bidang industri :

1. Magnesium Sulfat Heptahidrat berguna sebagai zat penstabil pada operasi *bleaching* seperti di industri *pulp and paper* dan tekstil, serta penstabil enzim pada proses sirup fruktosa dari jagung.
2. Magnesium Sulfat Heptahidrat digunakan sebagai bahan intermediet dalam pembuatan PVC dan gipsum.
3. Magnesium Sulfat Heptahidrat dapat menjadi bahan retarder atau tambahan pada Magnesium Oxysulfat dalam pembuatan material bangunan.

4. Magnesium Sulfat Heptahidrat berguna sebagai zat pengental pada proses pengolahan lateks karet.
5. Magnesium Sulfat Heptahidrat menjadi bahan baku utama pada pembuatan bisulfit, magnesium silikat dan magnesium trisilika.

1.3. Ketersediaan Bahan Baku

Diperlukan Magnesium Oksida dan Asam Sulfat dalam pembuatan Magnesium Sulfat Heptahidrat. Magnesium Oksida diperoleh dari PT. UNIKEMIKA Asia yang berlokasi di Bogor, Jawa Barat sedangkan Asam Sulfat diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur.

1.4. Analisis Pasar

1.4.1 Harga Bahan Baku dan Produk

Berikut ini ialah harga bahan baku dan produk pada pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat pada tahun 2022 yang diperoleh dari website Alibaba dan Tokopedia :

Tabel 1. 1 Harga Bahan Baku dan Produk

No.	Bahan	Harga (Rp/kg)
Magnesium Sulfat		
1	Heptahidrat ¹⁾	13.000
2	Magnesium Oksida ²⁾	6.500
3	Asam Sulfat ³⁾	1.600

¹⁾Tokopedia.com ²⁾nusaindahmegah.com ³⁾Indotrading.com

1.4.2 Kapasitas Pabrik

Kapasitas produksi suatu pabrik dapat ditentukan berdasarkan data impor, produksi bahan baku, kebutuhan konsumsi produk di dalam negeri dan data produksi di dalam negeri.

1. Data Impor

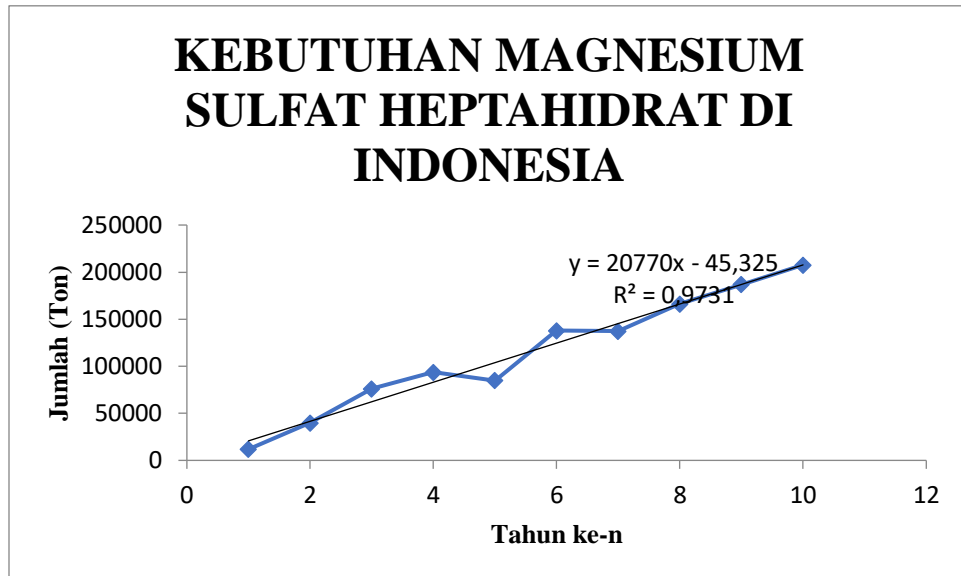
Magnesium Sulfat Heptahidrat banyak diimpor di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan industri. Pada data statistik perkembangan impor Magnesium Sulfat Heptahidrat yang didapat dari Badan Pusat Statistik di Indonesia dari tahun 2018-2022, dilampirkan pada tabel berikut ini :

Tabel 1. 2 Data Impor Magnesium Sulfat Heptahidrat di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2012	11826,325
2013	39716,723
2014	76104,462
2015	93599,653
2016	84794,949
2017	137813,278
2018	137387,918
2019	166113,570
2020	186883,570
2021	207653,570

(Sumber : UN data, 2022)

Berdasarkan tabel 1.2, kebutuhan impor Magnesium Sulfat Heptahidrat cukup tinggi per tahunnya. Proyeksi impor Magnesium Sulfat Heptahidrat dalam negeri didapatkan berdasarkan regresi linier berikut ini :



Gambar 1. 1 Grafik Impor Magnesium Sulfat Heptahidrat Tahun 2012 -2021

Dalam menghitung kebutuhan impor Magnesium Sulfat Heptahidrat di tahun berikutnya dapat digunakan persamaan garis lurus :

$$y = ax + b$$

Keterangan :

y= kebutuhan impor Magnesium Sulfat Heptahidrat, kg/tahun

x= tahun ke (n)

b= *intercept*

a= gradien garis miring

Diperoleh nilai *slope* sebesar :

$$m = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = 20770 \dots\dots(1)$$

Kemudian diperoleh juga nilai *intercept* sebesar :

$$C = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum xy \sum x}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = -45,32 \dots\dots(2)$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh persamaan $y = 20770x - 45,32$ yang dapat digunakan untuk memprediksi kebutuhan impor Magnesium Sulfat Heptahidrat di Indonesia pada tahun 2025. Dengan menggunakan persamaan di atas, maka dapat diprediksi bahwa kebutuhan impor

Magnesium Sulfat Heptahidrat di Indonesia pada tahun 2025 (n=14) adalah :

$$y = 20770(14) - 45,32$$

$$y = 290.733 \text{ ton/tahun}$$

Dari perhitungan di atas maka diperoleh prediksi impor Magnesium Sulfat Heptahidrat di Indonesia pada tahun 2025 sebesar 290.733 ton/tahun.

2. Data Produksi Bahan Baku

Penggunaan bahan baku dalam pembuatan Magnesium Sulfat Heptahidrat dengan proses magnesita menggunakan Magnesium Oksida dan Asam Sulfat. Kedua bahan baku ini dapat diperoleh dari PT. UNIKEMIKA Asia, PT. Nusa Indah Megah dan PT. Petrokimia Gresik.

Berikut dilampirkan Tabel produksi Bahan Baku tersebut :

Tabel 1. 3 Data Produksi Magnesium Oksida di Indonesia

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
PT. UNIKEMIKA Asia	Bogor	420.000
PT. Nusa Indah Megah	Surabaya	215.000

Tabel 1. 4 Data Produksi Asam Sulfat di Indonesia

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
PT. Petrokimia Gresik	Gresik	1.170.000
PT. Indonesian Acids Industry	Jakarta	82.500
PT. Aktif Indonesia Indah	Surabaya	15.000
PT. Liku Telaga	Gresik	32.500

3. Data Produksi

Pada saat ini Indonesia belum memiliki pabrik yang dapat memproduksi Magnesium Sulfat Heptahidrat. Karena hal inilah, penulis membuat prarancangan pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat.

4. Data Konsumsi

Magnesium Sulfat Heptahidrat dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku tekstil, bidang medis, bidang pakan, serta pembuatan pupuk. Data konsumsi Magnesium Sulfat Heptahidrat di Indonesia dilampirkan pada Tabel 1.5.

Tabel 1. 5 Konsumsi Magnesium Sulfat Heptahidrat pada beberapa Industri (Ton/Tahun) di Indonesia

Tahun	Industri Pupuk	Industri Pakan	Industri Tekstil	Industri Farmasi	Total (ton/tahun)
2016	27.068	8.743	3.093	2.578	41.482
2017	27.809	9.667	3.123	2.406	43.005
2018	28.283	10.980	3.257	2.596	45.116
2019	30.089	11.231	3.954	2.848	48.122
2020	30.234	11.868	4.109	3.098	49.309
Total	143.483	52.489	17.536	13.526	227.034

(Sumber : www.kemenperin.go.id/data-inquiry)

5. Data Produksi dan Kebutuhan Luar Negeri

Dalam memenuhi kebutuhan Magnesium Sulfat Heptahidrat di dunia memiliki kebutuhan yang bermacam - macam, berikut ini dilampirkan data produksi dari pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat yang ada di beberapa negara di dunia :

Tabel 1. 6 Produksi Magnesium Sulfat Heptahidrat di Dunia

Pabrik	Negara Asal	Kapasitas (ton/tahun)
Dow Chemical Co.	Amerika Serikat	95.000
Sterling Farm Research & Services Pvt., Ltd	India	45.000
BASF SE	Jerman	60.000
Yingkou Magnesia Chemical Ind Group Co., Ltd	China	200.000
Star Grace Mining Co., Ltd	China	100.000
Hebei Meishen Chemical Technology Group Co., Ltd	China	86.000
Ava Chemical Pvt., Ltd	India	78.000
Anderson Chemical	India	50.000

(Sumber : www.alibaba.com)

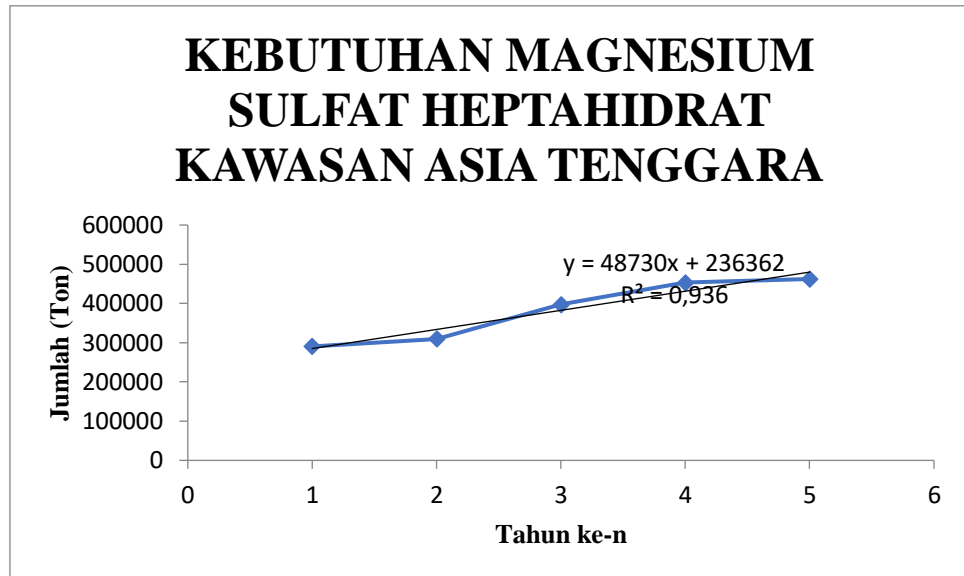
Tabel 1. 7 Data Kebutuhan Magnesium Sulfat Heptahidrat di Negara Asia Tenggara

Tahun	Jumlah (Ton)
2015	290.528
2016	309.539
2017	397.165
2018	453.157
2019	462.369

(Sumber : UNdata, 2022)

Berdasarkan Tabel 1.7, kebutuhan Magnesium Sulfat Heptahidrat di negara kawasan Asia Tenggara termasuk tinggi.

Berikut adalah prediksi kebutuhan Magnesium Sulfat Heptahidrat di negara kawasan Asia Tenggara menggunakan regresi linier :



Gambar 1. 2 Grafik Kebutuhan Magnesium Sulfat Heptahidrat di Negara Kawasan Asia Tenggara Tahun 2015-2019

Dalam menghitung kebutuhan impor Magnesium Sulfat Heptahidrat digunakan persamaan garis lurus sebagai berikut.

$$y = ax + b$$

Keterangan :

y = kebutuhan impor Magnesium Sulfat Heptahidrat, ton/tahun

x = tahun ke-n

b = *intercept*

a = gradien garis miring

Diperoleh nilai *slope* sebesar :

$$m = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = 48.730 \quad \dots\dots(3)$$

Kemudian diperoleh juga nilai *intercept* sebesar :

$$C = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum xy \sum x}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = 23636 \quad \dots\dots(4)$$

Melalui perhitungan persamaan garis lurus di atas diperoleh persamaan $y = 48.730x + 23.636$ yang dapat digunakan untuk memprediksi

kebutuhan impor Magnesium Sulfat Heptahidrat di Indonesia pada tahun 2025. Dari persamaan di atas diproyeksikan bahwa kebutuhan impor Magnesium Sulfat Heptahidrat di Indonesia pada tahun 2025 adalah :

$$y = 48.730 (11) + 23.636$$

$$y = 559.666 \text{ ton/tahun}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh proyeksi impor Magnesium Sulfat Heptahidrat pada tahun 2025 sebesar 559.666 ton/tahun di berbagai negara Asia Tenggara antara lain Thailand, Kamboja, Vietnam, Brunei Darussalam, Timor Leste, Malaysia, Singapura, dan Filipina.

