

**PRARANCANGAN PABRIK KALSIMUM KLORIDA DARI KALSIMUM
KARBONAT DAN ASAM KLORIDA DENGAN PROSES
NETRALISASI KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN
(TUGAS KHUSUS REAKTOR ASIDIFIKASI (RE-201))**

(Skripsi)

Oleh:

Valerie Ixion

(1815041043)



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK KALSIMUM KLORIDA DARI KALSIMUM KARBONAT DAN ASAM KLORIDA DENGAN PROSES NETRALISASI KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN

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

Oleh

VALERIE IXION

Kalsium klorida dihidrat menjadi salah satu hasil produk industri kimia yang memiliki banyak fungsi pada berbagai bidang industri, diantaranya: bidang kesehatan, konstruksi, hingga industri makanan. Proses produksi kalsium klorida dapat dilakukan menggunakan proses: netralisasi dan *solway*. Pada prarancangan pabrik kalsium klorida, penyediaan kebutuhan utilitas pabrik meliputi: sistem penyediaan *steam*, udara kering, *cooling water*, dan sistem pembangkit tenaga listrik. Prarancangan pabrik kalsium klorida dirancang berkapasitas 20.000 ton/tahun dengan total 330 hari kerja selama 1 tahun. Pabrik direncanakan berlokasi di Kawasan Industri JIPE, Gresik Jawa Timur dengan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 119 orang. Jenis badan usaha yang dipilih berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan pimpinan tertinggi ada pada jabatan Direktur Utama yang dibantu oleh *General Manager* yang menganut struktur organisasi fungsional.

Melalui hasil analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI) = Rp.346.075.382.052
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI) = Rp83.465.239.924
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI) = Rp.556.434.932.829
<i>Break Even Point</i>	(BEP) = 54,84%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP) = 21,81%
<i>Pay Out Time before Taxes</i>	(POT) _b = 2,05 tahun
<i>Pay Out Time after Taxes</i>	(POT) _a = 2,43 tahun
<i>Return on Investment before Taxes</i>	(ROI) _b = 32,92%
<i>Return on Investment after Taxes</i>	(ROI) _a = 26,34%
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF) = 33%

Mempertimbangkan rangkuman tersebut, maka pendirian pabrik kalsium klorida ini layak untuk dikaji lebih lanjut, baik dari segi proses maupun ekonomi.

Keywords: Kalsium Klorida, Kalsium Karbonat, Asam Klorida, Netralisasi, Ekonomi.

ABSTRACT
**DESIGNING OF CALCIUM CHLORIDE PLANT BASED ON CALCIUM
CARBONATE AND HYDROCHLORIC ACID WITH NEUTRALIZATION
PROCESS CAPACITIES 20.000 TON/YEAR**
(Acidification Reactor Design (RE-201))
By
VALERIE IXION

Calcium chloride dihydrate is one of chemical products that has many functions in several industries, including: health, construction, even the food industry. The production of calcium chloride can be produced through neutralization or solvay process. In this calcium chloride design factory, to fulfill the factories utility needs includes cooling water and steam supply unit, air supply unit, and electrical power generator system. This calcium chloride factory has a capacity design for 20.000 ton/year with 330 days of working in year. The plant is planning located in JIPE Industrial Area, Gresik, Jawa Timur with the total amount of workers is 119 people. The type of business entity for this plant is Limited Liability Company (PT) led by President Director that helps by General Manager which adheres with functional organizational structure.

From the economic analysis, obtained:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI) = Rp.346.075.385.052
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI) = Rp83.465.239.924
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI) = Rp.556.434.932.829
<i>Break Even Point</i>	(BEP) = 54,84%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP) = 21,81%
<i>Pay Out Time before Taxes</i>	(POT) _b = 2,05 tahun
<i>Pay Out Time after Taxes</i>	(POT) _a = 2,43 tahun
<i>Return on Investment before Taxes</i>	(ROI) _b = 32,92%
<i>Return on Investment after Taxes</i>	(ROI) _a = 26,34%
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF) = 33%

Consider by the summary above, then the establishment of calcium chloride factory worth to the studied further both from a process and economic perspectives.

Keywords: Calcium Chloride, Calcium Carbonate, Hydrochloric Acid, Neutrilization, Economic.

**PRARANCANGAN PABRIK KALSIUM KLORIDA DARI KALSIUM
KARBONAT DAN ASAM KLORIDA DENGAN PROSES NETRALISASI
KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN**

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

Oleh

VALERIE IXION (1815041043)

(Skripsi)

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : PRARANCANGAN PABRIK KALSIMUM KLORIDA
DARI KALSIMUM KARBONAT DAN ASAM
KLORIDA DENGAN PROSES NETRALISASI
KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN (Tugas Khusus
Perancangan Reaktor Asidifikasi (RE-201))

Nama Mahasiswa : Valerie Ixion

No. Pokok Mahasiswa : 1815041043

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik



Dr. Eng Dewi Agustina Irvani, S.T., M.T.

Dr. Irlis Hermida, S.T., M.Sc.

NIP. 19720825 200003 2 001

NIP. 19690208 199702 2 005

Ketua Jurusan Teknik Kimia

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

NIP. 19740712 200003 2 001

MENGESAHKAN

Tim Penguji

Ketua : Dr. Eng. Dewi Agustina I., S.T., M.T.

Sekretaris : Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc.

Penguji

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

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

Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung


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

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 10 November 2023



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam pengerjaan dan penulisan skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain terkecuali yang tertulis diacu dalam naskah ini sebagai mana tercantum pada daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia untuk dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, November 2023


Arieh Ixion
NPM. 1815041043

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta, 1 Januari 2000 sebagai anak kedua dari pasangan Bapak Barneth Manurung dan Ibu Engelin Effi Yanti. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Bhayangkari, Jakarta Barat pada tahun 2006, Sekolah Dasar di SDN Kedoya Utara 01 Pagi, Keb. Jeruk, Jakarta pada tahun 2012, SMP Negeri 89 Jakarta pada tahun 2015, serta Sekolah Menengah Atas 17 Jakarta pada tahun 2018.

Pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai Mahasiswi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN 2018. Selama menjadi mahasiswi, penulis aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan, diantaranya: Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia FT Unila sebagai Staff Departemen Kaderisasi (2019/2020) dan Sekretaris Departemen Kaderisasi Periode 2020, Anggota Pengurus Div. Hubungan Masyarakat Unit Kegiatan Mahasiswa Kristen Periode 2021. Pada tahun 2022 Penulis berkesempatan untuk mempresentasikan artikel ilmiah secara langsung pada acara *SEE Conference 2022* yang diselenggarakan di Bangkok, Thailand.

Penulis pada tahun 2021 melakukan Kerja Praktik di PT. Kalirejo Lestari, Kalirejo, Lampung Tengah dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja *Reverse Osmosis* pada *Water Treatment Plant* Sebagai Air Umpan *Boiler*” dan melakukan penelitian dengan judul “Pembuatan Katalis Padat Menggunakan *Re-Activated Bleaching Earth* (RBE) *Bentonite KOH*”.

PERSEMBAHAN

Ku persembahkan tugas akhir-ku terkhusus untuk Kemuliaan Tuhan Yesus Kristus dan juga keluarga kecil-ku tercinta (Papa Sahat Ricat Gultom, Mama Engelin Effi Yanti, Cici Venessa Ixion, Kedua adik Bubblelonia van Brownie dan Blueue).

MOTTO

**“Ya Tuhan, Allah Abraham, Ishak dan Isarel, bapa-bapa kami,
peliharalah untuk selama-lamanya kecenderungan hati umat-Mu yang
demikian ini dan tetaplah tujukan hati mereka kepada-Mu”**

(1 Tawarikh 29:18)

“Do the best, and I know God will do the rest for His child”

SANWACANA

Puji dan Syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Prarancangan Pabrik Kalsium Klorida dari Kalsium Karbonat dan Asam Klorida Dengan Proses Netralisasi Kapasitas 20.000 Ton/Tahun”.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar strata satu (S-1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung. Pada penyusunan Tugas Akhir ini, banyak pihak yang telah membantu penulis terkait sarana dan prasarana, kesempatan, petunjuk, informasi, bimbingan, dan lainnya. Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus karena berkat, penyertaan, kekuatan dari-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Teknik Kimia Universitas Lampung.
2. Papa, Mama, Cici, Bubble, Blueue, serta keluarga lainnya yang telah memberikan *suport* melalui doa, materil, bahkan kesediaan untuk selalu ada bagi penulis. Terima kasih untuk segala sesuatu yang sudah diberikan sehingga dapat mengiringi setiap langkah perjuangan penulis.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.
5. Ibu. Dr. Eng Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir dan Penelitian Penulis. Terima kasih untuk ilmu, arahan, bimbingan, serta kesempatan yang diberikan kepada saya hingga dapat menganggap Ibu sebagai ibu kandung di jurusan.

6. Ibu Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan kesempatan untuk bimbingan, arahan, serta ilmu selama penyelesaian tugas akhir.
 7. Bapak Prof. Dr. Joni Agustian, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan kritik dan saran atas penyelesaian tugas akhir ini.
 8. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran atas penyelesaian tugas akhir ini.
 9. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Lampung, atas segala ilmu yang telah diberikan selama menjalani proses perkuliahan.
 10. Semua orang terdekatku: Rheinanda Rachma Pangestu, Siti Fitriyani Lubis, Bram Gilbert, Ashilla Utari, Ristiany January, dan Salma Shakira yang ikhlas mendengar keluh kesah dan setia mendukung penulis.
 11. Kakak-kakak dan adik-adik dari jurusan Teknik Kimia Unila yang mau mengayomi, memberi bantuan, menemani, serta menghibur selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
 12. Semua teman-teman angkatan 2018, terima kasih atas segala bantuan, kebersamaan, *ups and downs* selama menyelesaikan studi dan kepengurusan di Teknik Kimia tercinta.
- Kiranya Tuhan Yang Maha Esa yang membalas setiap kebaikan mereka terhadap penulis dan skripsi ini dapat berguna di kemudian hari.