1.5. Kapasitas Produksi

Dari persamaan di atas diketahui bahwa kebutuhan impor Magnesium Sulfat Heptahidrat di Indonesia pada tahun 2025 adalah 290.733 ton/tahun dan di negara Asia Tenggara lainnya adalah 559.666 ton/tahun. Berdasarkan pertimbangan di atas dan berbagai persaingan yang akan tumbuh pada tahun 2025 maka kapasitas pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat ini pada tahun 2025 beroperasi 21,6% dari 290.733 Ton yaitu 63.000 Ton. Dengan memperhatikan analisa pasar, maka dalam perancangan pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat ini dipilih kapasitas 63.000 ton/tahun dengan pertimbangan sebagai berikut :

- a. Dari aspek bahan baku, kebutuhan akan Magnesium Oksida dan Asam Sulfat dapat tercukupi.
- b. Dari segi produksi pemasaran, produksi Magnesium Sulfat Heptahidrat sebesar 63.000 ton/tahun akan dapat memenuhi 21,6% kebutuhan Magnesium Sulfat Heptahidrat dalam negeri.
- c. Dapat memacu berdirinya industri-industri lain yang menggunakan Magnesium Sulfat Heptahidrat sebagai bahan baku utama maupun bahan baku penunjang.

1.6. Pemilihan Lokasi Pabrik

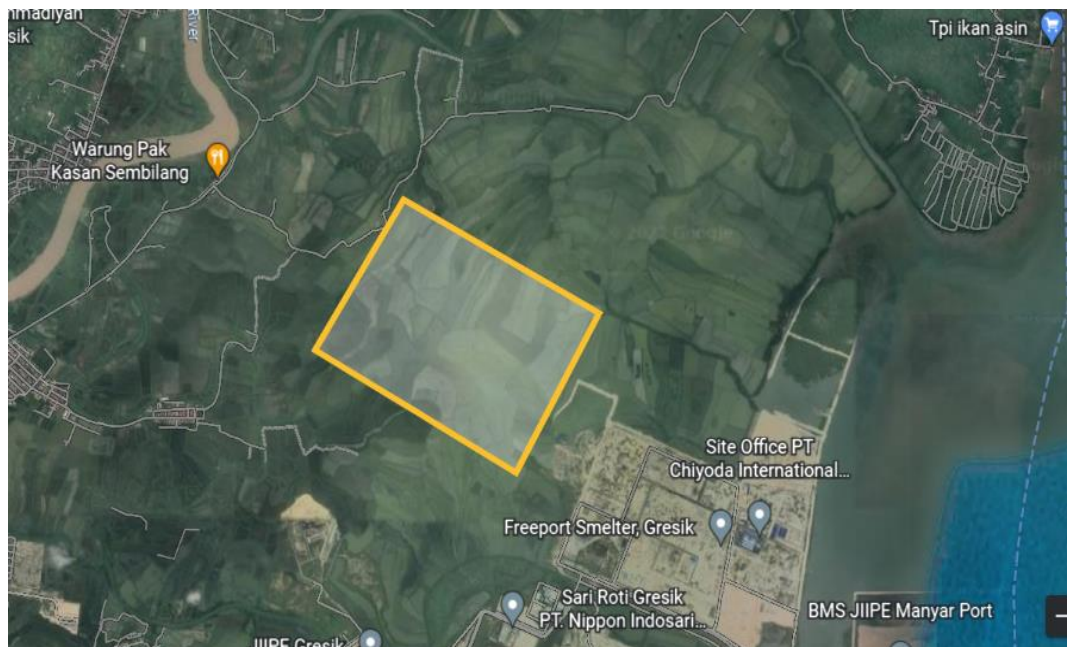
Penentuan lokasi pabrik yang tepat dan ekonomis dipengaruhi oleh banyak faktor. Lokasi suatu pabrik dapat mempengaruhi kedudukan suatu pabrik dalam persaingan maupun penentuan kelangsungan hidup pabrik. Lokasi pabrik yang baik harus dapat memberikan kemungkinan memperluas pabrik dan memberikan keuntungan jangka panjang serta juga ditentukan pada pelaksanaan operasionalnya. Beberapa hal yang menunjukkan lokasi pabrik yang baik adalah sebagai berikut :

1. Mampu melayani konsumen dan pelanggan dengan memuaskan.
2. Mampu menyediakan bahan baku yang cukup dan berkesinambungan dengan harga sampai ditempat cukup murah ditunjang dengan sarana transportasi yang memadai.
3. Mudah mendapatkan tenaga kerja.
4. Kemungkinan untuk memperluas pabrik dimasa mendatang ditinjau dari segi keuntungan yang dicapai maupun area tanah untuk pabrik.

Pada dasarnya ada dua faktor yang mempengaruhi dalam pemilihan lokasi pabrik, yaitu faktor primer dan faktor sekunder.

1. Faktor primer meliputi :
 - a. Letak pabrik terhadap pasar (*market oriented*)
 - b. Letak pabrik terhadap sumber bahan baku (*raw material oriented*)
 - c. Tersedianya sarana transportasi (*transport oriented*)
 - d. Adanya tenaga kerja yang murah (*labour oriented*)
 - e. Tersedianya sumber air, tenaga listrik dan bahan bakar yang cukup (*power oriented*)
2. Faktor sekunder meliputi :
 - a. Harga tanah dan gedung
 - b. Kemungkinan perluasan pabrik
 - c. Tersedianya tempat perbelanjaan untuk kepentingan pabrik
 - d. Keadaan masyarakat daerah (adat istiadat, keamanan, dan sikap)
 - e. Keadaan tanah dan iklim

Faktor-faktor tersebut perlu dipertimbangkan dalam menentukan lokasi pabrik disamping faktor bentuk, tujuan, dan jenis pabrik. Dengan memperhatikan faktor-faktor tersebut, maka pembangunan pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat dipilih di Manyar Sido Mukti, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, Jawa Timur.



Gambar 1. 3 Lokasi Pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat
Google Maps - ©2022 Google

Ada beberapa faktor yang mendukung dipilihnya lokasi ini diantaranya:

- Pemasaran Produk

Mudahnya memasarkan hasil produksi, baik disekitar pabrik maupun dijual antar pulau di Indonesia karena lokasinya dekat dengan dua buah pelabuhan yaitu Pelabuhan JIPE, Gresik yang menghubungkan dengan kota-kota besar di Indonesia.

- Bahan Baku

Bahan baku dalam pembuatan Magnesium Sulfat Heptahidrat adalah Magnesium Oksida (MgO) yang diperoleh dari . PT. UNIKEMIKA Asia, Bogor (Jawa Barat), PT. Nusa Indah Megah (Surabaya) dan Asam Sulfat (H₂SO₄) diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik, Gresik.

- Utilitas

Utilitas, khususnya air dapat diperoleh dari Laut yang tidak jauh dari lokasi pabrik. Debit air laut yang cukup besar menjamin kesinambungan persediaan air.

- Transportasi

Lokasi yang dipilih dalam prarancangan pabrik ini merupakan daerah yang memiliki akses transportasi baik darat maupun perairan. Hal ini ditinjau dari lokasi pendirian pabrik yang terletak tidak jauh dari pelabuhan.

- Tenaga Kerja

Untuk memenuhi kebutuhan tenaga kerja dapat disediakan dari tenaga kerja profesional yang berasal dari lulusan Universitas di Pulau Jawa serta tenaga kerja pelaksana yang berasal dari penduduk sekitar pabrik.

- Biaya Untuk Tanah

Tanah yang tersedia untuk lokasi pabrik masih sangat luas dengan harga yang cukup terjangkau Rp. 500.000/m² – Rp. 1.000.000/m² (BPN, 2022), sehingga membuka peluang untuk perluasan pabrik nantinya.

- Kondisi Iklim dan Cuaca

Lokasi ini memiliki iklim yang cukup baik untuk industri kimia dengan temperatur rata-rata 24 – 32 °C.

1.7. Spesifikasi Produk

Dari berbagai kegunaan yang bisa didapatkan dari produksi Magnesium Sulfat Heptahidrat, masing-masing spesifikasi Magnesium Sulfat Heptahidrat memiliki kegunaan yang berbeda juga. Oleh karena itu berikut akan diberikan kategori spesifikasi magnesium sulfat heptahidrat dalam agrikulturar, bidang industri dan bidang medis.

1. Sebagai Pupuk Pertanian (*Agricultural purpose*)

Magnesium Sulfat Heptahidrat dapat digunakan sebagai pupuk pertanian dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1. 8 Spesifikasi Magnesium Sulfat Heptahidrat Grade Pertanian

Component	Range (%)	Typical (%)
MgSO ₄ .7H ₂ O	96,5	97,5
H ₂ O	0,974	0,774
MgSO ₄	1,287	0,887
MgO	0,351	0,251
H ₂ SO ₄	0,527	0,257
CaO	0,361	0,061
Ukuran	0,1-1,0	0,1-1,0
Partikel	mm	mm

(CAS No. 10034-99-8, EINECS No. 231-298-2)

2. Sebagai Bahan Baku Kelas Industri (*Industrial Use*)

Magnesium Sulfat Heptahidrat dapat digunakan Bahan baku kelas industri dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1. 9 Spesifikasi Magnesium Sulfat Heptahidrat Grade Industri

<i>Component</i>	<i>Range</i> (%)	<i>Typical</i> (%)
MgSO ₄ .7H ₂ O	9,5 min	97,5 max
H ₂ O	0,972	0,772
MgSO ₄	1,975	0,975
MgO	0,876	0,176
H ₂ SO ₄	0,724	0,524
CaO	0,453	0,053
Ukuran	0,1-1,5	0,1-1,5
Partikel	mm	mm

(CAS No : 7487-87-9)

3. Sebagai Bahan Obat-obatan (*Medical Grade*)

Magnesium Sulfat Heptahidrat dapat digunakan sebagai Bahan obat-obatan dan makanan dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1. 10 Spesifikasi Magnesium Sulfat Heptahidrat Grade Medis

<i>Component</i>	<i>Range (%)</i>	<i>Typical (%)</i>
MgSO ₄ .7H ₂ O	99,0 min	99,5 max
H ₂ O	0,174	0,174
MgSO ₄	0,587	0,287
MgO	0,204	0,004
H ₂ SO ₄	0,034	0,034
CaO	0,001	0,001
Ukuran Partikel	0,01-0,1 mm	0,01-0,1 mm
Appereance	White Crystalline	White Crystalline

(CAS No : 7487-88-9)

Jadi, berdasarkan tabel 1.8, 1.9 dan 1.10 pabrik magnesium sulfat heptahidrat akan membuat magnesium sulfat heptahidrat untuk grade pertanian.

BAB II

PEMILIHAN DAN DESKRIPSI PROSES

2.1. Macam-Macam Proses

Ada beberapa proses yang dapat digunakan untuk menghasilkan Magnesium Sulfat Heptahidrat, yaitu sebagai berikut :

1. Proses Netralisasi (Proses 1)

Magnesium Sulfat Heptahidrat dapat diproduksi dari bahan baku yang mengandung magnesium oksida atau magnesia (MgO), dengan tahapan sebagai berikut :

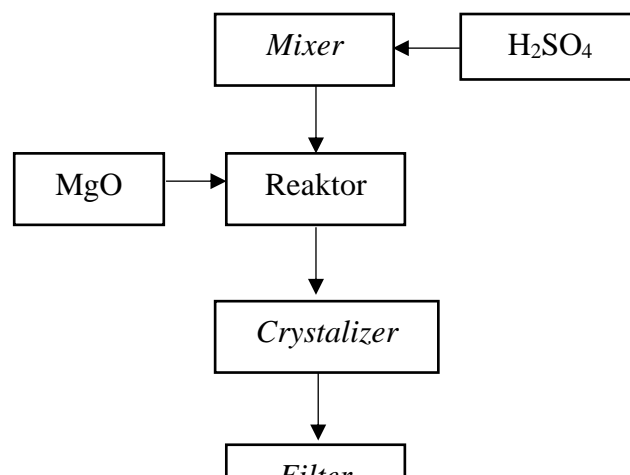
a) Reaksi dengan asam sulfat

Reaksi:



$$\Delta H_0 = -35,8 \text{ kJ/mol}$$

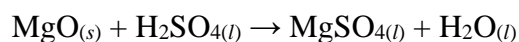
Pada persamaan reaksi 1 berlangsung pada suhu 60°C, tekanan 1 atm dan diperoleh konversi MgSO₄ sebesar 98,9 % dari *mother liquor* (Kirk and Othmer, 2005; Abou El-Leef, 2012). Kemudian impuritis seperti material yang tak larut difiltrasi, sehingga diperoleh *mother liquor* yang bebas kontaminan. Larutan MgSO₄ ini kemudian dikristalisasi didalam *crystallizer* untuk memperoleh kristal produk Magnesium Sulfat Heptahidrat. Proses kristalisasi ini berlangsung pada suhu 10°C.



Gambar 2. 1 Diagram Alir Singkat Pembuatan Magnesium Sulfat Heptahidrat dari MgO dan H₂SO₄

b) Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika bertujuan untuk mengetahui apakah reaksi bersifat endotermis atau eksotermis. Penentuan panas reaksi yang berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada P = 1 atm dan T = 298 K. Reaksi yang terjadi adalah :

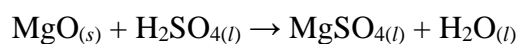


Tabel 2. 1 Data Nilai ΔH°_f dan ΔG° Reaktan dan Produk Proses Netralisasi

Komponen	Rumus Molekul	ΔH°_f (kJ/mol)	ΔG° (kJ/mol)
Magnesium oksida	MgO	-143,8	-596,3
Asam Sulfat	H ₂ SO ₄	-193,69	-689,9
Magnesium Sulfat	MgSO ₄	-304,94	-1170,6
Air	H ₂ O	-63,3174	-237,14

(Sumber : Perry, 2008)

Reaksi yang terjadi antara lain :



$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} \\ &= [(-304,94 \text{ kJ/mol}) + (-68,3174 \text{ kJ/mol}) - [(-143,8 \text{ kJ/mol}) + (-193,69 \text{ kJ/mol})] \end{aligned}$$

$$= -35,8 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}_{r298K} &= \Delta G^{\circ} \text{ produk} - \Delta G^{\circ} \text{ reaktan} \\ &= [(-1170,6 \text{ kJ/mol}) + (-237,14 \text{ kJ/mol}) - [(-596,3 \text{ kJ/mol}) + \\ &\quad (-689,9 \text{ kJ/mol})] \\ &= -121,54 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Berdasarkan nilai ΔG° yang telah didapatkan sebesar $-121,54 \text{ kJ/gmol}$ menunjukkan bahwa Proses Netralisasi dapat berlangsung tanpa membutuhkan energi yang besar, karena diinginkan nilai $\Delta G^{\circ} < 0$ agar tidak membutuhkan energi berupa panas yang terlalu besar (konsumsi energi kecil).

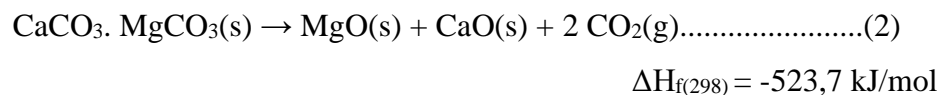
2. *Brine and Dolomite Process (Proses 2)*

Proses ini menggunakan brine dan dolomit sebagai bahan baku dengan tahapan sebagai berikut :

a) Kalsinasi Dolomit

Dalam proses kalsinasi gas CO_2 dibebaskan. Temperatur yang digunakan dalam proses ini adalah sekitar 750°C dan tekanan 1 atm (Kirk, 2006). Pada kondisi ini dolomit terdekomposisi membentuk magnesium oksida (MgO) dengan persentase sebesar 42% dan kalsium oksida (CaO) sebesar 58%.

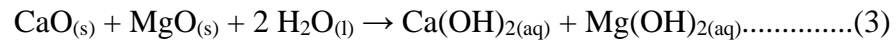
Reaksi yang terjadi :



b) Pemberian Air (*Slaking*)

Dolomit yang telah terkalsinasi direaksikan dengan air berlebih. Penambahan air didasarkan pada kandungan CaO dan MgO. Kedua senyawa ini direaksikan dengan air membentuk $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Yield $\text{Mg}(\text{OH})_2$ yang diperoleh sebesar 20-35%.

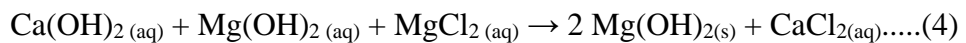
Reaksi yang terjadi yaitu:



$$\Delta H_{f(298)} = -28,96 \text{ kJ/mol}$$

c) Pengendapan Mg(OH)_2

Pengendapan Mg(OH)_2 dilakukan dengan penambahan agen flokulan yaitu dengan MgCl_2 dan diperoleh yield Mg(OH)_2 sebesar 20-80%. Reaksi yang terjadi sebagai berikut :



$$\Delta H_{f(298)} = -2,09 \text{ kJ/mol}$$

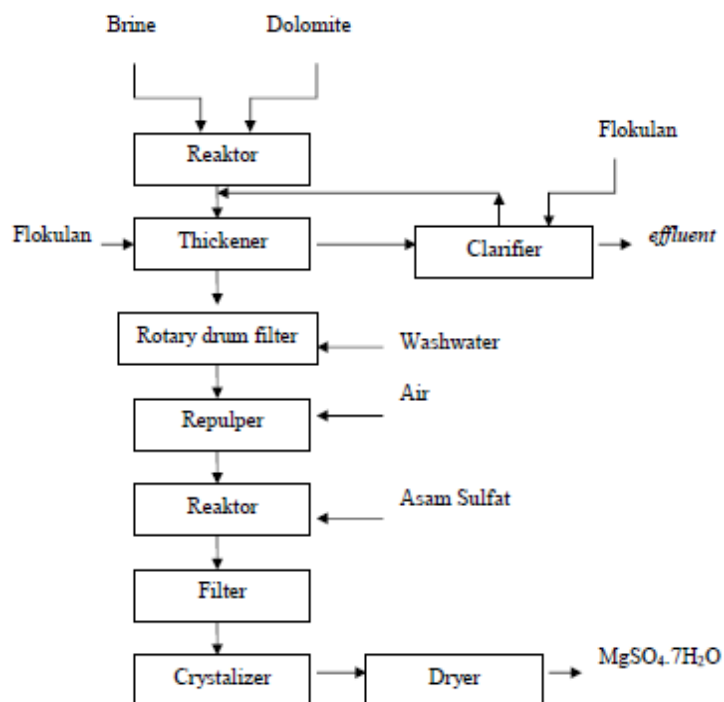
d) Reaksi dengan asam

Endapan $\text{Mg(OH)}_2 (s)$ kemudian direaksikan dengan asam sulfat, dengan reaksi sebagai berikut :



$$\Delta H_{f(298)} = -25,6 \text{ kJ/mol}$$

Larutan MgSO_4 ini akan difiltrasi untuk memisahkan filtrate dari mother liquor, dilanjutkan dengan tahapan kristalisasi di *crystalizer* untuk memperoleh kristal produk Magnesium Sulfat Heptahidrat.

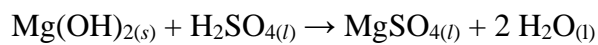
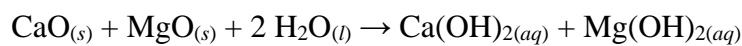


Gambar 2. 2 Diagram Alir Singkat Pembuatan Magnesium Sulfat Heptahidrat dan *Brine and Dolomit*

e) Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika bertujuan untuk mengetahui apakah reaksi bersifat endotermis atau eksotermis. Penentuan panas reaksi yang berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada $P = 1 \text{ atm}$ dan $T = 298 \text{ K}$.

Reaksi yang terjadi adalah :



Tabel 2. 2 Data Nilai ΔH°_f dan ΔG° Reaktan dan Produk Proses Brine and Dolomite

Komponen	Rumus	ΔH°_f (kJ/mol)	ΔG° (kJ/mol)
Magnesium oksida	MgO	-143,8	-596,3
Asam Sulfat	H ₂ SO ₄	-193,69	-689,9
Magnesium Sulfat	MgSO ₄	-304,94	-1170,6
Air	H ₂ O	-68,3174	-237,14
Magnesium Hidroksida	Mg(OH) ₂	-221,9	-833,7
Magnesium Klorida	MgCl ₂	-189,76	-591,8
Kalsium Hidroksida	Ca(OH) ₂	-239,2	-897,5
Kalsium Klorida	CaCl ₂	-209,15	-816,05
Kalsium oksida	CaO	-151,7	-603,3
Karbon Dioksida	CO ₂	-393,5	-394,39

Dolomit	CaCO ₃ .MgCO ₃	-558,8	0
---------	--------------------------------------	--------	---

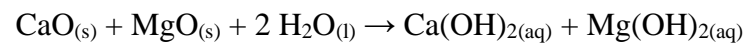
(Sumber : Perry, 2008)

Reaksi yang terjadi antara lain :



$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \Delta H^\circ_{\text{f produk}} - \Delta H^\circ_{\text{f reaktan}} \\ &= [(-143,8 \text{ kJ/mol}) + (-151,7 \text{ kJ/mol}) + (2 \times -393,5 \text{ kJ/mol})] - \\ &\quad (-558,8 \text{ kJ/mol}) \\ &= -523,7 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ &= \Delta G^\circ_{\text{produk}} - \Delta G^\circ_{\text{reaktan}} \\ &= [(-596,3 \text{ kJ/mol}) + (-603,3 \text{ kJ/mol}) + (2 \times -394,39 \text{ kJ/mol})] - \\ &\quad (0 \text{ kJ/mol}) \\ &= -1988,38 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{\text{f}} &= \Delta H^\circ_{\text{f produk}} - \Delta H^\circ_{\text{f reaktan}} \\ &= [(-239,2 \text{ kJ/mol}) + (-221,90 \text{ kJ/mol})] - [(-151,7 \text{ kJ/mol}) + \\ &\quad (-143,8 \text{ kJ/mol}) + (2 \times -68,3174 \text{ kJ/mol})] \\ &= -28,96 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

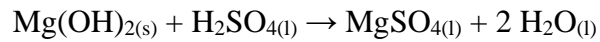
$$\begin{aligned} \Delta G^\circ &= \Delta G^\circ_{\text{produk}} - \Delta G^\circ_{\text{reaktan}} \\ &= [(-897,5 \text{ kJ/mol}) + (-833,7 \text{ kJ/mol})] - [(-603,3 \text{ kJ/mol}) + \\ &\quad (-596,3 \text{ kJ/mol}) + (2 \times -237,14 \text{ kJ/mol})] \\ &= -57,32 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{\text{f}} &= \Delta H^\circ_{\text{f produk}} - \Delta H^\circ_{\text{f reaktan}} \\ &= [(2 \times -221,90 \text{ kJ/mol}) + (-209,15 \text{ kJ/mol})] - [(-239,2 \text{ kJ/mol}) + \\ &\quad (-221,90 \text{ kJ/mol}) + (-189,76 \text{ kJ/mol})] \\ &= -2,09 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ &= \Delta G^\circ_{\text{produk}} - \Delta G^\circ_{\text{reaktan}} \\ &= [(-833,7 \text{ kJ/mol}) + (-816,05 \text{ kJ/mol})] - [(-897,5 \text{ kJ/mol}) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (-833,7 \text{ kJ/mol}) + (-591,8 \text{ kJ/mol}) \\ & = 673,25 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \Delta H_{ef} &= \Delta H^{\circ}f \text{ produk} - \Delta H^{\circ}f \text{ reaktan} \\ &= [(-304,94 \text{ kJ/mol}) + (2 \times -68,3174 \text{ kJ/mol})] - [(-221,90 \text{ kJ/mol}) + \\ & \quad (-193,69 \text{ kJ/mol})] \\ &= -25,6 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ} &= \Delta G^{\circ} \text{ produk} - \Delta G^{\circ} \text{ reaktan} \\ &= [(-1170,6 \text{ kJ/mol}) + (2 \times -237,14 \text{ kJ/mol})] - [(-833,7 \text{ kJ/mol}) + \\ & \quad (-689,9 \text{ kJ/mol})] \\ &= -121,28 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Sehingga, Jumlah totalnya adalah sebagai berikut :

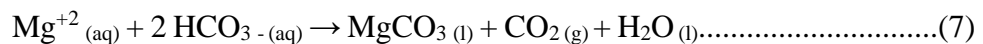
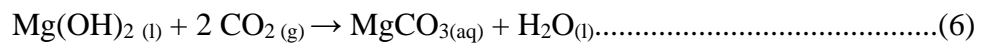
$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}_f \text{ total} &= (-523,7 \text{ kJ/mol kJ/gmol}) + (-28,96 \text{ kJ/gmol}) + \\ & \quad (-2,09 \text{ kJ/gmol}) + (-25,6 \text{ kJ/gmol}) \\ \Delta H^{\circ}_f \text{ total} &= -580,35 \text{ kJ/gmol} \\ \Delta G^{\circ} \text{ total} &= (-1988,38 \text{ kJ/gmol}) + (-57,32 \text{ kJ/gmol}) + (673,25 \text{ kJ/gmol}) \\ & \quad + (-121,28 \text{ kJ/gmol}) \\ \Delta G^{\circ} \text{ total} &= -913,39 \text{ kJ/gmol} \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai ΔG° yang telah didapatkan sebesar -913,39 kJ/gmol menunjukkan bahwa reaksi Brine and Dolomite berlangsung tanpa memerlukan energi yang besar, karena diinginkan nilai $\Delta G^{\circ} < 0$ agar tidak membutuhkan energi berupa panas yang terlalu besar (konsumsi energi kecil).