Bandar Lampung, November 2023

Valerie Ixion

DAFTAR ISI

COVER	i
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kegunaan Produk	2
1.3 Ketersediaan Bahan Baku.....	6
1.4 Analisis Pasar	6
1.5 Lokasi Pabrik.....	10
BAB II DESKRIPSI PROSES	15
2.1 Jenis-Jenis Proses	16
2.2 Pemilihan Proses	19
2.2.1 Proses <i>Solvay</i> (Proses I)	20
2.2.2 Proses Netralisasi (Proses II)	32
2.3 Uraian Proses.....	47
2.3.1 Deskripsi Proses	47
2.4 Tinjauan Kinetika	50
BAB III SPESIFIKASI BAHAN BAKU & PRODUK	53
3.1. Bahan Baku	53
3.1.1 Kalsium Karbonat	53
3.1.2 Asam Klorida	55

3.1.3	Kalsium Hidroksida	56
3.2	Produk	58
3.3.1	Kalsium Klorida Dihidrat.....	58
BAB IV	NERACA MASSA DAN PANAS	60
4.1	Neraca Massa	61
4.2	Neraca Panas	67
BAB V	SPESIFIKASI ALAT PROSES DAN UTILITAS	73
5.1	Spesifikasi Alat Proses	73
5.2	Spesifikasi Alat Utilitas.....	117
BAB VI	UNIT UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....	134
6.1	Unit Pendukung Proses	134
6.2	Unit Pengolahan Limbah.....	144
6.3	Laboratorium	145
6.4	Instrumentasi dan Pengendalian Proses	148
BAB VII	LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK.....	150
7.1	Lokasi Pabrik.....	150
7.2	Tata Letak Pabrik	155
7.3	Estimasi Area Pabrik	157
BAB VIII	MANAJEMEN DAN ORGANISASI	162
8.1	Bentuk Perusahaan	162
8.2	Struktur Organisasi Perusahaan.....	164
8.3	Tugas dan Wewenang	169
8.4	Status Karyawan dan Sistem Penggajian	180
8.5	Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	181

8.6 Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan	181
8.7 Kesejahteraan Karyawan.....	184
BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....	188
9.1. Investasi.....	188
9.2. Evaluasi Ekonomi.....	193
9.3. Angsuran Pinjaman	197
9.4. <i>Discounted Cash Flow</i> (DCF).....	197
BAB X KESIMPULAN DAN SARAN.....	199
10.1 Kesimpulan.....	199
10.2 Saran.....	199
DAFTAR PUSTAKA	200

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Data Impor Kalsium Klorida di Indonesia.....	7
Gambar 1. 2. Rencana Lokasi Pabrik Produksi Kalsium Klorida	10
Gambar 2. 1. Pembuatan CaCl_2 dengan Proses Solvay.....	16
Gambar 2. 2. Pembuatan CaCl_2 dengan Proses Netralisasi	19
Gambar 2. 3. Diagram Alir Proses Produksi CaCl_2	47
Gambar 5. 1. Tangki Penyimpanan Kalsium Karbonat (SS-101)	74
Gambar 5. 2. Screw Conveyor	76
Gambar 5. 3. Bucket Elevator	77
Gambar 5. 4. Tangki Penyimpanan Asam Klorida (ST-101).....	82
Gambar 5. 5. Centrifugal Pump.....	83
Gambar 5. 6. Desain Reaktor Asidifikasi (RE-201).....	86
Gambar 5. 7. Double pipe Exchanger.....	88
Gambar 5. 8. Tangki Pengenceran Kalsium Hidroksida (DT-101).....	91
Gambar 5. 9. Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RE-202)	95
Gambar 5. 10. Mekanisme Rotary Drum Vacuum Filter	98
Gambar 5. 11. Vertical Short Tube Evaporator.....	100
Gambar 5. 12. Agitated crystallizer.....	103
Gambar 5. 13. Helical conveyor centrifuge.....	106
Gambar 5. 14. Troughed Belt on 20° Idlers	107
Gambar 5. 15. Double Pipe Exchanger	108

Gambar 5. 16. Rotary Dryer	110
Gambar 5. 17. Tangki Penyimpanan Kalsium Klorida (SS-401).....	113
Gambar 5. 18. Troughed Belt on 20° Idlers	114
Gambar 5. 19. Cyclone (Dust Collector).....	116
Gambar 6. 1. Cooling Tower.....	142
Gambar 7. 1. Peta Provinsi Jawa Timur Kabupaten Gresik.....	159
Gambar 7. 2. Kawasan Industri JIPE Provinsi Jawa Timur Kabupaten Gresik	159
Gambar 7. 3. Tata Letak Alat Proses.....	160
Gambar 7. 4. Tata Letak Pabrik dan Fasilitas Pendukung.....	161
Gambar 8. 1. Skema Struktur Organisasi Perusahaan.....	168
Gambar 9. 1. Grafik Analisa Ekonomi.....	196
Gambar 9. 2. Kurva Cummulative Cash Flow	197

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Data Impor Kalsium Klorida di Indonesia	7
Tabel 1. 2. Data Industri Produksi Kalsium Klorida di Dunia	8
Tabel 1. 3. Data Impor Kalsium Klorida di Indonesia	9
Tabel 1. 4. Data Industri Konsumsi Kalsium Klorida di Indonesia	12
Tabel 2. 1. Harga Bahan Baku dan Produk Proses Solvay.....	20
Tabel 2. 2. Nilai $\Delta H_{(F\ 298K)}$ dari Komponen Proses Netralisasi pada Suhu 25°C (298,15 K)	24
Tabel 2. 3. Nilai konstanta C_p (kJ/mol.K)	26
Tabel 2. 4. Nilai ΔG_{298K} dari Komponen Proses Netralisasi pada Suhu 25°C (298,15 K)	28
Tabel 2. 5. Nilai konstanta C_p (kJ/mol.K)	30
Tabel 2. 6. Harga Bahan Baku dan Produk Proses Netralisasi.....	32
Tabel 2. 7. Nilai $\Delta H_{(F\ 298K)}$ dari Komponen Proses Netralisasi pada Suhu 25°C (298,15 K)	38
Tabel 2. 8. Nilai konstanta C_p (kJ/mol.K)	39
Tabel 2. 9. Nilai ΔG_{298K} dari Komponen Proses Netralisasi pada Suhu 25°C (298,15 K)	42
Tabel 2. 10. Nilai konstanta C_p (kJ/mol.K)	43
Tabel 2. 11. Perbandingan Proses.....	46
Tabel 4. 1. Neraca Massa Reaktor Asidifikasi (RE-201)	61
Tabel 4. 2. Neraca Massa Dillution Tank (DT-101)	62

Tabel 4. 3. Neraca Massa Reaktor Netralisasi (RE-202)	62
Tabel 4. 4. Neraca Massa Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF-301)	63
Tabel 4. 5. Neraca Massa Evaporator (EV-301)	63
Tabel 4. 6. Neraca Massa Crystallizer (CR-301)	64
Tabel 4. 7. Neraca Massa Centrifuge (CF-301)	64
Tabel 4. 8. Neraca Massa Mix Point (MP-301)	65
Tabel 4. 9. Neraca Massa Evaporator (EV-301) Recycle	65
Tabel 4. 10. Neraca Massa Crystallizer (CR-301) Recycle.....	66
Tabel 4. 11. Neraca Massa Centrifuge (CF-301) Recycle.....	66
Tabel 4. 12. Neraca Massa Rotary Dryer (RD-301).....	67
Tabel 4. 13. Neraca Energi Reaktor Asidifikasi (RE-201).....	67
Tabel 4. 14. Neraca Energi Dissolution Tank (DT-101).....	68
Tabel 4. 15. Neraca Energi Heater (HE-201).....	68
Tabel 4. 16. Neraca Energi Heater (HE-101).....	68
Tabel 4. 17. Neraca Energi Reaktor Netralisasi (RE-202)	69
Tabel 4. 18. Neraca Energi Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF-301).....	69
Tabel 4. 19. Neraca Energi Evaporator (EV-301).....	70
Tabel 4. 20. Neraca Energi <i>Crystallizer</i> (CR-301).....	70
Tabel 4. 21. Neraca Energi Centrifuge (CF-301).....	70
Tabel 4. 22. Neraca Energi <i>Mix Point</i> (MP-301)	71
Tabel 4. 23. Neraca Energi Evaporator (EV-301) Recycle	71
Tabel 4. 24. Neraca Energi Crystallizer (CR-301) Recycle	71
Tabel 4. 25. Neraca Energi Centrifuge (CF-301) Recycle	72

Tabel 4. 26. Neraca Energi Rotary Dryer (RD-301)	72
Tabel 4. 27. Neraca Energi Heater (HE-301)	72
Tabel 5. 1. Spesifikasi Tangki Kalsium Karbonat (SS - 101)	74
Tabel 5. 2. Spesifikasi Screw Conveyor (SC-101).....	76
Tabel 5. 3. Spesifikasi Bucket Elevator CaCO ₃ (BE-101)	78
Tabel 5. 4. Spesifikasi Hopper (H-101)	79
Tabel 5. 5. Spesifikasi Bucket Elevator Ca(OH) ₂ (BE-102)	79
Tabel 5. 6. Spesifikasi Hopper (H-102)	80
Tabel 5. 7. Spesifikasi Tangki Asam Klorida (ST - 101).....	82
Tabel 5. 8. Spesifikasi Pompa Proses (PP-101)	84
Tabel 5. 9. Spesifikasi Reaktor Asidifikasi (RE-201).....	86
Tabel 5. 10. Spesifikasi Pompa Proses (PP-201)	87
Tabel 5. 11. Spesifikasi Heater (HE-201).....	88
Tabel 5. 12. Spesifikasi Tangki Kalsium Hidroksida (SS-102)	89
Tabel 5. 13. Spesifikasi Screw Conveyor (SC-102).....	89
Tabel 5. 14. Spesifikasi Pompa Proses (PP-102)	90
Tabel 5. 15. Spesifikasi Tangki Pengenceran Kalsium Hidroksida (DT-101).....	91
Tabel 5. 16. Spesifikasi Pompa Proses (PP-103)	92
Tabel 5. 17. Spesifikasi Heater (HE-101).....	94
Tabel 5. 18. Spesifikasi Reaktor Netralisasi (RE-202).....	96
Tabel 5. 19. Spesifikasi Pompa Proses (PP-202)	97
Tabel 5. 20. Spesifikasi Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF-301).....	98
Tabel 5. 21. Spesifikasi Pompa Proses (PP-301)	99

Tabel 5. 22. Spesifikasi Evaporator (EV-301)	101
Tabel 5. 23. Spesifikasi Pompa Proses (PP-302)	102
Tabel 5. 24. Spesifikasi Crystallizer (CR – 301).....	104
Tabel 5. 25. Spesifikasi Pompa Proses (PP-303)	105
Tabel 5. 26. Spesifikasi Centrifuge (CF – 301).....	106
Tabel 5. 27. Spesifikasi Belt Conveyor (BC – 301).....	107
Tabel 5. 28. Spesifikasi Pompa Proses (PP-304)	108
Tabel 5. 29. Spesifikasi Heater Udara (HE–301).....	109
Tabel 5. 30. Spesifikasi rotary dryer (RD-301).....	110
Tabel 5. 31. Spesifikasi Screw Conveyor (SC-401).....	111
Tabel 5. 32. Spesifikasi Tangki Kalsium Klorida Dihidrat (SS-401).....	113
Tabel 5. 33. Spesifikasi Belt Conveyor (BC– 401).....	114
Tabel 5. 34. Spesifikasi Gudang Penyimpanan Produk $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (WH-401).....	115
Tabel 5. 35. Spesifikasi Cyclone (Dust Collector) (CC-401).....	116
Tabel 5. 36. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-101)	117
Tabel 5. 37. Spesifikasi Tangki Demineralized Water (ST-101).....	118
Tabel 5. 38. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-102)	118
Tabel 5. 39. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-103)	119
Tabel 5. 40. Spesifikasi Domestic Water Tank (DW-101)	119
Tabel 5. 41. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-104)	120
Tabel 5. 42. Spesifikasi Hydrant Water Tank (DW-101).....	120
Tabel 5. 43. Spesifikasi Hot Basin (HB-101).....	121
Tabel 5. 44. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-105)	121

Tabel 5. 45. Spesifikasi Storage Tank Dispersant (ST-102)	122
Tabel 5. 46. Spesifikasi Storage Tank Inhibitor (ST-103)	122
Tabel 5. 47. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-106)	123
Tabel 5. 48. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-107)	123
Tabel 5. 49. Spesifikasi Cooling Tower (CT-101)	124
Tabel 5. 50. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-108)	124
Tabel 5. 51. Spesifikasi Cold Basin (CB-101)	125
Tabel 5. 52. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-109)	125
Tabel 5. 53. Spesifikasi Storage Tank Hydrazine (ST-104).....	125
Tabel 5. 54. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-110)	126
Tabel 5. 55. Spesifikasi Deaerator (DA-101).....	127
Tabel 5. 56. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-111)	127
Tabel 5. 57. Spesifikasi Boiler (BO-101).....	128
Tabel 5. 58. Spesifikasi Steam Blower (SB-101).....	128
Tabel 5. 59. Spesifikasi Blower Udara (BU-101)	129
Tabel 5. 60. Spesifikasi Cyclone (CC-101).....	129
Tabel 5. 61. Spesifikasi Air Dryer (AD – 501)	130
Tabel 5. 62. Spesifikasi Air Compresor (AC-101).....	130
Tabel 5. 63. Spesifikasi Blower Udara (BU-102)	131
Tabel 5. 64. Spesifikasi Blower Udara (BU-103)	131
Tabel 5. 65. Spesifikasi Blower Udara (BU-104)	132
Tabel 5. 66. Spesifikasi Generator (GS-104)	132
Tabel 5. 67. Spesifikasi Tangki Penyimpanan BBM (ST–105).....	133