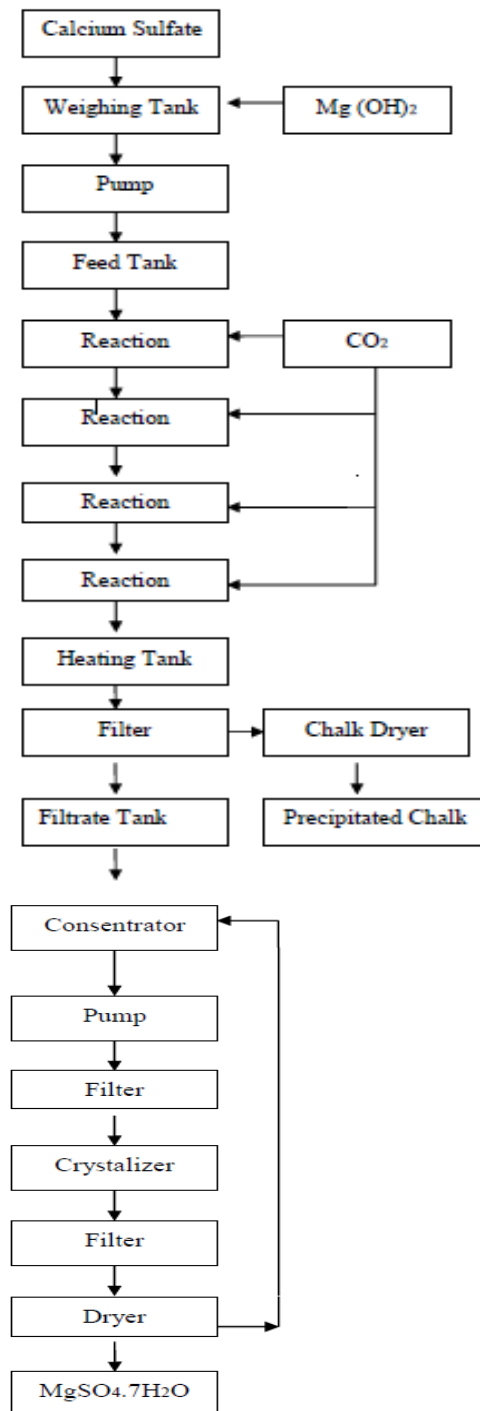
3. Proses Farnsworth (Proses 3)

a) Proses Farnworth

Proses ini pertama kali ditemukan oleh Farnsworth - Patent US2231327A pada tahun 1937, dengan 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:



Reaksi karbonasi ini berlangsung pada $P = 3,5 - 5 \text{ atm}$, dan $T = 90 \text{ }^\circ\text{C}$, sehingga diperoleh larutan magnesium bikarbonat *aqueous*, kemudian akan difiltrasi untuk menghasilkan magnesium karbonat tak larut. Selanjutnya, magnesium karbonat yang terbentuk direaksikan dengan gipsum (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 Karbon Dioksida yang tersisa. Kemudian dilakukan filtrasi untuk memisahkan endapan kapur (CaCO_3). Filtrat yang terbentuk akan dipekatkan di dalam *consentrator*, lalu difilter kembali dan dilanjutkan dengan proses kristalisasi di *crystalizer*. Kristal yang terbentuk akan difiltrasi kembali dan di keringkan untuk memperoleh produk *Epsom salt*. Berikut ini adalah blok diagram proses Farnsworth.

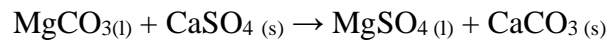
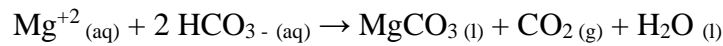
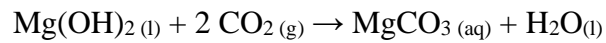


Gambar 2. 3 Diagram Alir Singkat Pembuatan Magnesium Sulfat Heptahidrat dengan Menggunakan Bahan Baku MgCO_3 dan CaSO_4

b) Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika bertujuan untuk mengetahui apakah reaksi bersifat endotermis atau eksotermis. Penentuan panas reaksi yang berjalan

secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada $P = 1 \text{ atm}$ dan $T = 298 \text{ K}$. Reaksi yang terjadi adalah :

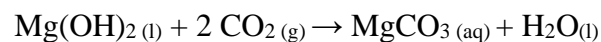


Tabel 2. 3 Data Nilai ΔH°_f dan ΔG° Reaktan dan Produk Proses Farnsworth

Komponen	Rumus Molekul	ΔH°_f (kJ/mol)	ΔG° (kJ/mol)
Karbon dioksida	CO2	-393,5	-394,39
Magnesium Sulfat	MgSO4	-304,94	-1170,6
Air	H2O	-68,3174	-237,14
Magnesium Hidroksida	Mg(OH)2	-221,9	-833,7
Magnesium Karbonat	MgCO3	-261,73	-1012,1
Magnesium	Mg+2	0	0
Hidrogen Karbonat	HCO3-	0	0
Kalsium Sulfat	CaSO4	-336,58	-1309,1
Kalsium Karbonat	CaCO3	-289,5	-1129,1

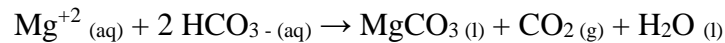
(Sumber : Perry, 2008)

Reaksi yang terjadi antara lain :



$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}_f &= \Delta H^{\circ}_f \text{ produk} - \Delta H^{\circ}_f \text{ reaktan} \\ &= [(-261,73 \text{ kJ/mol}) + (-68,3174 \text{ kJ/mol})] - [(-221,90 \text{ kJ/mol}) + \\ &\quad (-393,5 \text{ kJ/mol})] \\ &= -285,35 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

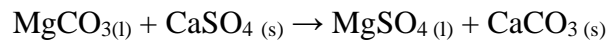
$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ} &= \Delta G^{\circ} \text{ produk} - \Delta G^{\circ} \text{ reaktan} \\ &= [(-1012,1 \text{ kJ/mol}) + (-237,14 \text{ kJ/mol})] - [(-833,7 \text{ kJ/mol}) + \\ &\quad (-394,39 \text{ kJ/mol})] \\ &= -21,15 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$



Dikarenakan proses merupakan subreaksi 1 maka :

$$\Delta H^\circ_f = 0$$

$$\Delta G^\circ = 0$$



$$\Delta H^\circ_f = \Delta H^\circ_{f \text{ produk}} - \Delta H^\circ_{f \text{ reaktan}}$$

$$= [(-304,94 \text{ kJ/mol}) + (-289,5 \text{ kJ/mol})] - [(-261,73 \text{ kJ/mol}) + (-336,58 \text{ kJ/mol})]$$

$$= -3,87 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ = \Delta G^\circ_{\text{ produk}} - \Delta G^\circ_{\text{ reaktan}}$$

$$= [(-1170,6 \text{ kJ/mol}) + (-1129,1 \text{ kJ/mol})] - [(-1012,1 \text{ kJ/mol}) + (-1309,1 \text{ kJ/mol})]$$

$$= 21,5 \text{ kJ/mol}$$

Sehingga, Jumlah Totalnya adalah sebagai berikut :

$$\Delta H^\circ_f \text{ total} = (-285,35 \text{ kJ/gmol}) + 0 + (-3,87 \text{ kJ/gmol})$$

$$\Delta H^\circ_f \text{ total} = -289,22 \text{ kJ/gmol}$$

$$\Delta G^\circ \text{ total} = (-21,15 \text{ kJ/gmol}) + 0 + (21,5 \text{ kJ/gmol})$$

$$\Delta G^\circ \text{ total} = 0,35 \text{ kJ/gmol}$$

Berdasarkan nilai ΔG° yang telah didapatkan sebesar 0,35 kJ/gmol menunjukkan bahwa proses Farnsworth berlangsung dengan energi yang kecil, karena diinginkan nilai $\Delta G^\circ < 0$ agar tidak membutuhkan energi berupa panas yang terlalu besar (konsumsi energi rendah).

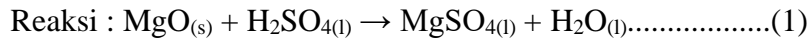
2.2. Perbandingan Proses

Dalam pemilihan proses, perlu di pertimbangkan beberapa hal seperti bahan baku, jumlah reaksi, suhu operasi, panas reaksi, katalis, yield, hasil samping,

biaya bahan baku (perhitungan ekonomi kasar) dan harga pembuatan magnesium sulfat heptahidrat/kg.

a.) Ekonomi kasar

1. Proses Netralisasi



Diketahui :

Kapasitas Produksi 63.000 ton/tahun (BM $\text{MgSO}_4 = 120 \text{ kg/kmol}$)

$$\begin{aligned} 63.000 \text{ ton/th} &= 63.000.000 \text{ kg/th} : 120 \text{ kg/kmol} \\ &= 525.000 \text{ kmol/th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol MgO} &= 1/1 \times 525.000 \text{ kmol/th (BM MgO = 40 kg/kmol)} \\ &= 525.000 \text{ kmol/th} \times 40 \text{ kg/kmol} \\ &= 21.000.000 \text{ kg/th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga/tahun} &= 21.000.000 \text{ kg/th} \times \text{Rp.}6.500,-/\text{kg} \\ &= \text{Rp}136.500.000.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol H}_2\text{SO}_4 &= 1/1 \times 525.000 \text{ kmol/th (BM H}_2\text{SO}_4 = 98 \text{ kg/kmol)} \\ &= 525.000 \text{ kmol/th} \times 98 \text{ kg/kmol} \\ &= 51.450.000 \text{ kg/th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga/tahun} &= 51.450.000 \text{ kg/th} \times \text{Rp.} 1.600,-/\text{kg} \\ &= \text{Rp}82.320.000.000,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Bahan Baku} &= \text{Rp}136.500.000.000 + \text{Rp}82.320.000.000,00 \\ &= \text{Rp}218.820.000.000,00 \end{aligned}$$

Harga Jual Magnesium Sulfat Heptahidrat

$$\begin{aligned} &= 63.000.000 \text{ kg/th} \times \text{Rp.} 13.000,-/\text{kg} \\ &= \text{Rp}819.000.000.000,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keuntungan} &= \text{Harga Jual} - \text{Harga Bahan Baku} \\ &= \text{Rp}819.000.000.000,00 - \text{Rp}218.820.000.000,00 \\ &= \text{Rp}600.180.000.000,00 \end{aligned}$$

2. Proses *Brine and Dollomite*



Diketahui :

Kapasitas Produksi 63.000 ton/tahun (BM $\text{MgSO}_4 = 120 \text{ kg/kmol}$)

$$\begin{aligned} 63.000 \text{ ton/th} &= 63.000.000 \text{ kg/th} : 120 \text{ kg/kmol} \\ &= 525.000 \text{ kmol/th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol Mg(OH)}_2 &= 1/1 \times 525.000 \text{ kmol/th (BM Mg(OH)}_2 = 58 \text{ kg/kmol)} \\ &= 525.000 \text{ kmol/th} \times 58 \text{ kg/kmol} \\ &= 30.450.000 \text{ kg/th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga/tahun} &= 30.450.000 \times \text{Rp}10.355,56 \\ &= \text{Rp}315.326.862.900,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol H}_2\text{SO}_4 &= 1/1 \times 525.000 \text{ kmol/th (BM H}_2\text{SO}_4 = 98 \text{ kg/kmol)} \\ &= 525.000 \text{ kmol/th} \times 98 \text{ kg/kmol} \\ &= 51.450.000 \text{ kg/th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga/tahun} &= 51.450.000 \text{ kg/th} \times \text{Rp}1.600,00 \\ &= \text{Rp}82.320.000.000,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Bahan Baku} &= \text{Rp}315.326.862.900,00 + \text{Rp}82.320.000.000,00 \\ &= \text{Rp}397.646.862.900,00 \end{aligned}$$

Harga Jual Magnesium Sulfat Heptahidrat

$$\begin{aligned} &= 63.000.000 \text{ kg/th} \times \text{Rp. } 13.000,-/\text{kg} \\ &= \text{Rp}819.000.000.000,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keuntungan} &= \text{Harga Jual} - \text{Harga Bahan Baku} \\ &= \text{Rp}819.000.000.000,00 - \text{Rp}397.646.862.900,00 \\ &= \text{Rp}421.353.137.100,00 \end{aligned}$$

3. Proses Fransworth



Diketahui :