Tabel 5. 68. Spesifikasi Bak Limbah (BL-101)	133
Tabel 6. 1. Parameter Air Sanitasi.....	137
Tabel 6. 2. Kebutuhan Air Proses.....	139
Tabel 6. 3. Kebutuhan Air Pendingin.....	140
Tabel 6. 4. Kebutuhan Air Umpan Boiler	143
Tabel 6. 5. Alat Ukur Pengendalian Variabel Utama Proses	149
Tabel 7. 1. Estimasi Luas Bangunan Pabrik	158
Tabel 8. 1. Skema Jadwal Kerja Tiap Shift	183
Tabel 8. 2. Rincian Prasyarat Jabatan Perusahaan	181
Tabel 8. 3. Jumlah Karyawan Unit Proses	182
Tabel 8. 4. Jumlah operator pada unit utilitas	183
Tabel 8. 5. Rincian Jumlah Karyawan Perusahaan	183
Tabel 9. 1. Fixed Capital Investment.....	189
Tabel 9. 2. Manufacturing Cost.....	191
Tabel 9. 3. General Expenses	192
Tabel 9. 4. Biaya Administratif.....	192
Tabel 9. 5. Minimum Acceptable Percent Return on Investment	194
Tabel 9. 6. Acceptable Pay Out Time untuk Tingkat Resiko Pabrik	195
Tabel 9. 7. Hasil Uji Kelayakan Ekonomi.....	198

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia menjadi negara yang masuk dalam kategori negara berkembang. Disamping itu, Indonesia terkenal pula menjadi negara yang memiliki wilayah lautan serta daratan penghasil sumber daya alam yang melimpah. Tentu hal tersebut menjadikan negara Indonesia perlu melaksanakan pengembangan dan pembangunan di berbagai sektor industri. Industri merupakan salah satu sektor bidang usaha yang bergerak untuk mengolah barang mentah (bahan baku) menjadi produk setengah jadi ataupun menjadi produk yang memiliki kualitas bermutu tinggi dalam penggunaannya dan memiliki nilai tambah. Walaupun sudah banyak jumlah industri yang mengolah produk guna memenuhi kebutuhan dalam negeri, namun masih ada kebutuhan masyarakat yang dapat terpenuhi dengan cara mengimpor barang tersebut dalam jumlah yang besar. Salah satu produk yang hingga saat ini masih banyak diimpor dari negara lain adalah kalsium klorida (CaCl_2).

Kebutuhan produk kalsium klorida (CaCl_2) di Indonesia semakin meningkat dikarenakan banyaknya industri yang memerlukan produk tersebut, contohnya: pada industri farmasi, pengolahan *pulp* dan kertas, serta pada industri makanan. Namun, hingga tahun 2022 untuk memenuhi kebutuhan kalsium klorida dalam

negeri pemerintah Indonesia masih mengimpor produk tersebut dari negara lain karena belum adanya industri pengolahan yang memproduksi kalsium klorida dalam negeri. Dengan meningkatnya kebutuhan dalam negeri setiap tahunnya, maka pendirian pabrik kalsium klorida di Indonesia sangat berpotensi untuk meningkatkan dan menyokong pertumbuhan ekonomi negara yang juga dapat memperluas lapangan kerja bagi masyarakat Indonesia.

Produk kalsium klorida dapat dihasilkan dari bahan baku batu kapur (*limestone*) yang kandungan paling besarnya kalsium karbonat (CaCO_3) dengan penambahan asam klorida (HCl). Batu kapur atau yang memiliki nama lain batu gamping merupakan batuan sedimen organik yang tersusun oleh kalsium karbonat dalam bentuk mineral kalsit. Kandungan yang terdapat dalam batu kapur setidaknya 50% kalsium karbonat, baru setelahnya terbagi menjadi beberapa mineral seperti: kuarsa, feldspar, mineral lempung, dan lain sebagainya. Sedangkan kalsium karbonat merupakan salah satu bahan dari galian industri non logam yang dapat digunakan untuk pembuatan kalsium klorida karena CaCO_3 mengandung kalsium dengan kadar yang sangat tinggi (sekitar 98-99%). Jumlah bahan baku CaCO_3 di Indonesia tersedia dengan jumlah yang melimpah dan tersebar hampir secara merata di seluruh Indonesia. Daerah dengan ketersediaan batuan kalsium karbonat terbesar terletak di Sumatera Barat, Jawa Timur, Kalimantan Tengah, dan Kalimantan Timur.

1.2 Kegunaan Produk

Produk kalsium klorida (CaCl_2) merupakan salah satu jenis garam yang terdiri dari unsur kalsium (Ca) dan klorin (Cl_2). Sebagai salah satu produk garam, kalsium klorida memiliki beragam macam kegunaan diantaranya: sebagai zat

pencair es (*de-icing*) dan penekanan titik beku, sebagai zat pengering (*dessicant*), sebagai zat aditif dalam industri makanan, dapat digunakan untuk mengendalikan debu, dan sebagai sumber ion kalsium (Othmer., (1992)).

Di Indonesia, produk kalsium klorida berguna pada berbagai sektor bidang diantaranya: industri makanan, pemrosesan plastik, pipa, dan semen sebanyak 20%, sektor sipil untuk mengendalikan debu jalanan sebanyak 20%, industri minyak dan gas dalam proses pengeboran sebanyak 10%, pada industri terkait yang membutuhkan zat pencair es sebanyak 40%, sektor pembangunan guna membuat beton sebanyak 5%, dan kegunaan lain-lainnya sebanyak 5% (Asia Chemical., (2022)).

Berikut beberapa fungsi dari kalsium klorida dengan penjelasannya berdasarkan Othmer., (1992):

1. Pencair Es (*De-icing*)

Kalsium klorida biasanya digunakan untuk mengurangi dan mencairkan es maupun salju. Selain itu kalsium klorida juga digunakan bersamaan dengan produk lain untuk mencairkan trotoar jalan dan jalan kendaraan. Kalsium klorida dalam bentuk pellet (tingkat kemurnian 94-97%) dan dalam bentuk bubuk (kemurnian 77-80%) biasa digunakan untuk mencairkan es di jalan raya dan di pasar masyarakat. Sedangkan untuk larutan kalsium klorida (berkonsentrasi 28-32%) biasa digunakan untuk membasahkan batu garam ataupun ampelas (seperti pasir ataupun abu) sebelum disebarkan di jalan raya. Kalsium klorida menjadi bahan pencair es yang tepat digunakan pada suhu <- 6,7°C.

2. Dalam Industri Makanan

Pada industri makanan, terdapat beberapa fungsi penggunaan kalsium klorida, yaitu:

- a. Digunakan dalam pengolahan pembuatan keju untuk membantu proses koagulasi serta berfungsi untuk menggantikan kalsium yang hilang dalam proses pasteurisasi.
- b. Dalam industri makanan kaleng, kalsium klorida digunakan untuk mengawetkan kulit buah-buahan seperti tomat, mentimun, dan cabai-cabaian.
- c. Kalsium klorida digunakan pada proses pembuatan bir untuk mengontrol karakteristik garam mineral dalam air. Dalam jenis bir tertentu, kalsium klorida juga menjadi komponen dasar produk tersebut.

3. Pemas, Stabilisasi Tanah, dan Pengontrol Debu

Penggunaan kalsium klorida awal mulanya untuk mengendalikan debu dan stabilisasi dasar jalan dari jalan kerikil yang tidak beraspal. Kalsium klorida berbentuk kering ataupun larutan dapat digunakan secara langsung maupun dicampur dengan agregat. Jika agregat dicampur dengan kalsium klorida dalam bentuk padat ataupun larutan, keberadaan kalsium klorida dapat menarik uap air sehingga akan mengikat partikel halus dalam matriks agregat.

Cara kerja kalsium klorida sebagai pengontrol debu ialah ketika larutan CaCl_2 disemprot pada permukaan jalan yang berdebu, larutan tersebut akan menyerap kelembaban dari atmosfer dan mengikat partikel debu serta menjaga

permukaan jalan tetap lembab. Fungsi kalsium klorida dapat mengkondisikan debu pada permukaan sehingga akan membentuk permukaan jalan yang padat. Pada fungsinya menjadi pengontrol debu kalsium klorida tidak menguap, sehingga kondisi bebas debu ini dapat bertahan dalam jangka waktu yang cukup lama.

4. Dalam Bidang Konstruksi

Kalsium klorida dapat menjadi akselerator/mempercepat waktu pengerasan dalam beton siap pakai sehingga memberikan peningkatan kekuatan dalam waktu yang singkat. Namun, sifat kalsium klorida ini bukan sifat anti-beku, tetapi ketika menggunakannya saat cuaca dingin (tidak panas) dapat membuat prosesnya pengerasan berjalan lebih cepat atau tepat waktu.

5. Dalam Bidang Minyak dan Gas

Dalam industri perminyakan, kalsium klorida memiliki dua kegunaan yaitu: sebagai bahan utama dalam bentuk larutan garam yang digunakan dalam proses penyelesaian ataupun penyempurnaan dalam suatu kubangan, sedangkan kegunaan lainnya ialah sebagai air garam dalam lumpur minyak.

6. Dalam Bidang Lainnya

Kalsium klorida memiliki beberapa fungsi penggunaan lainnya, salah satunya ialah dapat berperan sebagai humektan (suatu zat higroskopis yang berfungsi

untuk menjaga kelembaban) pada industri perekat. Untuk pakan ternak, kalsium klorida dapat berfungsi sebagai sumber kalsium. Dalam pembuatan bahan kimia dan plastik, dapat berfungsi untuk pengendapan anorganik yang tidak larut.

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama yang digunakan dalam produksi pembuatan CaCl_2 adalah kalsium karbonat (CaCO_3) dan asam klorida (HCl). Bahan baku proses produksi kalsium karbonat didapatkan dari PT. Sinar Asia Fortuna yang terletak di Tuban, Indonesia dengan kapasitas produksi 412.000 ton/tahun. Sedangkan untuk bahan baku asam klorida (HCl) diperoleh dari PT. Asiamarco Pacific Indonesia yang terletak di Surabaya, Indonesia dengan kapasitas produksi 65.000 ton/tahun. Mengingat ketersediaan bahan baku yang memadai dan kebutuhan kalsium klorida yang besar, maka pembangunan pabrik kalsium klorida di Indonesia menjadi prospek yang menjanjikan.