Kapasitas Produksi 63.000 ton/tahun (BM $\text{MgSO}_4 = 120 \text{ kg/kmol}$)

$$\begin{aligned} 63.000 \text{ ton/th} &= 63.000.000 \text{ kg/th} : 120 \text{ kg/kmol} \\ &= 525.000 \text{ kmol/th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol MgCO}_3 &= 1/1 \times 525.000 \text{ kmol/th (BM MgCO}_3 = 84 \text{ kg/kmol)} \\ &= 525.000 \text{ kmol/th} \times 84 \text{ kg/kmol} \\ &= 44.100.000 \text{ kg/th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga/tahun} &= 44.100.000 \times \text{Rp}4.586,03 \\ &= \text{Rp}202.244.125.860,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol CaSO}_4 &= 1/1 \times 525.000 \text{ kmol/th (BM CaSO}_4 = 136 \text{ kg/kmol)} \\ &= 525.000 \text{ kmol/th} \times 136 \text{ kg/kmol} \\ &= 71.400.000 \text{ kg/th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga/tahun} &= 71.400.000 \text{ kg/th} \times \text{Rp}5.917,46 \\ &= \text{Rp}422.506.929.600,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Bahan Baku} &= \text{Rp}202.244.125.860,00 + \text{Rp}422.506.929.600,00 \\ &= \text{Rp}624.751.055.460,00 \end{aligned}$$

Harga Jual Magnesium Sulfat Heptahidrat

$$\begin{aligned} &= 63.000.000 \text{ kg/th} \times \text{Rp. } 13.000,-/\text{kg} \\ &= \text{Rp}819.000.000.000,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keuntungan} &= \text{Harga Jual} - \text{Harga Bahan Baku} \\ &= \text{Rp}819.000.000.000,00 - \text{Rp}624.751.055.460,00 \\ &= \text{Rp}194.248.944.540,00 \end{aligned}$$

b.) Tinjauan Termodinamika berdasarkan Entalpi

1. Proses 1

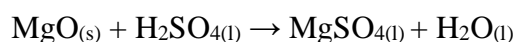
Tabel 2. 4 Data Nilai ΔH°_f Komponen Reaksi pada Proses Netralisasi

Komponen	Rumus Molekul	ΔH°_f (kJ/mol)	ΔG° (kJ/mol)
Magnesium oksida	MgO	-143,8	-596,3
Asam Sulfat	H ₂ SO ₄	-193,69	-689,9
Magnesium Sulfat	MgSO ₄	-304,94	-1170,6
Air	H ₂ O	-63,3174	-237,14

Tabel 2. 5 Nilai Konstanta Kapasitas Panas Komponen

Komponen	A	B	C	D
MgO	-8,00	2,469E-01	3,766E-04	1,9830E-07
H ₂ SO ₄	9,486	3,3795E-01	-3,8078E-04	2,1308E-07
MgSO ₄	75,83207	1,11722E-02	-3,968842E-03	5,129835E-07
H ₂ O	33,933	-8,4186E-03	2,9906E-05	-1,7825E-08

Reaksi 1 yang terjadi antara lain :



$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}_{rx\ 298K} &= \Delta H^{\circ}_f \text{ produk} - \Delta H^{\circ}_f \text{ reaktan} \\ &= [(-304,94 \text{ kJ/mol}) + (-68,3174 \text{ kJ/mol}) - [(-143,8 \text{ kJ/mol}) + (-193,69 \text{ kJ/mol})] \\ &= -35,8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \Delta A &= \Sigma A_{\text{produk}} - \Sigma A_{\text{reaktan}} \\ &= (75,83207 + (2 \times 33,933)) - (-8,00 + 9,486) \\ &= 108,27907 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta B &= \Sigma B_{\text{produk}} - \Sigma B_{\text{reaktan}} \\ &= (1,11722 \times 10^2 + (2 \times -8,4186 \times 10^3)) - (2,47 \times 10^1 + 3,38 \times 10^1) \\ &= -0,5820964 \end{aligned}$$

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

$$= (-3,968842 \times 10^3 + (2 \times 2,9906 \times 10^5)) - (3,77 \times 10^4 + -3,81 \times 10^4)$$

$$= -0,003934756$$

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

$$= (5,129835 \times 10^7 + (2 \times -1,7825 \times 10^8)) - (1,98 \times 10^7 + 2,13 \times 10^7)$$

$$= 8,37785 \times 10^{-8}$$

Lalu, mencari nilai ΔH_r° untuk reaksi di suhu 60°C ($333,15 \text{ K}$) :

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

$$\tau = \frac{T}{T_0} = \frac{333,15}{298,15} = 1,117390575 \dots \dots \dots \text{(Yaws, 1999)}$$

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = (108,27907) \cdot 298 \cdot (1,117390575-1) + \frac{-0,5820964}{2} \cdot 298^2 \cdot (1,117390575^2-1) + \frac{-0,003934756}{3} \cdot 298^3 \cdot (1,117390575^3-1) + \frac{8,37785 \times 10^{-8}}{298} \times \frac{1,117390575-1}{1,117390575}$$

$$= -1075,125 \text{ kJ/kmol}$$

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = -8938,59 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^\circ_{\text{rxn}}(333,15 \text{ K}) = \Delta H^\circ_{\text{rxn}}(298,15 \text{ K}) + R \int_{298,15}^{333,15} C_p dT$$

$$\Delta H^\circ_{\text{rxn}}(333,15 \text{ K}) = -35,77 \text{ kJ/kmol} + -8.938,59 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^\circ_{\text{rxn}}(333,15 \text{ K}) = -8.974,3676 \text{ kJ/kmol}$$

Karena nilai $\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$ 333 K adalah negatif, maka reaksi bersifat eksotermis.

2. Proses 2

Nilai ΔH°_f masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.6 sebagai berikut :

Tabel 2. 6 Data Nilai ΔH°_f Komponen Reaksi pada Proses *Brine and Dolomite*

Komponen	Rumus Molekul	ΔH° (kJ/mol)
Magnesium oksida	MgO	-143,8
Asam Sulfat	H ₂ SO ₄	-193,69
Magnesium Sulfat	MgSO ₄	-304,94
Air	H ₂ O	-68,3174
Magnesium Hidroksida	Mg(OH) ₂	-221,9
Magnesium Klorida	MgCl ₂	-189,76
Kalsium Hidroksida	Ca(OH) ₂	-239,2
Kalsium Klorida	CaCl ₂	-209,15
Kalsium oksida	CaO	-151,7
Karbon Dioksida	CO ₂	-393,5
Dolomit	CaCO ₃ .MgCO ₃	-558,8

(Sumber : Perry, 2008)

Tabel 2. 7 Nilai Konstanta Kapasitas Panas Komponen Reaksi pada Proses *Brine and Dolomite*

Komponen	A	B	C	D
MgO	-8,00	0,2469	3,766E-04	1,9830E-07
H ₂ SO ₄	9,486	0,33795	-3,8078E-04	2,1308E-07
MgSO ₄	75,83207	1,11722E-02	-3,968842E-03	5,129835E-07
H ₂ O	33,933	-8,4186E-03	2,9906E-05	-1,7825E-08
Mg(OH) ₂	84,9	7,444 E-01	-6,8928E-03	2,6632E-06
MgCl ₂	78,307	2,4358E-02	6,8588E-04	-1,7289E-07
Ca(OH) ₂	81,103	0,15019	-3,059E-04	0,2138E-07
CaCl ₂	87,296	-0,350764	4,4128E-03	-9,85E-07
CaO	49,95	4,888E-02	-0,352E-04	0,0462E-07
CO ₂	27,437	4,2315E-02	-1,9555E-05	3,9968E-09
CaCO ₃ .MgCO ₃	44,937	1,497085	-7,4182E-03	1,1976E-06

(Sumber : Yaws, 1999)

Reaksi 1 yang terjadi antara lain :

$$\begin{aligned} & \text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{MgO}(\text{s}) + \text{CaO}(\text{s}) + 2 \text{CO}_2(\text{g}) \\ \Delta H_{\text{rx } 298\text{K}} &= \Delta H^{\circ}\text{f produk} - \Delta H^{\circ}\text{f reaktan} \\ &= [(-304,94 \text{ kJ/mol}) + (-68,3174 \text{ kJ/mol}) - [(-143,8 \text{ kJ/mol}) + (-193,69 \text{ kJ/mol})] \\ &= -523,7 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \Delta A &= \Sigma A_{\text{produk}} - \Sigma A_{\text{reaktan}} \\ &= (10,461 + 49,95 + (2 \times 27,437)) - (44,937) \\ &= 70,343 \\ \Delta B &= \Sigma B_{\text{produk}} - \Sigma B_{\text{reaktan}} \\ &= (0,111 + 4,888 \times 10^{-2} + (2 \times 4,2315 \times 10^{-2})) - (1,497085) \\ &= -1,25 \\ \Delta C &= \Sigma C_{\text{produk}} - \Sigma C_{\text{reaktan}} \\ &= (-8,01 \times 10^{-6} + -0,352 \times 10^{-4} + (2 \times -1,9555 \times 10^{-5})) - (-7,4182 \times 10^{-3}) \\ &= 7,7205 \times 10^{-3} \\ \Delta D &= \Sigma D_{\text{produk}} - \Sigma D_{\text{reaktan}} \\ &= (0 + 0,0462 \times 10^{-7} + (2 \times 3,9968 \times 10^{-9})) - (1,1976 \times 10^{-6}) \\ &= -1,19 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

Reaksi 2 yang terjadi antara lain :

$$\begin{aligned} & \text{CaO}(\text{s}) + \text{MgO}(\text{s}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq}) + \text{Mg}(\text{OH})_2(\text{aq}) \\ \Delta H_{\text{rx } 298\text{K}} &= \Delta H^{\circ}\text{f produk} - \Delta H^{\circ}\text{f reaktan} \\ &= [(-239,2 \text{ kJ/mol}) + (-221,90 \text{ kJ/mol})] - [(-151,7 \text{ kJ/mol}) + (-143,8 \text{ kJ/mol}) + (2 \times -68,3174 \text{ kJ/mol})] \\ &= -28,96 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dapat dihitung :

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

$$= (81,103 + 84,9) - (49,95 + 10,46 + (2 \times 92,05))$$

$$= -78,5$$

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

$$= (0,15019 + 0,744) - (0,0488 + 0,2469 + (2 \times -8,4186 \times 10^3))$$

$$= 6,16 \times 10^{-1}$$

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

$$= (-3,059 \times 10^{-4} + -6,8928 \times 10^{-3}) - (-0,352 \times 10^{-4} + (-8,012) + (2 \times -0,0002))$$

$$= -68,89$$

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

$$= (81,103 + 84,9) - (49,95 + 0 + (2 \times 5,3469 \times 10^{-7}))$$

$$= 1,6074 \times 10^{-6}$$

Reaksi 3 yang terjadi antara lain :



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

$$= [(2 \times -221,90 \text{ kJ/mol}) + (-209,15 \text{ kJ/mol})] - [(-239,2 \text{ kJ/mol}) + (-221,90 \text{ kJ/mol}) + (-189,76 \text{ kJ/mol})] = -2,09 \text{ kJ/mol}$$

Dapat dihitung :

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

$$= ((2 \times 84,9) + 87,296) - (81,103 + 84,9 + 78,307) = 12,786$$

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

$$= ((2 \times 7,444 \times 101) - 0,350764) - (0,15019 + 7,444 \times 101 + 2,4358 \times 102)$$

$$= 0,219088$$

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

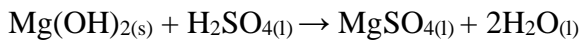
$$= ((2 \times -6,8928 \times 103) + 4,4128 \times 103) - (-3,059 \times 104 + -6,8928 \times 103 + 6,8588 \times 104)$$

$$= -0,00285998$$

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

$$\begin{aligned}
&= ((2 \times 2,6632 \times 106) - 9,85 \times 107) - (0,2138 \times 107 + 2,6632 \times 106 + - \\
&1,7289 \times 107) \\
&= 1,82971 \times 106
\end{aligned}$$

Reaksi 4 yang terjadi antara lain :



$$\begin{aligned}
\Delta H_{\text{rx } 298\text{K}} &= \Delta H^{\circ}\text{f produk} - \Delta H^{\circ}\text{f reaktan} \\
&= [(-304,94 \text{ kJ/mol}) + (2 \times -68,3174 \text{ kJ/mol})] - [(-221,90 \text{ kJ/mol}) + \\
&(-193,69 \text{ kJ/mol})] \\
&= -25,6 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Sehingga, Jumlah Total untuk $\Delta H^{\circ}\text{f } 298\text{K}$ adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\Delta H^{\circ}\text{f total} &= (-523,7 \text{ kJ/mol kJ/gmol}) + (-28,96 \text{ kJ/gmol}) + (-2,09 \text{ kJ/gmol}) + \\
&(-25,6 \text{ kJ/gmol})
\end{aligned}$$

$$\Delta H^{\circ}\text{f total} = -580,35 \text{ kJ/mol}$$

Dapat dihitung :

$$\begin{aligned}
\Delta A &= \Sigma A_{\text{produk}} - \Sigma A_{\text{reaktan}} \\
&= (75,83207 + (2 \times 33,933)) - (84,9 + 9,486) = 49,31207
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta B &= \Sigma B_{\text{produk}} - \Sigma B_{\text{reaktan}} \\
&= (1,11722 \times 10^{-2} + (2 \times -8,4186 \times 10^{-3})) - (7,444 \times 10^{-1} + 0,33795) \\
&= -1,088015
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta C &= \Sigma C_{\text{produk}} - \Sigma C_{\text{reaktan}} \\
&= (-3,968842 \times 10^{-3} + (2 \times 2,9906 \times 10^{-5})) - (-6,8928 \times 10^{-3} + -3,8078 \times \\
&10^{-4}) \\
&= 0,00336455
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta D &= \Sigma D_{\text{produk}} - \Sigma D_{\text{reaktan}} \\
&= (5,129835 \times 10^{-7} + (2 \times -1,7825 \times 10^{-8})) - (2,6632 \times 10^{-6} + 2,1308 \times 10^{-7}) \\
&= -2,39895 \times 10^{-6}
\end{aligned}$$

Lalu, mencari nilai ΔH_{ro} untuk reaksi di suhu 750°C (1023 K) :

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

$$\tau = \frac{T}{T_0} = \frac{1003,15}{298,15} = 3,365 \dots\dots (Yaws, 1999)$$

Pada Reaksi 1, suhu Reaksi 1023 K diperoleh :

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = -485,256 \text{ kJ/mol} \times 8,314 = -4034,418 \text{ kJ/mol}$$

Pada Reaksi 2, suhu Reaksi 1023 K diperoleh :

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = 335,715 \text{ kJ/mol} \times 8,314 = 2791,13451 \text{ kJ/mol}$$

Pada Reaksi 3, suhu Reaksi 1023 K diperoleh :

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = 114,183 \text{ kJ/mol} \times 8,314 = 949,317462 \text{ kJ/mol}$$

Pada Reaksi 4, suhu Reaksi 1023 K diperoleh :

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = -485,258 \text{ kJ/mol} \times 8,314 = -4034,435012 \text{ kJ/mol}$$

Maka, jumlah total nilai dari semua reaksi adalah :

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT (\text{rx1+2+3+4}) = -4.328,401424 \text{ kJ/mol}$$

Sehingga, diperoleh nilai ΔH_{ro} 1023 K sebagai berikut :

$$\Delta H_{ro} \text{ 1023 K} = \Delta H_{fo} + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT$$

$$\Delta H_{ro} \text{ 1023 K} = -580,35 \text{ kJ/gmol} + -4.328,401424 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{ro} \text{ 1023 K} = -4.908,751 \text{ kJ/mol}$$

Karena nilai ΔH°_r 1023K adalah negatif, maka reaksi bersifat eksotermis.

3. Proses 3

Nilai ΔH°_f masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.8 sebagai berikut :

Tabel 2. 8 Data Nilai ΔH°_f Komponen Reaksi pada Proses Farnsworth

Komponen	Rumus Molekul	ΔH°_f (kJ/mol)
----------	---------------	-------------------------------

Karbon dioksida	CO ₂	-393,5
Magnesium Sulfat	MgSO ₄	-304,94
Air	H ₂ O	-68,3174
Magnesium Hidroksida	Mg(OH) ₂	-221,9
Magnesium Karbonat	MgCO ₃	-261,73
Magnesium	Mg ⁺²	0
Hidrogen Karbonat	HCO ₃ ⁻	0
Kalsium Sulfat	CaSO ₄	-336,58
Kalsium Karbonat	CaCO ₃	-289,5

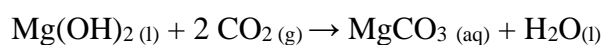
(Sumber : Perry, 2008)

Tabel 2. 9 Nilai Konstanta Kapasitas Panas Komponen Reaksi pada Proses Farnsworth

Komponen	A	B	C	D
CO ₂	-8,00	0,2469	3,766E-04	1,9830E-07
MgSO ₄	75,83207	1,11722E-02	-3,968842E-03	5,129835E-07
H ₂ O	33,933	-8,4186E-03	2,9906E-05	-1,7825E-08
Mg(OH) ₂	84,9	7,444E-01	-6,8928E-03	2,6632E-06
MgCO ₃	44,937	1,49708E-01	-7,4182E-02	1,1976E-04
CaSO ₄	30,234	3,457E-01	-2,325E-04	3,614E-07
CaCO ₃	25,489	2,1893E-01	-1,349E-03	2,981E-06

(Sumber : Yaws, 1999)

Reaksi 1 yang terjadi antara lain :



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

$$\begin{aligned}
 &= [(-261,73 \text{ kJ/mol}) + (-68,3174 \text{ kJ/mol})] - [(-221,90 \text{ kJ/mol}) + (-393,5 \text{ kJ/mol})] \\
 &= -285,35 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dapat dihitung :

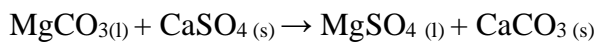
$$\begin{aligned}
 \Delta A &= \Sigma A_{\text{produk}} - \Sigma A_{\text{reaktan}} \\
 &= (44,937 + 33,933) - (84,9 + (2 \times -8,00)) = 9,97
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta B &= \Sigma B_{\text{produk}} - \Sigma B_{\text{reaktan}} \\
 &= (1,49708 \times 10^{-1} + 8,4186 \times 10^{-3}) - (7,444 \times 10^{-1} + (2 \times 0,2469)) \\
 &= -1,0969106
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta C &= \Sigma C_{\text{produk}} - \Sigma C_{\text{reaktan}} \\
 &= (-7,4182 \times 10^{-2} + 2,9906 \times 10^{-5}) - (-6,8928 \times 10^{-3} + (2 \times 3,766 \times 10^{-4})) \\
 &= -0,068012494
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta D &= \Sigma D_{\text{produk}} - \Sigma D_{\text{reaktan}} \\
 &= (1,1976 \times 10^{-4} + -1,7825 \times 10^{-8}) - (2,6632 \times 10^{-6} + (2 \times 1,9830 \times 10^{-7})) \\
 &= 0,000116682
 \end{aligned}$$

Reaksi 2 yang terjadi antara lain :



$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{rx } 298\text{K}} &= \Delta H^{\circ}\text{f produk} - \Delta H^{\circ}\text{f reaktan} \\
 &= [(-304,94 \text{ kJ/mol}) + (-289,5 \text{ kJ/mol})] - [(-261,73 \text{ kJ/mol}) + (-336,58 \text{ kJ/mol})] \\
 &= -3,87 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dapat dihitung :

$$\begin{aligned}
 \Delta A &= \Sigma A_{\text{produk}} - \Sigma A_{\text{reaktan}} \\
 &= (75,83207 + 25,489) - (44,937 + 30,234) \\
 &= 26,15007
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta B &= \Sigma B_{\text{produk}} - \Sigma B_{\text{reaktan}} \\
 &= (1,11722 \times 10^2 + 2,1893 \times 10^1) - (1,49708 \times 10^1 + 3,457 \times 10^1) \\
 &= -0,2653058
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta C &= \Sigma C_{\text{produk}} - \Sigma C_{\text{reaktan}} \\
 &= (-3,968842 \times 10^3 - 1,349 \times 10^3) - (-7,4182 \times 10^2 - 2,325 \times 10^4) \\
 &= 0,069096658
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta D &= \Sigma D_{\text{produk}} - \Sigma D_{\text{reaktan}} \\ &= (5,129835 \times 107 + 2,981 \times 106) - (1,1976 \times 104 + 3,614 \times 107) \\ &= -0,000116627\end{aligned}$$

Lalu, mencari nilai ΔH_r° untuk reaksi di suhu 140°C (413 K) :

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

$$\tau = \frac{T}{T_0} = \frac{433,15}{298,15} = 1,45067114 \dots\dots \text{(Yaws, 1999)}$$

Pada Reaksi 1, suhu Reaksi 413 K diperoleh :

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = -436,979 \text{ kJ/mol} \times 8,314 = -3.633,04341 \text{ kJ/mol}$$

Pada Reaksi 2, suhu Reaksi 413 K diperoleh :

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = -783,911 \text{ kJ/mol} \times 8,314 = -6.517,4361 \text{ kJ/mol}$$

Maka, jumlah total nilai dari semua reaksi adalah :

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT (\text{rx1+2}) = -3.359,9451 \text{ kJ/mol}$$

Sehingga, diperoleh nilai ΔH_{r0} 413 K sebagai berikut :

$$\Delta H_{r0} \text{ 413 K} = \Delta H_{fo} + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\wedge}0p}{R} dT$$

$$\Delta H_{r0} \text{ 413 K} = -285,35 \text{ kJ/mol} + -3.359,9451 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{r0} \text{ 413 K} = -3.645,295 \text{ kJ/mol}$$

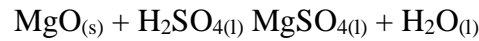
Karena nilai ΔH_r° 413 K adalah negatif, maka reaksi bersifat eksotermis.

c.) Tinjauan termodinamika berdasarkan Energi Gibbs

ΔG° menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia. ΔG° bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga dibutuhkan energi tambahan dari luar. Sedangkan ΔG° bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan dan hanyammembutuhkan sedikit energi. Oleh karena itu semakin kecil atau negatif ΔG° maka reaksi tersebut akan semakin baik karena untuk reaksi yang berlangsung spontan energi yang dibutuhkan semakin kecil.

1. Proses 1

Reaksi yang terjadi adalah :



Nilai ΔG°_f masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel

2.10. sebagai berikut :

Tabel 2. 10 Data Nilai ΔG°_f Komponen Reaksi pada Proses Netralisasi

Komponen	Rumus Molekul	ΔG°_f (kJ/mol)
Magnesium oksida	MgO	-596,3
Asam Sulfat	H ₂ SO ₄	-689,9
Magnesium Sulfat	MgSO ₄	-1170,6
Air	H ₂ O	-237,14

(Sumber : Perry, 2008)

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{r, 298 \text{ K}} &= \Delta G^\circ_f \text{ produk} - \Delta G^\circ_f \text{ reaktan} \\ &= [(-1170,6 \text{ kJ/mol}) + (-237,14 \text{ kJ/mol}) - [(-596,3 \text{ kJ/mol}) + (-689,9 \text{ kJ/mol})] \\ &= -121,54 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Karena nilai ΔG°_r 298 K adalah negatif, maka reaksi berjalan dengan spontan.

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

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

$$\Delta S^\circ = \frac{\Delta H^\circ - \Delta G^\circ}{T_0}$$

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

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

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

Pada Reaksi 1, Suhu Reaksi 333 K diperoleh :

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = -1075,125 \text{ kJ/mol} \times 8,314 = -8.938,59 \text{ kJ/mol}$$

$$RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} = -0,989995034 \times 8,314 \times 333 = -2.905,479 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{f,298K}^{\circ} - \Delta G_{f,298K}^{\circ} &= -35,8 \text{ kJ/mol} - (-121,54 \text{ kJ/mol}) \\ &= 85,74 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Sehingga, diperoleh nilai ΔG° r 333 K sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ} &= \Delta H_0^{\circ} - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^{\circ} - \Delta G_0^{\circ}) + \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} \\ \Delta G^{\circ} \text{ r 333K} &= (-35,8 \text{ kJ/mol}) - \left(\frac{333}{298} \times 85,74 \text{ kJ/mol}\right) + -8.938,59 \text{ kJ/mol} \\ &\quad - (-2.905,479 \text{ kJ/mol})\end{aligned}$$

$$\Delta G^{\circ} \text{ r 333 K} = -4.550,0233 \text{ kJ/mol}$$

Karena nilai ΔG° r 333 K adalah negatif, maka reaksi berjalan dengan spontan.

2. Proses 2

Nilai ΔG° f masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.11 sebagai berikut :

Tabel 2. 11 Data Nilai ΔG° Komponen pada Proses *Brine and Dolomite*

Komponen	Rumus	ΔG° (kJ/mol)
Magnesium oksida	MgO	-596,3
Asam Sulfat	H ₂ SO ₄	-689,9
Magnesium Sulfat	MgSO ₄	-1170,6
Air	H ₂ O	-237,14
Magnesium Hidroksida	Mg(OH) ₂	-833,7
Magnesium Klorida	MgCl ₂	-591,8
Kalsium Hidroksida	Ca(OH) ₂	-897,5
Kalsium Klorida	CaCl ₂	-816,05
Kalsium oksida	CaO	-603,3
Karbon Dioksida	CO ₂	-394,39
Dolomit	CaCO ₂ .MgCO ₃	0

(Sumber : Perry, 2008)

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ} \text{ r 298 K} &= \Delta G^{\circ} \text{ f produk} - \Delta G^{\circ} \text{ f reaktan} \\ &= [(-596,3 \text{ kJ/mol}) + (-603,3 \text{ kJ/mol}) + (2 \times -394,39 \text{ kJ/mol})] - (0 \\ &\quad \text{kJ/mol})\end{aligned}$$

$$= -1988,38 \text{ kJ/mol}$$

Karena nilai ΔG° r 298 K adalah negatif, maka reaksi berjalan dengan spontan.