1.4 Analisis Pasar

Dalam merancang suatu pabrik tentunya perlu diketahui kapasitas produksi yang ingin dijalani. Kapasitas produksi suatu pabrik menjadi satu hal yang perlu dipertimbangkan karena semakin besar peluang kapasitas produksi dari suatu pabrik, maka pabrik yang didirikan akan semakin menguntungkan. Berikut beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam merancang kapasitas suatu pabrik:

1. Data Impor

Bahan kalsium klorida yang diperlukan guna memenuhi kebutuhan di negara Indonesia masih didapatkan dengan cara mengimpor dari negara lain. Berikut data impor kalsium klorida di Indonesia:

Tabel 1. 1. Data Impor Kalsium Klorida di Indonesia

Tahun	Tahun Ke-	Jumlah Impor Produk (ton)
2017	1	6.141,824
2018	2	6.907,945
2019	3	8.677,010
2020	4	8.112,765
2021	5	11.876,181
2022	6	11.288,96
TOTAL		53.004,69

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2023)



Gambar 1. 1. Data Impor Kalsium Klorida di Indonesia

Berdasarkan **Gambar 1.1** didapatkan persamaan Y dengan menggunakan metode regresi linear. Dikarenakan data yang diperoleh memiliki nilai yang saling berdekatan, maka asumsi kebutuhan produk kalsium klorida di Indonesia dapat dicari menggunakan nilai y dari persamaan tersebut. Sehingga asumsi kebutuhan kalsium klorida di Indonesia pada tahun 2030 sebesar:

$$Y = 1.145X + 4.826,5$$

Dimana nilai X adalah jumlah tahun dari data jumlah impor awal kalsium klorida yang diambil hingga tahun prediksi tahun pabrik akan dibangun (pada tahun 2030). Sehingga nilai X = dari tahun 2017-2030 = 14 tahun.

Maka nilai Y:

$$Y = 1.145(14) + 4.826,5$$

$$Y = 16.030 + 4.826,5$$

$$Y = 20.856,5 \text{ ton}$$

Tabel 1. 2. Data Industri Produksi Kalsium Klorida di Dunia

Nama Pabrik	Kapasitas produksi (ton/tahun)
IDEA Soda Ash and Calcium Chloride, Saudi Arabia	300.000
Sinochem Holdings	170.000
Bertrams Chemical Plants Ltd.	28.000
Zirax Limited London, UK	132.000

5. Kapasitas Rancangan

Berikut tabel perhitungan asumsi kenaikan kebutuhan impor setiap tahunnya:

Tabel 1. 3. Data Impor Kalsium Klorida di Indonesia

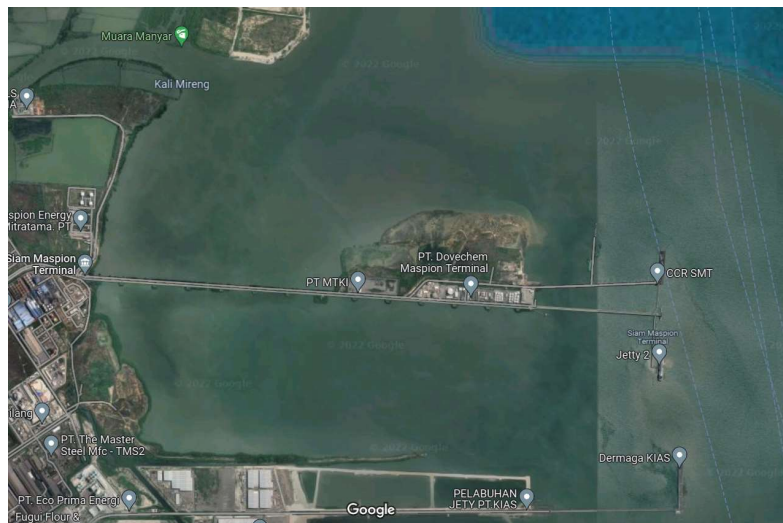
Tahun	Jumlah Impor Produk (ton)*
2023	11.966,30
2024	12.684,28
2025	13.445,33
2026	14.252,05
2027	15.107,18
2028	16.013,61
2029	16.974,42
2030	17.992,89

Sehingga berdasarkan data analisa pasar nilai impor kebutuhan kalsium klorida yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik serta persamaan regresi linear yang nilainya tidak jauh berbeda, maka didapatkan pembuatan pabrik kalsium klorida pada tahun 2030 yang berbahan baku CaCO_3 dan HCl ini ditargetkan memiliki kapasitas sebesar 20.000 ton/tahun.

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, kapasitas rancangan pabrik dari kalsium klorida yang akan didirikan sebesar 20.000 ton/tahun. Bahan baku kalsium karbonat yang diperoleh dari PT. Omya Indonesia, Sidoarjo memiliki kapasitas produksi 442.000 ton/tahun. Sedangkan bahan baku asam klorida (HCl) diperoleh dari PT. Asiamarco Pacific, Surabaya memiliki kapasitas produksi 65.000 ton/tahun sehingga kebutuhan bahan baku masih dapat terpenuhi.

1.5 Lokasi Pabrik

Dalam menentukan lokasi pembangunan pabrik produksi kalsium klorida, tentunya ada beberapa parameter pendukung yang memiliki pengaruh terhadap keberhasilan perusahaan. Berdasarkan tinjauan dari beberapa faktor tersebut, maka lokasi pabrik yang dipilih ialah di Gresik, Jawa Timur. Berikut beberapa faktor yang dapat menjadi acuan dalam mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik (Peter & Timmerhaus., (1991)):



Gambar 1. 2. Rencana Lokasi Pabrik Produksi Kalsium Klorida

Sumber: (www.maps.google.com)

1. Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan untuk memproduksi kalsium klorida adalah kalsium karbonat (CaCO_3) yang diambil dari PT. Omya Indonesia dengan kapasitas 442.000 ton/tahun, asam klorida (HCl) yang diambil dari PT. Asiamarco Pacific Indonesia dengan kapasitas produksi 65.000 ton/tahun serta

bahan baku kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang diambil dari PT. Niraku Jaya Abadi. Dikarenakan lokasi produsen bahan baku berada dalam satu provinsi (dekat) satu dengan lainnya, maka lokasi pendirian pabrik di daerah Gresik menjadi pertimbangan yang tepat. Dengan lokasi industri terpilih dan pabrik penyedia bahan baku yang dekat, hal tersebut akan meminimalisir biaya pengiriman bahan baku menuju lokasi pabrik. Sedangkan untuk bahan baku air akan didapatkan dari air laut sekitar pelabuhan JIPE, Manyar, Gresik.

2. Pemasaran Produk

Dalam menentukan letak pabrik, hal yang perlu diperhatikan adalah pada aspek pemasaran. Aspek pemasaran berfungsi untuk mengurangi biaya distribusi terhadap pasar yang membutuhkan kalsium klorida dalam proses produksinya. Adapun pabrik yang memanfaatkan produk kalsium klorida sebagai bahan bakunya banyak terletak di Provinsi Jawa Barat dan Jawa Timur.

Adapun beberapa pabrik yang menggunakan kalsium klorida dalam proses produksinya ialah pabrik *pulp* dan kertas di PT Fajar Surya Wisesa dan PT Tjiwi Kimia dalam membuat kertas. Produk kalsium klorida juga digunakan sebagai bahan baku obat-obatan dengan produk samping dari produksi kalsium klorida (magnesium karbonat; MgCO_3) yang dapat digunakan pada industri kosmetik dan pasta gigi. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan pabrik produsen kertas, makanan & minuman, obat-obatan, dan garam di Indonesia yang mana menggunakan kalsium klorida dalam proses produksinya:

Tabel 1. 4. Data Industri Konsumsi Kalsium Klorida di Indonesia

No.	Nama Pabrik	Industri	Lokasi
1	PT. Fajar Surya Wisesa	<i>Pulp</i> dan Kertas	Jl. Kampung Gardu Sawah, Cibitung, Bekasi, Jawa Barat
2	PT. Tjiwi Kimia	<i>Pulp</i> dan Kertas	Jl. Raya Surabaya, Mojokerto KM. 44, Jawa Timur
3	PT. <i>Lasellafood</i> Indonesia	Makanan dan Minuman	Jl. Raya Jakarta-Depok KM.31, Kec. Cimanggis, Jawa Barat
4	PT. Suryajaya Abadiperkasa	Makanan Kemasan	Jl. Raya Surabaya Probolinggo KM.90, Jawa Timur
5	PT. Biofarma	Obat-obatan	Jl. Pasteur No.28, Bandung, Jawa Barat
6	PT. Kalbe Farma	Obat-obatan	Jl. M.H. Thamrin Blok A3-1, Lippo Cikarang, Bekasi, Jawa Barat
7	PT. Sumatraco Langgeng Makmur	Garam	Jl. Kalianak Barat No.60, Kota Surabaya, Jawa Timur
8	PT. Indah Kiat Pulp & Paper	<i>Pulp</i> dan Kertas	Jl. Raya Minas Perawang KM. 26, Pinang Sebatang, Pekanbaru
9	PT. Pola Pulpindo Mantap	<i>Pulp</i> dan Kertas	Desa Sukadana Udik, Kec. Bunga Mayang, Kab. Lampung Utara, Lampung
10	PT. Lontar Papyrus	<i>Pulp</i> dan Kertas	Desa Tebinggi Tinggi, Kec. Tukai Ulu, Tanjung Jabung, Jambi
11	PT. Pabrik Kertas Indonesia	<i>Pulp, Paper, & Chemical</i>	Jl. Kertopaten No.3, Surabaya, Jawa Timur.
12	PT. Liku Telaga	<i>Chemical</i>	Jl. Raya Sukomulyo Desa KM 24, Tenger, Kec. Manyar, Kab. Gresik, Jawa Timur.
13	PT. Pertamina EP Cepu	Minyak dan Gas	Jl. Raya-Gayam-Ngasem Dusun Pahwayang, Kab. Bojonegoro, Jawa Timur.

Sumber: (<https://daftarperusahaanindonesia.com>)

3. Ketersediaan Transportasi, Telekomunikasi, dan Utilitas

Dalam menentukan lokasi pembangunan sebuah pabrik, tentunya hal yang perlu dipertimbangkan ialah terkait transportasi. Ketersediaan transportasi yang memadai akan mendukung pergerakan produksi dan pemasaran. Pada daerah Gresik, transportasi darat akan memudahkan pendistribusian produk dan masuknya sumber bahan baku dengan tersedianya jalan tol Surabaya - Gresik yang berhubungan langsung dengan jalur pantura, serta dekatnya jarak dengan Pelabuhan JIPE, Manyar, Gresik yang akan memudahkan pengiriman antar pulau. Untuk memenuhi kebutuhan air pada proses dapat terpenuhi dari *water treatment plant* yang dimiliki oleh Industri JIPE, sedangkan untuk sumber listrik pabrik dapat dipenuhi dari pembangkit listrik kawasan industri JIPE yang berkapasitas 13MW dan juga melalui produksi sendiri menggunakan generator yang digerakkan oleh turbin.

4. Tenaga Kerja

Tenaga kerja yang akan bekerja pada pabrik adalah para ahli yang telah berpengalaman dalam bidang masing-masing dan tenaga kerja lokal di sekitar lokasi Gresik.

5. Kondisi Tanah

Gresik merupakan salah satu kawasan industri di Indonesia dengan tanah yang relatif masih luas, dengan jenis tanah datar, dan juga harga tanah yang

masih terjangkau sehingga menguntungkan dalam pendirian pabrik. Untuk perluasan daerah pabrik, daerah Gresik merupakan daerah kawasan industri yang masih memiliki tanah kosong sehingga perluasan yang mungkin dilakukan akan menguntungkan bagi industri pabrik.

6. Kebijakan Pemerintah

Gresik merupakan kawasan industri terbuka bagi investor asing. Oleh sebab itu, pemerintah sebagai fasilitator telah memberikan kemudahan dalam perizinan pendirian pabrik di kawasan Gresik berdasarkan PP No.71 Tahun 2021 mengenai Kawasan Ekonomi Khusus Gresik. Peraturan Pemerintah tersebut membahas mengenai kegiatan usaha, pembiayaan pembangunan, dan lain-lain yang menyangkut pelaksanaan sebuah pabrik.

BAB II

DESKRIPSI PROSES

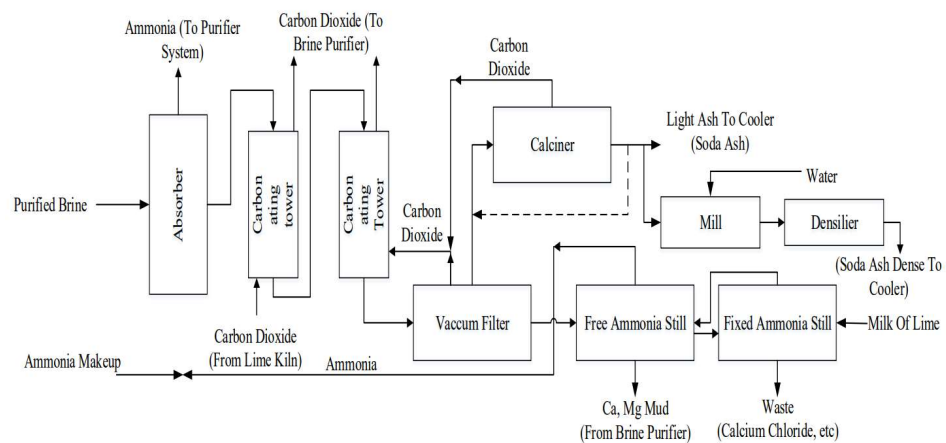
Kalsium klorida pertama kali ditemui pada abad ke-15, namun pengaplikasian pada skala industri tidak dijalani dan tidak mengalami perkembangan hingga akhir abad ke-18. Awal mula penemuan salah satu proses (Proses *Solvay*) yaitu untuk memproduksi natrium karbonat yang menghasilkan produk samping yaitu kalsium klorida. Sehingga dari proses tersebut, barulah kalsium klorida memiliki nilai jual yang sedikit meningkat yang pada umumnya tidak digunakan dalam proses non-agrikultur (Chemical Market., (2021)). Kalsium klorida memiliki kesamaan dengan NaCl, yaitu memiliki sifat korosif, kurang cocok untuk bersentuhan langsung dengan makanan, serta memiliki titik beku yang rendah (Perry., (2007)). Penggunaan produk kalsium klorida pada fungsinya dalam bidang pemadam kebakaran, mendukung sistem pendingin, anti-beku, pengawetan semen, dan juga pengurangan polusi (debu). Untuk perkembangannya, produk kalsium klorida juga dapat digunakan sebagai pengering serta pengawet untuk buah-buahan kering dan sayuran (Chemical Market., (2021)).

2.1 Jenis-Jenis Proses

Secara umum untuk memproduksi kalsium klorida dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain:

1. Proses *Solvay* (Proses I)

Metode yang paling umum untuk menghasilkan kalsium klorida adalah proses *Solvay*. Bahan baku dasar yang digunakan adalah batu kapur dan larutan garam (natrium klorida) dengan katalis yang digunakan amoniak (NH_3). Natrium karbonat (Na_2CO_3) yang dihasilkan juga dikenal dengan nama soda abu (*soda ash*) dapat diproduksi dengan proses *Solvay*. Soda abu ini dapat digunakan dalam pemrosesan gelas, sabun, detergen, pulp dan kertas. Proses ini melibatkan banyak reaksi dan konsentrasi kalsium klorida yang dihasilkan dari proses ini juga rendah, yaitu sekitar 10 - 15% (Tetra., (2015)).

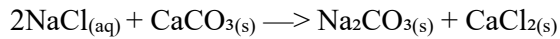


Gambar 2. 1. Pembuatan CaCl_2 dengan Proses Solvay

Sumber: U.S. Patent (EP2396278A1)

Proses Solvay menghasilkan soda cuci (terutama dalam bentuk natrium karbonat (Na_2CO_3)) dari air garam (sebagai sumber natrium klorida atau NaCl) dan batu kapur (sebagai sumber kalsium karbonat atau CaCO_3). Proses kimia Solvay secara keseluruhan adalah sebagai berikut:

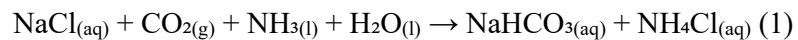
Persamaan reaksi:



(Sumber: Chemical Market., 2021).

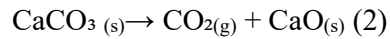
Namun, rincian proses Solvay yang sebenarnya cukup rumit. Adapun penjabaran proses Solvay pembuatan natrium karbonat dengan kalsium klorida sebagai produk sampingnya adalah sebagai berikut: (Kiefer, David M, 2002)

1. Pertama-tama larutan natrium klorida (NaCl) bereaksi dengan amonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2).



2. Di pabrik-pabrik, reaksi ini dilakukan dengan mengalirkan air garam melalui dua menara. Di menara pertama, air garam diserapkan dengan gas amonia. Di menara kedua, gas karbon dioksida melewati air garam yang telah menyerap amonia, dan natrium bikarbonat lalu mengalami pengendapan. Amonia yang diperlukan untuk reaksi (1) akan diperoleh dari langkah berikutnya, sehingga proses ini tidak memerlukan banyak amonia.

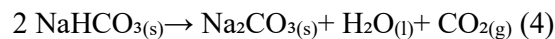
3. Karbon dioksida yang dibutuhkan untuk reaksi (1) dihasilkan lewat proses pemanasan ("kalsinasi") batu kapur pada suhu 950–1100 °C. Kalsium karbonat (CaCO_3) di dalam batu kapur diubah sebagian menjadi kalsium oksida (CaO) dan karbon dioksida:



Natrium bikarbonat (NaHCO_3) yang mengalami pengendapan pada reaksi (1) disaring dari larutan amonium klorida yang panas (NH_4Cl), dan amonium klorida lalu bereaksi dengan kalsium oksida (CaO) dari proses pemanasan batu kapur dalam langkah (2).

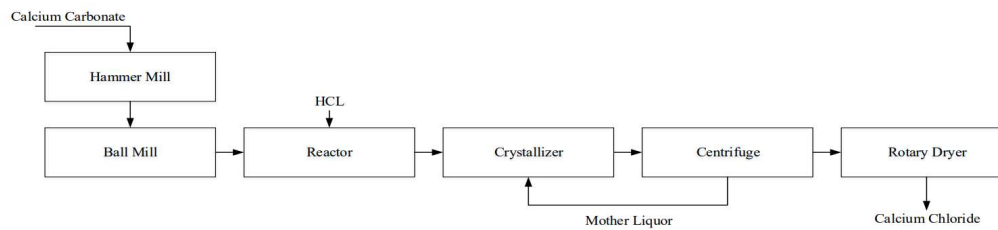


4. CaO merupakan larutan basa yang kuat. Amonia dari reaksi (3) didaurulang untuk reaksi (1). Endapan natrium bikarbonat (NaHCO_3) dari reaksi (1) lalu diubah menjadi natrium karbonat (Na_2CO_3) lewat proses kalsinasi pada suhu 160–230 °C dengan air dan karbon dioksida sebagai produk sampingan:



Karbon dioksida dari langkah (4) di daurulang untuk reaksi (1). Jika dirancang dengan benar, pabrik yang menggunakan proses Solvay dapat mendaur ulang hampir seluruh ammonianya. Sementara itu, kalsium klorida hanya menjadi produk samping.

2. Proses Netralisasi (Proses II)

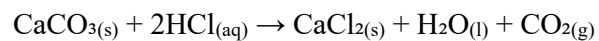


Gambar 2. 2. Pembuatan CaCl₂ dengan Proses Netralisasi

Sumber: U.S. Patent (US4704265)

Proses ini merupakan proses pembuatan kalsium klorida yang paling umum digunakan di seluruh dunia, karena bahan baku yang tersedia banyak dan murah. Salah satu industri yang memproduksi kalsium klorida dengan metode ini adalah Industri *Tetra Chemical Europe*. Kalsium Karbonat direaksikan dengan larutan asam klorida menghasilkan kalsium klorida, magnesium klorida, karbon dioksida dan air.

Persamaan reaksi:



(Sumber: Tetra Technologies., (2015))

2.2 Pemilihan Proses

Untuk menentukan proses yang akan digunakan tentu perlu adanya pertimbangan dari beberapa faktor yang akan mempengaruhi, seperti: segi ekonomis (meliputi biaya produksi, harga jual produk, dan biaya bahan baku

yang digunakan) serta kelayakan teknis (meliputi energi bebas gibbs, panas pembentukan standar, dan suhu operasi).

2.2.1 Proses Solvay (Proses I)

2.2.1.1 Perhitungan Ekonomi

Tabel 2. 1. Harga Bahan Baku dan Produk Proses Solvay

Komponen	Harga (USD/kg)	Harga (Rp/kg)
Natrium Klorida	0,50	Rp7.840
Kalsium Karbonat	0,19	Rp2.979,2
Natrium Karbonat	0,28	Rp4.390,4
Kalsium Klorida	4,50	Rp70.560

Sumber: (alibaba.com dan biggo.id)

Kurs 1 USD = Rp15.680 (Diakses pada 18 November 2022)



BM (kg/kmol) = 58,5 100,09 106 110,98

Kapasitas Produksi = 20.000 ton/tahun

Waktu Produksi = 330 hari

$$\begin{aligned} \text{Massa CaCl}_2 &= \frac{20.000 \text{ ton}}{1 \text{ tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \\ &= 2.525,25 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Dengan kapasitas produksi kalsium klorida sebesar 2.525,25 kg/jam dengan konversi 31% sehingga jumlah mol kalsium klorida yang dihasilkan sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Mol CaCl}_2 &= \frac{\text{massa CaCl}_2}{\text{BM CaCl}_2} \\ &= \frac{2.525,25}{110,98} = 22,754 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

Maka,

$$2\text{NaCl} + \text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2$$

M	146,80	73,40	-	-
B	22,754	22,754	22,754	22,754
S	124,046	50,646	22,754	22,754

Berikutnya menghitung harga untuk bahan baku yang digunakan dan produk yang dihasilkan:

Natrium Klorida (NaCl)

Bahan baku natrium klorida yang digunakan dengan kemurnian 99%

$$\text{BM NaCl} = 58,5 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Mol NaCl awal} = 146,80 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaCl} &= \text{Mol NaCl awal} \times \text{BM NaCl} \\ &= 146,80 \text{ kmol/jam} \times 58,5 \text{ kg/kmol} \end{aligned}$$

$$= 8.587,8 \text{ kg/jam}$$

Dengan tingkat kemurnian 99%, maka massa NaCl:

$$\begin{aligned} \text{Massa NaCl} &= \frac{8.587,8 \text{ kg/jam}}{0,99} \\ &= 8.674,54 \text{ kg/jam} \\ &= 68.702.400 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

Sehingga Harga untuk Bahan Baku NaCl:

$$\begin{aligned} \text{Harga NaCl} &= \text{Massa Senyawa} \times \text{Harga Produk} \\ &= 68.702.400 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}7.840,- \\ &= \text{Rp}538.626.816.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

Kalsium Karbonat (CaCO₃)

Bahan baku kalsium karbonat yang digunakan dengan kemurnian 98,5%

$$\begin{aligned} \text{BM CaCO}_3 &= 100,09 \text{ kg/kmol} \\ \text{Mol CaCO}_3 \text{ awal} &= 73,40 \text{ kmol/jam} \\ \text{Massa CaCO}_3 &= \text{Mol CaCO}_3 \text{ awal} \times \text{BM CaCO}_3 \\ &= 73,40 \text{ kmol/jam} \times 100,09 \text{ kg/kmol} \\ &= 7.346,606 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Dengan tingkat kemurnian 98,5%, maka massa CaCO₃:

$$\text{Massa CaCO}_3 = \frac{7.346,606 \text{ kg/jam}}{0,985}$$

$$= 7.458,483 \text{ kg/jam}$$

$$= 59.071.187,3 \text{ kg/tahun}$$

Sehingga Harga untuk Bahan Baku CaCO_3 :

$$\text{Harga } \text{CaCO}_3 = \text{Massa Senyawa} \times \text{Harga Produk}$$

$$= 59.071.187,3 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}3.449,6,-$$

$$= \text{Rp}203.771.967.710,08/\text{tahun}$$

Sehingga total dari harga bahan baku adalah:

$$\text{Total Bahan Baku} = \text{Rp}538.626.816.000 + \text{Rp}203.771.967.710,08$$

$$= \text{Rp}742.398.783.710,08,-$$

Kalsium Klorida (CaCl_2)