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

$$\Delta S^\circ = \Delta S_0^\circ + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T}$$

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

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

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

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

Pada Reaksi 1, Suhu Reaksi 1023 K diperoleh :

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = -485,256 \text{ kJ/mol} \times 8,314 = -4.034,418 \text{ kJ/mol}$$

$$RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} = -0,485256 \times 8,314 \times 1023 = -4.127,21 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^\circ \text{ f } 298\text{K} - \Delta G^\circ \text{ f } 298 \text{ K} = -523,7 \text{ kJ/mol} - (-1988,38 \text{ kJ/mol}) = 1.464,68 \text{ kJ/mol}$$

Pada Reaksi 2, Suhu Reaksi 1023 K diperoleh :

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = 335,715 \text{ kJ/mol} \times 8,314 = 2791,13451 \text{ kJ/mol}$$

$$RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} = 0,335715 \times 8,314 \times 1023 = 2.855,33 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^\circ \text{ f } 298\text{K} - \Delta G^\circ \text{ f } 298 \text{ K} = -28,96 \text{ kJ/mol} - (-57,32 \text{ kJ/mol}) = 28,36 \text{ kJ/mol}$$

Pada Reaksi 3, Suhu Reaksi 1023 K diperoleh :

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = 114,183 \text{ kJ/mol} \times 8,314 = 949,317462 \text{ kJ/mol}$$

$$RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} = 0,114183 \times 8,314 \times 1023 = 971,152 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^\circ \text{ f } 298\text{K} - \Delta G^\circ \text{ f } 298 \text{ K} = -2,09 \text{ kJ/mol} - (673,25 \text{ kJ/mol}) = -675,34 \text{ kJ/mol}$$

Pada Reaksi 4, Suhu Reaksi 1023 K diperoleh :

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = -485,258 \text{ kJ/mol} \times 8,314 = -4034,435012 \text{ kJ/mol}$$

$$RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} = -0,485258 \times 8,314 \times 1023 = -4.127,21 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}_f 298\text{K} - \Delta G^{\circ}_f 298\text{K} = -25,6 \text{ kJ/mol} - (-121,28 \text{ kJ/mol}) = 95,68 \text{ kJ/mol}$$

Jadi, Jumlah Total dari Reaksi 1+2+3+4 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT (\text{rx1+2+3+4}) &= -4.034,418 \text{ kJ/mol} + 2791,13451 \text{ kJ/mol} + \\ &949,317462 \text{ kJ/mol} + (-4034,435012 \text{ kJ/mol}) \\ &= -4.328,40 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} (\text{rx1+2+3+4}) &= -4.127,21 \text{ kJ/mol} + 2.855,33 \text{ kJ/mol} + 971,152 \\ &\text{kJ/mol} + (-4.127,21 \text{ kJ/mol}) \\ &= -4.427,94 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}_f 298\text{K} - \Delta G^{\circ}_f 298\text{K} (\text{rx1+2+3+4}) &= 1.464,68 \text{ kJ/mol} + 28,36 \text{ kJ/mol} + (- \\ &675,34 \text{ kJ/mol}) + 95,68 \text{ kJ/mol} \\ &= 913,38 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Sehingga, diperoleh nilai ΔG°_r 1023 K sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ} &= \Delta H_0^{\circ} - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^{\circ} - \Delta G_0^{\circ}) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}_p}{R} \frac{dT}{T} \\ \Delta G^{\circ}_r 1023\text{K} &= (1.464,68 \text{ kJ/mol}) - \left(\frac{1023}{298} \times 913,38 \text{ kJ/mol}\right) + -4.328,40 \text{ kJ/mol} - \\ &(-4.427,94 \text{ kJ/mol}) \end{aligned}$$

$$\Delta G^{\circ}_r 1023\text{K} = -1.571,31 \text{ kJ/mol}$$

Karena nilai ΔG°_r 1023 K adalah negatif, maka reaksi bersifat spontan.

3. Proses 3

Nilai ΔG°_f masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.12 sebagai berikut :

Tabel 2. 12 Data Nilai ΔG°_f Komponen pada Proses Farnsworth

Komponen	Rumus Molekul	ΔG°_f (kJ/mol)
Karbon dioksida	CO ₂	-394,39
Magnesium Sulfat	MgSO ₄	-1170,6
Air	H ₂ O	-237,14

Magnesium Hidroksida	Mg(OH) ₂	-833,7
Magnesium Karbonat	MgCO ₃	-1012,1
Magnesium	Mg+2	0
Hidrogen Karbonat	HCO ₃ ⁻	-149
Kalsium Sulfat	CaSO ₄	-1309,1
Kalsium Karbonat	CaCO ₃	-1129,1

(Sumber : Perry, 2008)

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}_{r\ 298\ K} &= \Delta G^{\circ}f \text{ produk} - \Delta G^{\circ}f \text{ reaktan} \\ &= [(-1012,1 \text{ kJ/mol}) + (-237,14 \text{ kJ/mol})] - [(-833,7 \text{ kJ/mol}) + (-394,39 \text{ kJ/mol})] \\ &= -21,15 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Karena nilai $\Delta G^{\circ}_{r\ 298\ K}$ adalah negatif, maka reaksi berjalan dengan spontan.

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ}$$

$$\Delta S^{\circ} = \Delta S^{\circ}_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}p}{R} \frac{dT}{T}$$

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

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

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

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

Pada Reaksi 1, Suhu Reaksi 413 K diperoleh :

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}p}{R} dT = -436,979 \text{ kJ/mol} \times 8,314 = -3.633,04341 \text{ kJ/mol}$$

$$RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}p}{R} \frac{dT}{T} = -0,436979 \times 8,314 \times 413 = -1.500,447 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}_{f\ 298\ K} - \Delta G^{\circ}_{f\ 298\ K} &= -285,35 \text{ kJ/mol} - (-21,15 \text{ kJ/mol}) \\ &= -264,2 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Pada Reaksi 2, Suhu Reaksi 413 K diperoleh :

$$R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ}p}{R} dT = -783,911 \text{ kJ/mol} \times 8,314 = -6.517,4361 \text{ kJ/mol}$$

$$RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ} p}{R} \frac{dT}{T} = -0,783911 \times 8,314 \times 413 = -2.691,70 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_f^{\circ} 298\text{K} - \Delta G_f^{\circ} 298\text{K} &= -3,87 \text{ kJ/mol} - (21,5 \text{ kJ/mol}) \\ &= -25,37 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Jadi, Jumlah Total dari Reaksi 1+2 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ} p}{R} dT \text{ (rx1+2)} &= -3.633,04341 \text{ kJ/mol} + (-6.517,4361 \text{ kJ/mol}) \\ &= -3.359,95 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C^{\circ} p}{R} \frac{dT}{T} \text{ (rx1+2)} &= -1.500,447 \text{ kJ/mol} + (-2.691,70 \text{ kJ/mol}) \\ &= \text{kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_f^{\circ} 298\text{K} - \Delta G_f^{\circ} 298\text{K} \text{ (rx1+2)} &= -264,2 \text{ kJ/mol} + (-25,37 \text{ kJ/mol}) \\ &= 1.361,05 \text{ kJ/mol} - 289,57 \end{aligned}$$

Sehingga, diperoleh nilai $\Delta G^{\circ} r$ 413 K sebagai berikut :

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

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ} r \text{ 413 K} &= (-586,36 \text{ kJ/mol}) - \left(\frac{413}{298}\right) \times (-289,57 \text{ kJ/mol}) + -4.192,147 \text{ kJ/mol} - \\ &(-3.995,74 \text{ kJ/mol}) \end{aligned}$$

$$\Delta G^{\circ} r \text{ 413 K} = -1.836,8575 \text{ kJ/mol}$$

Karena nilai $\Delta G^{\circ} r$ 413 K adalah negatif, maka reaksi berjalan dengan spontan.

Tabel 2. 13 Perbandingan Metode Pembuatan Magnesium Sulfat Heptahidrat

Kriteria	Proses I	Proses II	Proses III
Bahan Baku	MgO _(s) dan H ₂ SO _{4(l)}	Ca, Mg(CO ₃) ₂ , Brine dan H ₂ SO ₄	Mg(OH) ₂ dan CaSO ₄
Proses Reaksi	1. Reaksi dengan asam sulfat MgO _(s) + H ₂ SO _{4(l)} → MgSO _{4(l)} + H ₂ O _(l) ΔH _o = -35,8 kJ/mol	1. Kalsinasi Dolomit CaCO ₃ . MgCO ₃ (s) → MgO(s) + CaO(s) + 2 CO ₂ (g)	1. Mg(OH) ₂ (l) + 2 CO ₂ (g) → MgCO ₃ (aq) + H ₂ O(l)

		$\Delta H_f(298) = -523,7$ kJ/mol 2. Pemberian Air (<i>Slaking</i>) $\text{CaO(s)} + \text{MgO(s)} + 2$ $\text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2\text{(aq)}$ $+ \text{Mg(OH)}_2\text{(aq)}$ $\Delta H_f(298) = -28,96$ kJ/mol 3. Pengendapan Mg(OH)_2 $\text{Ca(OH)}_2\text{(aq)} +$ $\text{Mg(OH)}_2\text{(aq)} +$ $\text{MgCl}_2\text{(aq)} \rightarrow 2$ $\text{Mg(OH)}_2\text{(s)} +$ $\text{CaCl}_2\text{(aq)}$ $\Delta H_f(298) = -2,09$ kJ/mol 4. Reaksi dengan asam $\text{Mg(OH)}_2\text{(s)} +$ $\text{H}_2\text{SO}_4\text{(l)} \rightarrow$ $\text{MgSO}_4\text{(l)} + 2$ $\text{H}_2\text{O(l)}$ $\Delta H_f(298) = -25,6$ kJ/mol	2. $\text{Mg}^{+2} \text{(aq)} + 2$ $\text{HCO}_3^- \text{(aq)} \rightarrow$ $\text{MgCO}_3 \text{(l)} + \text{CO}_2$ $\text{(g)} + \text{H}_2\text{O (l)}$ 3. $\text{MgCO}_3\text{(l)} + \text{CaSO}_4$ $\text{(s)} \rightarrow \text{MgSO}_4 \text{(l)} +$ $\text{CaCO}_3 \text{(s)}$
Konversi	Konversi MgSO4 sebesar 98,9 % dari Magnesium Oksida	Hasil kalsinasi magnesium oksida (MgO) dengan persentase sebesar 42% dan kalsium	Konversi MgSO4 sebesar 70% dari Magnesium Oksida

		oksida (CaO) sebesar 58%	
Temperature Reaksi	333 K	1023 K	413 K
Tekanan Operasi	1 atm	1 atm	5 atm
Fasa Reaksi	Cair-Padat	Padat-Cair-Padat	Cair-Padat
Yield	95	91	93
Keuntungan	Rp600.180.000.000	Rp421.353.137.100	Rp194.248.944.540

2.3. Pemilihan Proses

Pada tabel 2.1 yang merupakan perbandingan ketiga proses maka dalam pembuatan *Magnesium Sulfat Heptahidrat* dipilih proses yang 1 yaitu dengan proses netralisasi dengan bahan baku Magnesium Oksida (MgO) dan Asam Sulfat (H₂SO₄) karena prosesnya yang mudah, nilai ekonomis tinggi dan konversi tinggi.

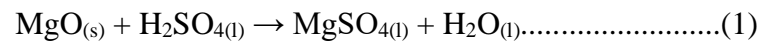
2.4. Uraian Singkat Proses

1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan yaitu Magnesium Oksida (MgO) dan Asam Sulfat (H₂SO₄). Magnesium Oksida (MgO) diperoleh dari PT. UNIKEMIKA Asia Indonesia akan disimpan di Silo (S-101) dan diangkut dengan *Screw conveyor* menuju ke *Rotary Heater* (RH-101) untuk dipanaskan mencapai suhu 60°C dan selanjutnya dimasukkan ke dalam reaktor (RE-201). Untuk Asam Sulfat diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik dengan konsentrasi 98% (v/v). Asam sulfat akan disimpan pada tangki (T-101) dan kemudian dipompakan ke *solution tank* (ST-101) untuk diencerkan menjadi 22% (v/v). Setelah itu asam sulfat dipompakan menuju reaktor (RE-201).