Produk kalsium klorida yang dihasilkan dengan kemurnian 98%

$$\text{Kapasitas Produksi} = 20.000 \text{ ton/tahun}$$

$$= 20.000.000 \text{ kg/tahun}$$

$$\text{Harga Produksi } \text{CaCl}_2 = \text{Kapasitas Produksi} \times \text{Harga Produk}$$

$$= 20.000.000 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}70.560,-$$

$$= \text{Rp}.1.411.200.000.000,-$$

$$\text{Maka EP/Profit} = \text{Harga Jual Produk} - \text{Harga Bahan Baku}$$

$$= \text{Rp.1.411.200.000.000} - \text{Rp742.398.783.710,08}$$

$$= \text{Rp668.801.216.289,92,-}$$

2.2.1.2 Tinjauan Panas Pembentukan Standar (ΔH°_f)

Besar atau kecil nilai entalpi reaksi (ΔH) menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan maupun dihasilkan. ΔH menunjukkan panas reaksi yang dihasilkan selama proses berlangsungnya reaksi kimia. Apabila ΔH positif (+) maka reaksi bersifat endotermis atau membutuhkan panas untuk berlangsungnya reaksi sehingga semakin besar nilai ΔH maka semakin besar juga energi yang dibutuhkan. Sedangkan, apabila ΔH negatif (-) maka reaksi bersifat eksotermis atau menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi. Berikut data panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada keadaan standar ($T=298 \text{ K}$) dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2. 2. Nilai $\Delta H_{(T=298K)}$ dari Komponen Proses *Solvay* pada Suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	$\Delta H^\circ_{F 298K}$ (kJ/mol)
Natrium Klorida	-98,321
Kalsium Karbonat	-289,5
Natrium Karbonat	-269,46
Kalsium Klorida	-190,6

(Perry., 1997)

Pada proses ini, reaksi yang terjadi yaitu:



Sehingga nilai enthalpi reaksi ialah:

$$\begin{aligned}\Delta H_{r, 298K} &= \sum \Delta H_f \text{ produk} - \sum \Delta H_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta H_f^\circ 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2) - (\Delta H_f^\circ \text{NaCl} + \text{CaCO}_3) \\ &= (-460,06\text{kcal/mol}) - (-486,142 \text{ kcal/mol}) \\ &= 26,082 \text{ kcal/mol} \\ &= 109,127 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Untuk menghitung ΔH° pada suhu tertentu menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta H^\circ = \Delta H_0^\circ + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT = \Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right)$$

Maka nilai ΔH° adalah:

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ &= \Delta H_0^\circ + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) \right. \\ &\quad \left. + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right]\end{aligned}$$

(Smith, *et al.*, (2001))

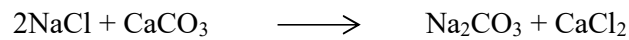
Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 3. Nilai konstanta Cp (kJ/mol.K)

Formula	A	B	C	D
NaCl	5,526	$1,963 \times 10^{-3}$	0	0
CaCO ₃	12,572	$2,637 \times 10^{-3}$	0	$-3,120 \times 10^{-5}$
Na ₂ CO ₃	0	0	0	0
CaCl ₂	8,646	$1,530 \times 10^{-3}$	0	-0,302

(Smith, *et al.*, (2001))

Reaksi:



Dimana:

$$R = 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$T = 80^\circ\text{C} = 353 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$\Delta H^\circ_{298} = \Delta H^\circ_0 = 109,127 \text{ kJ/mol}$$

Maka diperoleh nilai:

$$\Delta A = (A \text{ Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2) - (A \text{ 2NaCl} + \text{CaCO}_3)$$

$$= (8,646) - (23,624)$$

$$= -14,978$$

Dengan cara yang sama untuk menentukan ΔA , didapatkan nilai ΔB , ΔC , dan ΔD sebagai berikut:

$$\Delta B = -0,00503$$

$$\Delta C = 0$$

$$\Delta D = -0,30197$$

Selanjutnya, nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD disubstitusi pada rumus ΔH° , sebagai berikut:

$$\Delta H^\circ = \Delta H_0^\circ + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right]$$

$$\Delta H^\circ = \Delta H_0^\circ + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right]$$

$$\Delta H^\circ = 109,12 + 8,314 \left[-14,978(353 - 298) + \frac{-0,00503}{2}(353^2 - 298^2) + \frac{0}{3}(353^3 - 298^3) + (-0,30197) \left(\frac{353 - 298}{(353)(298)} \right) \right]$$

$$\Delta H^\circ = -6.829,97 \text{ kJ/mol}$$

Diperoleh nilai ΔH° suhu operasi pada reaksi proses *solway* sebesar - 6.829,97 kJ/mol yang menunjukkan reaksi berjalan secara **ekostermis**.

2.2.1.3 Tinjauan Energi Bebas Gibbs (ΔG)

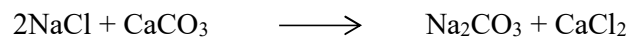
Energi bebas *gibbs* (ΔG) berfungsi untuk menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia. (ΔG) bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan dan reaksinya akan bergerak ke arah reaktan sehingga membutuhkan energi tambahan dari luar. Sedangkan, jika (ΔG) bernilai negatif (-) menunjukkan reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan, reaksinya bergerak ke arah produk dan hanya sedikit membutuhkan energi dari luar. Oleh karena itu semakin kecil nilai (ΔG) maka reaksi tersebut akan semakin baik karena untuk berlangsung spontan energi yang dibutuhkan semakin kecil (Smith, 2001). Berikut data energi bebas *gibbs* (ΔG) pada keadaan standar ($T=298\text{ K}$) dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. 4. Nilai ΔG_{298K} dari Komponen Proses *Solvay* pada Suhu 25°C
(298,15 K)

Komponen	ΔG_{298K} (kJ/mol)
Natrium Klorida	-393.133
Kalsium Karbonat	-1.128.790
Natrium Karbonat	-1.044.440
Kalsium Klorida	-748.100

(Smith, *et al.*, (2001)).

Reaksi:



Sehingga nilai energi bebas ialah:

$$\Delta G_{298K} = \sum \Delta G_f \text{ produk} - \sum \Delta G_f \text{ reaktan}$$

$$\begin{aligned}
&= (\Delta G^\circ_f \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2) - (\Delta G^\circ_f 2\text{NaCl} + \text{CaCO}_3) \\
&= [(-1.792.540) - (-1.915.056)] \\
&= 122.516 \text{ J/mol} \\
&= 122,516 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Untuk menghitung ΔG° pada suhu tertentu menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT = \Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right)$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} \frac{dT}{T}$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Maka nilai ΔG° adalah:

$$\begin{aligned}
\Delta G^\circ &= \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) \\
&\quad + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] \\
&\quad - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right]
\end{aligned}$$

(Smith, *et al.*, 2001)

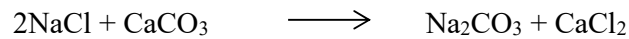
Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat tabel berikut:

Tabel 2. 5. Nilai konstanta C_p (kJ/mol.K)

Formula	A	B	C	D
NaCl	5,526	$1,963 \times 10^{-3}$	0	0
CaCO ₃	12,572	$2,637 \times 10^{-3}$	0	$-3,120 \times 10^{-5}$
Na ₂ CO ₃	0	0	0	0
CaCl ₂	8,646	$1,530 \times 10^{-3}$	0	-0,302

(Smith, *et al.*, 2001)

Reaksi:



Dimana:

$$R = 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$T = 80^\circ\text{C} = 353 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$\Delta H^\circ_{298} = \Delta H^\circ_0 = 109,127 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_{298} = \Delta G^\circ_0 = 122,516 \text{ kJ/mol}$$

Maka diperoleh nilai:

$$\Delta A = (A \text{ Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2) - (A \text{ 2NaCl} + \text{CaCO}_3)$$

$$= (8,646) - (23,624) = -14,978$$

Dengan cara yang sama untuk menentukan ΔA , didapatkan nilai ΔB , ΔC , dan ΔD sebagai berikut:

$$\Delta B = -0,00503$$

$$\Delta C = 0$$

$$\Delta D = -0,30197$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔG° , sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ &= \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) \\ &+ R \left[\Delta A (T - T_0) + \frac{\Delta B}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3} (T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] \\ &- RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta G^\circ &= 122.516 - \frac{353}{298} (109,127 - (122.516)) \\
&+ 8,314 \left[-14,978(353 - 298) + \frac{-0,00503}{2} (353^2 - 298^2) \right. \\
&+ \left. \frac{0}{3} (353^3 - 298^3) + (-0,30197) \left(\frac{353 - 298}{(353)(298)} \right) \right] \\
&- 8,314 \\
&\times 298 \left[-14,978 \ln \frac{353}{298} \right. \\
&+ \left. \left[-0,00503 + \left(0 + \frac{-0,30197}{298^2 \times 353^2} \right) \left(\frac{353 + 298}{2} \right) \right] (353 - 298) \right]
\end{aligned}$$

$$\Delta G^\circ = 646,087 \text{ kJ/mol}$$

Diperoleh nilai ΔG° suhu reaksi pada reaksi proses *solway* sebesar 646,087 kJ/mol yang menunjukkan reaksi tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga reaksi membutuhkan energi yang besar untuk berjalan.

2.2.2 Proses Netralisasi (Proses II)

2.2.2.1 Perhitungan Ekonomi

Tabel 2. 6. Harga Bahan Baku dan Produk Proses Netralisasi

Komponen	Harga (USD/kg)	Harga (Rp/kg)
Kalsium Karbonat	0,19	Rp2.979,2
Asam Klorida	0,16	Rp2.508,8
Kalsium Hidroksida	1,12	Rp17.561,6
Kalsium Klorida	4,50	Rp70.560

Sumber: (alibaba.com, indotrading.com)

Kurs 1 USD = Rp15.680 (Diakses pada 18 November 2022)



BM (kg/kmol) = 100,09 36,46 110,98 18,01 44,01

Kapasitas Produksi = 20.000 ton/tahun

Waktu Produksi = 330 hari

$$\begin{aligned} \text{Massa CaCl}_2 &= \frac{120000 \text{ ton}}{1 \text{ tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \\ &= 2.525,25 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Dengan kapasitas produksi kalsium klorida sebesar 2.525,25 kg/jam dengan konversi 80% berdasarkan (Chemical Market Reporter., 2022) sehingga jumlah mol kalsium klorida yang dihasilkan sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Mol CaCl}_2 &= \frac{\text{massa CaCl}_2}{\text{BM CaCl}_2} \\ &= \frac{2.525,25}{110,98} = 22,754 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

Maka,

		CaCO_3	+	2HCl	\longrightarrow	CaCl_2	+	H_2O	+	CO_2
M		28,443		56,886						
B		22,754		22,754		22,754		22,754		22,754
S		5,689		34,132		22,754		22,754		22,754

Berikutnya menghitung harga untuk bahan baku yang digunakan dan produk yang dihasilkan:

Kalsium Karbonat (CaCO₃)

Bahan baku kalsium karbonat yang digunakan dengan kemurnian 98,5%

$$\text{BM CaCO}_3 = 100,09 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Mol CaCO}_3 \text{ awal} = 28,443 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa CaCO}_3 &= \text{Mol CaCO}_3 \text{ awal} \times \text{BM CaCO}_3 \\ &= 28,443 \text{ kmol/jam} \times 100,09 \text{ kg/kmol} \\ &= 2.846,825 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Dengan tingkat kemurnian 98,5%, maka massa CaCO₃:

$$\begin{aligned} \text{Massa CaCO}_3 &= \frac{2.846,825 \text{ kg/jam}}{0.985} \\ &= 2.890,178 \text{ kg/jam} \\ &= 22.890.209,76 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

Sehingga Harga untuk Bahan Baku CaCO₃:

$$\begin{aligned} \text{Harga CaCO}_3 &= \text{Massa Senyawa} \times \text{Harga Produk} \\ &= 22.890.209,76 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}3.449,6,- \\ &= \text{Rp}78.962.062.950,02/\text{tahun} \end{aligned}$$

Asam Klorida (HCl)

Bahan baku asam klorida yang digunakan dengan kemurnian 37%

$$\text{BM HCl} = 36,5 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Mol HCl awal} = 56,886 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa HCl} &= \text{Mol HCl awal} \times \text{BM HCl} \\ &= 56,886 \text{ kmol/jam} \times 36,5 \text{ kg/kmol} \\ &= 2.076,34 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Dengan tingkat kemurnian 37%, maka massa HCl:

$$\begin{aligned} \text{Massa HCl} &= \frac{2.076,34 \text{ kg/jam}}{0,37} \\ &= 5.611,66 \text{ kg/jam} \\ &= 44.444.336,21 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

Sehingga Harga untuk Bahan Baku HCl:

$$\begin{aligned} \text{Harga HCl} &= \text{Massa Senyawa} \times \text{Harga Produk} \\ &= 44.444.336,21 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}2.508,8,- \\ &= \text{Rp}111.501.950.680/\text{tahun} \end{aligned}$$

Kalsium Hidroksida (Ca(OH)₂)

Bahan baku kalsium hidroksida yang digunakan dengan kemurnian 96%

$$\text{BM Ca(OH)}_2 = 74,092 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Mol Ca(OH)}_2 \text{ awal} = 9,991 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Ca(OH)}_2 &= \text{Mol Ca(OH)}_2 \text{ awal} \times \text{BM Ca(OH)}_2 \\ &= 9,991 \text{ kmol/jam} \times 74,092 \text{ kg/kmol} \\ &= 740,270 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Sehingga Harga untuk Bahan Baku Ca(OH)₂:

$$\begin{aligned} \text{Harga Ca(OH)}_2 &= \text{Massa Senyawa} \times \text{Harga Produk} \\ &= (740,270 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari}) \times \text{Rp}17.498,- \\ &= \text{Rp}102.594.855.508,99/\text{tahun} \end{aligned}$$

Sehingga total dari harga bahan baku adalah:

$$\begin{aligned} \text{Total Bahan Baku} &= \text{Rp}78.962.067.588,096 + \text{Rp}111.501.950.680 + \\ &\quad \text{Rp}102.594.855.508,99 \\ &= \text{Rp}293.058.869.139,19/\text{tahun} \end{aligned}$$

Kalsium Klorida (CaCl₂)

Produk kalsium klorida yang akan dihasilkan dengan kemurnian 95%

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Produksi} &= 20.000 \text{ ton/tahun} \\ &= 20.000.000 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\text{Harga Produksi CaCl}_2 = \text{Kapasitas Produksi} \times \text{Harga Produk}$$

$$= 20.000.000 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}70.560,-$$

$$= \text{Rp}.1.411.200.000.000,-$$

$$\text{Maka EP/Profit} = \text{Harga Jual Produk} - \text{Harga Bahan Baku}$$

$$= \text{Rp}.1.411.200.000.000 - \text{Rp}293.058.869.139,19$$

$$= \text{Rp}.1.118.141.130.860,81/\text{tahun}$$

2.2.2.2 Tinjauan Panas Pembentukan Standar (ΔH°_f)

Besar atau kecil nilai entalpi reaksi (ΔH) menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan maupun dihasilkan. ΔH menunjukkan panas reaksi yang dihasilkan selama proses berlangsungnya reaksi kimia. Apabila ΔH positif (+) maka reaksi bersifat endotermis atau membutuhkan panas untuk berlangsungnya reaksi sehingga semakin besar nilai ΔH maka semakin besar juga energi yang dibutuhkan. Sedangkan, apabila ΔH negatif (-) maka reaksi bersifat eksotermis atau menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi. Berikut data panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada keadaan standar ($T=298 \text{ K}$) dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 7. Nilai $\Delta H_{(F\ 298K)}$ dari Komponen Proses Netralisasi pada Suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	$\Delta H_{F\ 298K}$ (kJ/mol)
Kalsium Karbonat	-289,500
Asam Klorida	-22,063
Kalsium Klorida	-190,600
Air	-68,317
Karbon Dioksida	-94,052

(Perry., 1997).

Pada proses ini, reaksi yang terjadi yaitu:



Untuk nilai $\Delta H_{r\ 298K}$ dari setiap senyawa komponen pada suhu 25°C (298K) dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Sehingga nilai enthalpi reaksi ialah:

$$\begin{aligned} \Delta H_{r\ 298K} &= \sum \Delta H \text{ produk} - \sum \Delta H \text{ reaktan} \\ &= (\Delta H^{\circ}_f \text{ CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2) - (\Delta H^{\circ}_f \text{ CaCO}_3 + 2\text{HCl}) \\ &= -352,9696 - (-333,626) \\ &= -19,3434 \text{ kcal/mol} \\ &= -80,93 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk menghitung ΔH° pada suhu tertentu menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta H^{\circ} = \Delta H_0^{\circ} + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^{\circ}}{R} dT$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT = \Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right)$$

Maka nilai ΔH° adalah:

$$\Delta H^\circ = \Delta H_0^\circ + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right]$$

(Smith, *et al.*, (2001))

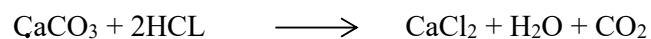
Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2. 8. Nilai konstanta C_p (kJ/mol.K)

Formula	A	B	C	D
CaCO ₃	12,572	2,637 x 10 ⁻³	0	-3,120
HCL (aq)	3,156	0,623 x 10 ⁻³	0	0,151
CaCl ₂ (aq)	8,646	1,530 x 10 ⁻³	0	-0,302
H ₂ O (aq)	3,470	1,450 x 10 ⁻³	0	0,121
CO ₂ (aq)	5,457	1,045 x 10 ⁻³	0	-1,157

(Smith, *et al.*, (2001))

Reaksi:



Dimana:

$$R = 8,314$$

$$T = 50^{\circ}\text{C} = 323 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^{\circ}\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$\Delta H^{\circ}_{298} = \Delta H^{\circ}_0 = -80,93 \text{ kJ/mol}$$

Maka diperoleh nilai:

$$\Delta A = (A \text{ CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2) - (A \text{ CaCO}_3 + 2\text{HCL})$$

$$= (17,573) - 18,884$$

$$= -1,311$$

Dengan cara yang sama untuk menentukan ΔA , didapatkan nilai ΔB , ΔC , dan ΔD sebagai berikut:

$$\Delta B = -0,000142$$

$$\Delta C = 0$$

$$\Delta D = 1,48$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔH° , sebagai berikut:

$$\Delta H^{\circ} = \Delta H^{\circ}_0 + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right]$$

$$\Delta H^{\circ} = \Delta H^{\circ}_0 + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right]$$

$$\Delta H^\circ = -80,93 + 8,314 \left[-1,311(323 - 298) + \frac{-0,000142}{2}(323^2 - 298^2) + \frac{0,}{3}(323^3 - 298^3) + 1,48 \left(\frac{323 - 298}{(323)(298)} \right) \right]$$

$$\Delta H^\circ = -344,254 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi pembentukan kalsium klorida berjalan secara **eksotermis** karena hasil perhitungan nilai enthalpi menunjukkan nilai $\Delta H_{r, 298K}$ negatif.

2.2.2.3 Energi Gibbs

Energi bebas *gibbs* (ΔG) menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia. (ΔG) bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan dan reaksinya akan bergerak kearah reaktan sehingga membutuhkan energi tambahan dari luar. Sedangkan, jika (ΔG) bernilai negatif (-) menunjukkan reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan, reaksinya bergerak kearah produk dan hanya sedikit membutuhkan energi dari luar. Oleh karena itu semakin kecil nilai (ΔG) maka reaksi tersebut akan semakin baik karena untuk berlangsung spontan energi yang dibutuhkan semakin kecil (Smith, *et al.*, (2001)). Berikut data energi bebas *gibbs* (ΔG) pada keadaan standar (T=298 K) dapat dilihat pada berikut:

Tabel 2. 9. Nilai ΔG_{298K} dari Komponen Proses Netralisasi pada Suhu 25°C
(298,15 K)

Komponen	ΔG_{298K} (kJ/mol)
Kalsium Karbonat	-112.879
Asam Klorida	-95.299
Kalsium Klorida	-748.100
Air	-237.129
Karbon Dioksida	-386

(Smith, *et al.*, (2001)).

Sehingga nilai enthalpi reaksi ialah:

$$\begin{aligned}
 \Delta G_{298K} &= \sum \Delta G \text{ produk} - \sum \Delta G \text{ reaktan} \\
 &= (\Delta G^\circ_f \text{ CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2) - (\Delta G^\circ_f \text{ CaCO}_3 + 2\text{HCl}) \\
 &= [(-985.615) - (-1.319.388)] \\
 &= 333.773 \text{ J/mol} \\
 &= 333,773 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung ΔG° pada suhu tertentu menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT = \Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3} (T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right)$$

Untuk mencari nilai $\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} \frac{dT}{T}$ menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Maka nilai ΔG° adalah:

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ = \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) \\ + R \left[\Delta A (T - T_0) + \frac{\Delta B}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3} (T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] \\ - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right] \end{aligned}$$

(Smith, *et al.*, (2001))

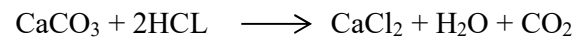
Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta Cp masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada **Tabel 2.10**:

Tabel 2. 10. Nilai konstanta Cp (kJ/mol.K)

Formula	A	B	C	D
CaCO ₃	12,572	2,637 x 10 ⁻³	0	-3,120
HCL (aq)	3,156	0,623 x 10 ⁻³	0	0,151
CaCl ₂ (aq)	8,646	1,530 x 10 ⁻³	0	-0,302
H ₂ O (aq)	3,470	1,450 x 10 ⁻³	0	0,121
CO ₂ (g)	5,457	1,045 x 10 ⁻³	0	-1,157

(Smith, *et al.*, (2001))

Reaksi:



Dimana:

$$R = 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$T = 50^\circ\text{C} = 323 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$\Delta H^\circ_{298} = \Delta H^\circ_0 = -80,93 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_{298} = \Delta G^\circ_0 = 333,773 \text{ kJ/mol}$$

Maka diperoleh nilai:

$$\Delta A = (A \text{ CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2) - (A \text{ CaCO}_3 + 2\text{HCL})$$

$$= (17,573) - 18,884$$

$$= -1,311$$

Dengan cara yang sama untuk menentukan ΔA , didapatkan nilai ΔB , ΔC ,

dan ΔD sebagai berikut:

$$\Delta B = 0,000142$$

$$\Delta C = 0$$

$$\Delta D = 1,48$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔG° , sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ = \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) \\ + R \left[\Delta A (T - T_0) + \frac{\Delta B}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3} (T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] \\ - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ = 333,773 - \frac{323}{298} (-80,93 - (333,773)) \\ + 8,314 \left[-1,311(323 - 298) + \frac{0,000142}{2} (323^2 - 298^2) \right. \\ \left. + \frac{0}{3} (323^3 - 298^3) + (1,48) \left(\frac{323 - 298}{(323)(298)} \right) \right] \\ - 8,314 \\ \times 298 \left[-1,311 \ln \frac{323}{298} \right. \\ \left. + \left[0,000142 + \left(0 + \frac{1,48}{298^2 \times 323^2} \right) \left(\frac{323 + 298}{2} \right) \right] (323 - 298) \right] \end{aligned}$$

$$\Delta G^\circ = -115,7346 \text{ kJ/mol.}$$

Diperoleh nilai ΔG° suhu reaksi pada reaksi proses Netralisasi sebesar $-115,7346$. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai $\Delta G < 0$, sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi berlangsung secara spontan. Hal ini disimpulkan dari nilai energi bebas yang dihasilkan negatif.