2. Tahap Reaksi

Pada tahap reaksi berlangsung di reaktor CSTR (RE-201) pada suhu 60°C dan tekanan 1 atm. Reaksi pada reaktor (RE-201):

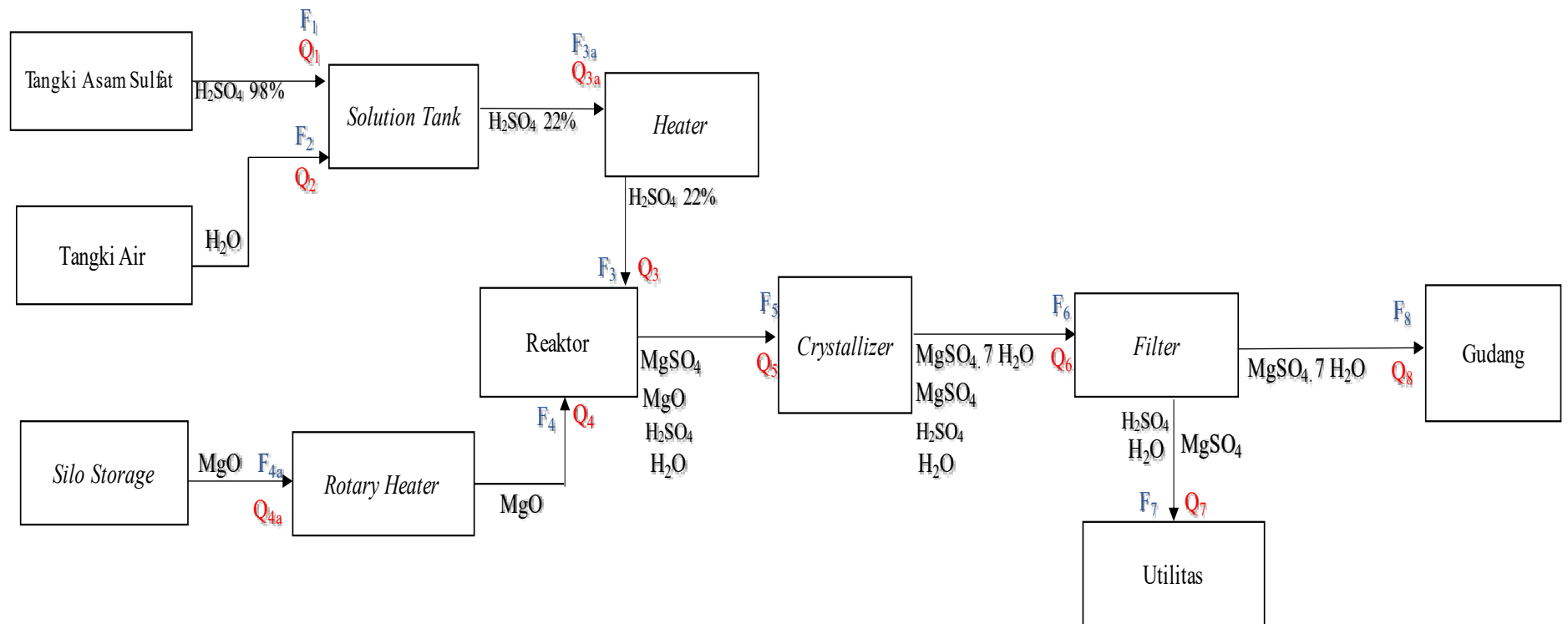


$$\Delta H_0 = -35,8 \text{ kJ/mol}$$

Hasil dari reaktor (RE-201) berupa *slurry* diperoleh konversi 98% MgSO₄.

3. Tahap Pemisahan (*Finishing*)

Hasil dari reaktor (RE-201) yang produk Magnesium Sulfat akan didinginkan di *Crystallizer* (CR-301) untuk membentuk kristal Magnesium Sulfat Heptahidrat. Produk kristal akan disaring di *Belt Conveyor Filter* (BCF-401) untuk memisahkan kristal dari larutan. Setelah itu produk diangkut menuju Silo (S-401) dan diproses dalam unit *packaging* dengan ukuran 25 kg/kantong. Produk yang akan dijual disimpan di Gudang Prosea (WH-501).



Gambar 2. 4 Blok Diagram Pabrik Magnesium Sulfat Heptahidrat

BAB III

SPESIFIKASI BAHAN DAN PRODUK

3.1. Spesifikasi Bahan Baku

3.1.1 Magnesium Oksida

Rumus Molekul	: MgO
Berat Molekul	: 40 gr/mol
Wujud	: Padatan (1 mm - 10 mm)
Warna	: Putih
Titik Leleh	: 2.800 °C pada 1 atm
Titik Didih	: 3.600 °C pada 1 atm
Densitas	: 3,58 g/cm ³
Kapasitas panas	: 0,92885 kJ/mol.K
ΔH_f°	: -143,84 kJ/mol
ΔG_f°	: -596,3 kJ/mol
Konduktivitas Panas	: 60 W/m.K pada 27°C
<i>Aqueous Solubility</i> , g/100ml : 0,00062 (20 °C) ; 0,0086 (30 °C)	

3.1.2 Asam Sulfat

Rumus Molekul	: H ₂ SO ₄
Berat Molekul	: 98 g/mol

Wujud	: Cairan
Warna	: Putih bening
Titik Didih	: 335°C pada 1 atm
Titik Beku	: -20 °C pada 1 atm
Densitas	: 1,834 g/cm ³
Kapasitas panas	: 0,3404 kkal/mol.K
ΔH_f°	: -193,69 kJ/mol
ΔG_f°	: -689,9 kJ/mol
Konduktivitas Panas	: 60 W/m.K pada 27°C
Komposisi	: 98% H ₂ SO ₄ ; 2% H ₂ O

3.1.3 Air

Rumus Molekul	: H ₂ O
Berat Molekul	: 18 g/gmol
Wujud	: Cairan
Warna	: Jernih
Titik Didih, pada 1 atm	: 100 °C
Titik Beku, pada 1 atm	: 0 °C
Densitas	: 0,9997 - 1 g/cm ³
Kapasitas panas, Cp	: 4,192 kJ/kg.K
ΔH_{fo}	: -68,3174 kJ/mol

3.2 Spesifikasi Bahan Pembantu

1. Air

Rumus Molekul	: H ₂ O
Berat Molekul	: 18 g/gmol
Wujud	: Cairan
Warna	: Jernih
Titik Didih, pada 1 atm	: 100 °C
Titik Beku, pada 1 atm	: 0 °C
Densitas	: 0,9997 - 1 g/cm ³
Kapasitas panas, Cp	: 4,192 kJ/kg.K
ΔH_f°	: -68,3174 kJ/mol

2. Ammonia Refrigerant

Rumus molekul	: NH ₃
Berat molekul	: 17 kg/kmol
Wujud	: Gas
Warna	: Tak berwarna
Titik didih	: -33,34 °C (murni, 1 atm)
Titik beku	: -77,73 °C
Temperatur kritis	: 132,6 °C
Tekanan kritis	: 111,2 atm
Densitas	: 681,9 kg/m ³
ΔH_f°	: -11.013 kcal/kmol

ΔG_f° : -91.820 kcal/kmol

3.3 Spesifikasi Produk

Magnesium Sulfat Heptahidrat / Epsom Salt (MgSO₄·7H₂O)

Rumus Molekul	: MgSO ₄ ·7H ₂ O
Berat Molekul	: 246,66 g/mol
Wujud	: Kristal
Warna	: Bening
Sistem Kristal	: <i>Orthorhombic</i>
Ukuran Partikel Produk	: 0,1 – 1,0 mm
Titik Didih	: ± 150 °C pada 1 atm
Densitas	: 1,678 g/cm ³
Indeks Refraksi	: 1,4325; 1,4554; 1,4609
Kapasitas panas, Cp	: 89 kal/mol.K
ΔH_f°	: -304,94 kJ/mol
ΔG°	: -1170,6 kJ/mol

BAB X

KESIMPULAN DAN SARAN

10.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik *Magnesium Sulfat Heptahidrat* dari *Magnesium Oksida* dan *Asam Sulfat* dengan kapasitas 63.000 ton/tahun dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Ditinjau dari segi pengadaan bahan baku, transportasi, pemasaran, dan lingkungan, maka pabrik *Magnesium Sulfat Heptahidrat* direncanakan berdiri di daerah Manyar Sido Mukti, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, Jawa Timur.
2. Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomi, maka pabrik *Magnesium Sulfat Heptahidrat* ini layak untuk didirikan dengan hasil perhitungan analisis ekonomi sebagai berikut :
 - a. *Percent Return on Investment* (ROI) sebelum pajak yaitu 65% dan setelah pajak yaitu 52%
 - b. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak yaitu 1,162 tahun dan 1,41 tahun setelah pajak.

- c. *Break Even Point* (BEP) sebesar 34%, dimana rentang BEP standar antara 31 – 60%. Nilai *Shut Down Point* (SDP) sebesar 23%, yaitu dengan batasan kapasitas produksi tersebut pabrik harus berhenti berproduksi karena jika beroperasi dibawah nilai SDP maka pabrik akan mengalami kerugian
- d. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 46,27%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini daripada ke bank.

10.2. Saran

Pabrik *Magnesium Sulfat Heptahidrat* dari *Magnesium Oksida* dan Asam Sulfat dengan kapasitas 63.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut, baik dari segi proses maupun dari segi ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abou, El-leef. 2012. *Utilization Of Serpentine Ore For Production Of Magnesium Sulphate*. RRP Journals. ACADEMIA
- Alibaba Group. 2022. *Product Price*. <https://indonesian.alibaba.com/g/magnesium-oxide.html>. Diakses pada tanggal 10 Oktober 2022 pukul 19.45WIB.
- Badan Pusat Statistik. 2022. *Statistic Indonesia*. Diakses dari www.bps.go.id pada 25 September 2018 pukul 13.45 WIB.
- Badan Pertanahan Nasional. 2022. *Harga Tanah*. <https://www.atrbpn.go.id/>. Diakses pada 20 Agustus 2022 pukul 10.09 WIB.
- Badger, W.L. and Banchero, J.T. 1957. *Introduction to Chemical Engineering*. McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Bank Indonesia. 2023. *Kurs BI*. (www.bi.go.id). Diakses Januari 2023.
- Brownell, L.E. and Young, E.H. 1979. *Process Equipment Design*, 3 ed. John Wiley & Sons, New York.
- Coulson, J.M. and Richardson, J.F. 1989. *Chemical Engineering*, vol. 6. Pergamon Press Inc, New York.
- Ekmeckyapar, Ahmed, dkk . 1991. *Dissolution Kinetics of Magnesite Ore With Sulfuric Acid Solution*. Department of Chemical Engineering University Malatya, Turkey.

Geankoplis, Christie J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations*. 3th ed.

Allyn and Bacon Inc, New Jersey.

Google LLC. 2022. *Google Maps*. www.googlemaps.com. Diakses pada 3 Agustus 2022 pukul 15.30 WIB.

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

Kementrian Perindustrian Republik Indonesia. 2022. Data Industri. Diakses dari www.kemenperin.go.id/data-inquiry pada 28 Juli 2022.

Kern, Donald Q. 1983. *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill Book Company, New York.

Kirk, R.E and Othmer, D.F. 2005. *Encyclopedia of Chemical Technology*, 4th ed. John Wiley & Sons, New York.

Levenspiel, O. 1972. *Chemical Reaction Engineering*, 2nd Edition. John Wiley and sons Inc, New York.

Mc Cabe, W.L. Smith, J.C. Harriot, P. 1985. *Operasi Teknik Kimia*, jilid 1, edisi ke-4. Erlangga

Megyesy, E. F. 1983. *Pressure Vessel Handbook*. Pressure Vessel Handbook Publishing Inc, USA.

- Mullin, J. W. 2001. *Crystallization*. 4th ed. Emeritus Professor of Chemical Engineering, University of London.
- Perry, R.H. and Green, D. 2008. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. 8th ed. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Peter, M.S. and Timmerhaus, K.D. 1981. *Plant Design and Economic for Chemical Engineers*. 3 ed. McGraw-Hill Book Company, New York
- Rayaprolu, K. 2009. *Boilers for Power and Process*. Taylor & Francis Group. CRC Press.
- Smith, J.M. and Van Ness, H.C. 1975. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. 3 ed. McGraw-Hill Inc, New York
- Smith, J.M. 1981. *Chemical Engineering Kinetics*. 3 ed. McGraw-Hill Book Company, Tokyo.
- Treybal, R.E. 1984. *Mass Transfer Operation*, 3 ed. McGraw-Hill Book Company, Tokyo.
- Ulrich, G.D. 1987. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley & Sons Inc, New York.
- United States Patent and Trademark Office. 2018. Proses Farnsworth Patent US2231327A. www.uspto.gov diakses pada 11 November 2018.
- Wallas, S.M. 1988. *Chemical Process Equipment*. Butterworth Publishers. Stoneham, M.A, USA.

Yaws, C.L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Mc Graw Hill Book Co. New York.