Adapun kesimpulan dari perbandingan setiap proses dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 11. Perbandingan Proses

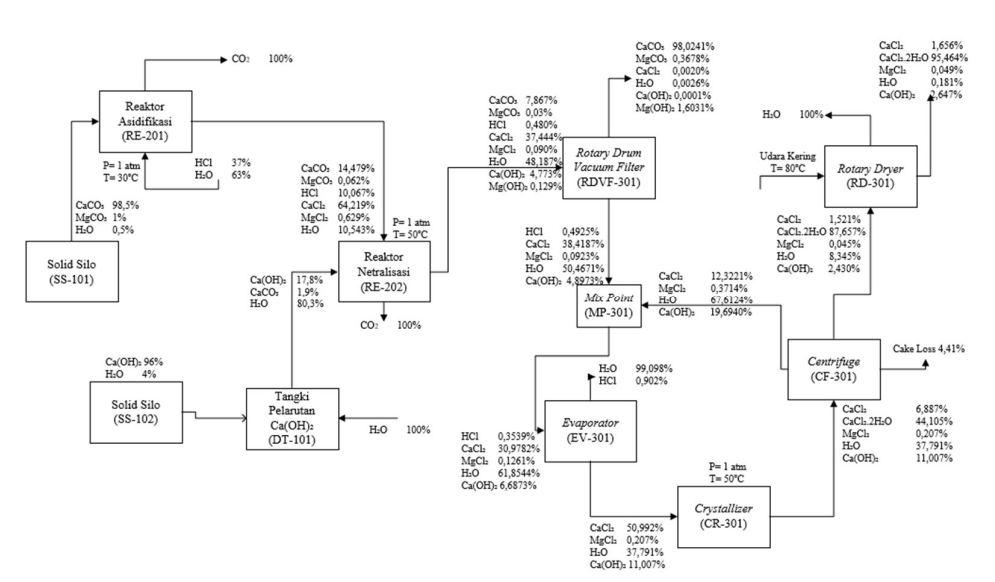
Keterangan	Proses I	Proses II
Bahan Baku	NaCl dan CaCO ₃	CaCO ₃ , HCl, dan Ca(OH) ₂
Konversi	31%	Reaksi I (CaCO ₃ dan HCl) = 80% Reaksi II: (MgCl ₂ dan Ca(OH) ₂ = 70%; HCl dan Ca(OH) ₂ = 90%)
Jenis Reaksi	<i>Irreversible</i>	<i>Irreversible</i>
Keuntungan (Rp/Tahun)	668.801.216.289,92	1.118.141.130.860,81
Tekanan (atm)	3-5	1
Suhu Reaksi (°C)	80	30-50
ΔH (kJ/mol)	-6.823,997	-344,254
ΔG (kJ/mol)	646,087	-115,735
Kadar Produk	55%	94-99%
Katalis	NH ₃	-
Harga Katalis	Rp31.360	-

Dari tinjauan proses pembuatan produk kalsium klorida yang telah diuraikan, maka dapat disimpulkan bahwa proses yang dipilih ialah proses netralisasi berbahan baku kalsium karbonat dengan beberapa faktor pertimbangan yaitu:

1. Bahan baku yang digunakan lebih mudah didapat di pasaran karena tersedia di Indonesia.
2. Kadar produk yang dihasilkan lebih tinggi (sekitar 94-99%).
3. Nilai konversi dari proses tersebut sekitar 80-99%.
4. Tidak diperlukannya katalis sehingga mengurangi biaya produksi.

2.3 Uraian Proses

2.3.1 Deskripsi Proses



Gambar 2. 3. Diagram Alir Proses Produksi CaCl₂

Untuk pra-rancangan pabrik kalsium klorida ini akan dibagi menjadi 4 bagian unit didalamnya seperti berikut:

1. Unit Proses *Pretreatment* dan Pengendalian Bahan Baku Kode Unit: 100
2. Unit Proses Reaksi Produk Kode Unit: 200
3. Unit Proses Pemekatan, Kristalisasi dan Pengeringan Kode Unit: 300
4. Unit Proses dalam Pengendalian Produk Kode Unit: 400

Adapun uraian proses pembuatannya adalah sebagai berikut:

Bahan baku kalsium karbonat dari tempat penampungan kalsium karbonat (SS-101) yang berupa padatan dibawa oleh *screw conveyor* (SC-101) untuk diumpankan masuk ke dalam *bucket elevator* (BE-101) menuju keatas dan di

tampung sementara pada *hopper* (H-101). Dari *hopper* akan masuk ke reaktor asam (asidifikasi) (RE-201) untuk proses pencampuran kalsium karbonat dengan asam klorida 37% dengan suhu 30°C. Kemudian membuat larutan Ca(OH)₂ dengan cara mencampurkan kalsium hidroksida dengan air di dalam tangki pelarutan (DT-101) pada suhu 30°C untuk dipompa menjadi umpan ke dalam reaktor *neutrilizer* (RE-202) guna menetralsir hasil produk reaksi samping. Lalu hasil keluaran reaktor asam dan larutan Ca(OH)₂ yang telah diencerkan diumpankan ke reaktor *neutrilizer* (RE-202) dengan suhu 50°C.

Reaksi yang terjadi:

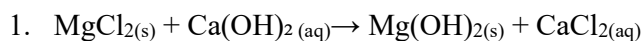
Reaksi Utama:



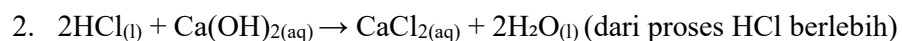
Reaksi Samping:



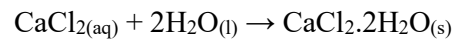
Produk dari reaksi ini berupa larutan kalsium klorida yang kemudian akan dibawa menuju reaktor netralisasi (RE-202) dengan suhu 50°C untuk memisahkan magnesium yang masih terkandung dalam bahan baku dan menetralsir sisa asam. Penetralsiran asam ini membutuhkan bahan tambahan yaitu Ca(OH)₂ yang dilarutkan oleh air sehingga pada reaktor netralisasi akan terbentuk endapan Mg(OH)₂, reaksi yang terjadi di dalam reaktor adalah :



(Proses pemisahan produk samping dengan pengendapan)



3. Hasil keluaran dari reaktor netralisasi kemudian akan diumpankan ke dalam *rotary drum vacuum filter* (RDVF-301) untuk memisahkan cake yang terbentuk sebelum masuk kedalam tangki penampung bak limbah di utilitas (ST-101). Cake ditampung pada bak penampung limbah (BL-101) sedangkan filtrat ke tangki penampung sementara (ST-301), kemudian diumpankan ke *evaporator* (EV-301) dengan suhu 110°C untuk pemekatan dan mengurangi kadar air yang terkandung. Pada alat *evaporator* sebagian besar air akan diuapkan sampai konsentrasi kalsium klorida mencapai titik jenuh. Larutan berikutnya akan di pompa menuju ke *crystallizer* (CR-301) untuk proses kristalisasi. Kristalisasi disini terjadi dengan cara melarutkan senyawa CaCl₂ pada H₂O sehingga terbentuknya CaCl₂.2H₂O dengan bantuan pengadukan yang pelan dengan suhu 50°C. Adapun reaksi yang terjadi sebagai berikut:

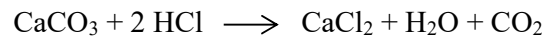


Produk kristal kemudian akan diumpankan pada *centrifuge* (CF-301) untuk proses pemisahan *cake* dan filtrat yang terbentuk. Filtrat berupa *mother liquor* dibawa kembali menuju ke *evaporator* (EV-301), sedangkan *cake* berupa kristal kalsium klorida diumpankan ke *rotary dryer* (RD-301). Pada *rotary dryer* (RD-301) akan terjadi pengeringan kristal dengan *supply* udara kering 80°C. Kemudian produk yang sudah berbentuk kristal akan diumpankan menuju ke bak penampungan akhir atau *silo* (SS-401) dan siap untuk dipasarkan dalam bentuk kristal dengan melewati proses *packing* pada gudang penyimpanan (*warehouse*) pada (WH-401).

2.4 Tinjauan Kinetika

Reaksi antara kalsium karbonat dan asam klorida akan menghasilkan kalsium klorida dalam bentuk larutan, air dan gas CO₂. Reaksinya dalam fase cair dimana asam klorida larut dalam air dan kalsium karboat sedikit larut dalam air. Tidak ada reaksi samping yang terjadi, karena pengotor dalam garam umpan berupa air.

Persamaan reaksi kimia:



Persamaan reaksi antara kalsium karbonat dan asam klorida adalah reaksi orde 2 dan dinyatakan dalam persamaan kecepatan reaksi:

$$-r_A = k \cdot C_A^2$$

$$k = 80 \text{ kmol/ m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$$

(4college.co.uk)

Dengan:

$$-r_A = \text{kecepatan reaksi (kmol/m}^3 \cdot \text{jam)}$$

$$C_A = \text{konsentrasi asam klorida (kmol/m}^3)$$

$$k = \text{konstanta laju reaksi (80 kmol/ m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1})$$

- Arah Reaksi

Dalam proses reaksi dapat diketahui arah reaksi yang terjadi pada kondisi T = 30°C (303,15K) dengan tekanan P = 1 atm (14,6949 psi). Adapun cara untuk mengetahui konstanta kesetimbangan reaksi dapat menggunakan persamaan:

$$\Delta G_f = -RT \times \ln K$$

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{-\Delta H_r}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

(Dogra, dkk., (1990))

Keterangan:

ΔG_f = Energi *gibbs* pada keadaan standar (T = 25°C; P = 1 atm; j/mol)

ΔH_r = Panas reaksi (j/mol)

K_1 = Konstanta kesetimbangan pada suhu 25°C = 298K

K_2 = Konstanta kesetimbangan pada suhu reaksi 30°C = 303,15K

T = Suhu yang digunakan (K)

R = Tetapan gas ideal = 8,314 J/mol.K

Sehingga didapati nilai $\ln K_1 = \frac{\Delta G_f}{-R \times T} = \frac{333.773 \text{ j/mol}}{-\left(8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}}\right) \times (298 \text{ K})} = 1.201.767$

$$e^{\ln K_1} = e^{1.201.767}$$

$$K_1 = e^{1.201.767} = 13,9993$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sedangkan nilai } \ln \frac{K_2}{K_1} &= \frac{-\Delta H_r}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \\
 &= \frac{-8.797,334}{8,314} \left(\frac{1}{303,15} - \frac{1}{298,15} \right) \times 13,9993 \\
 &= 3,8474
 \end{aligned}$$

$$\ln K = e^{3,8474}$$

$$K_2 = 46,8716$$

Dikarenakan $K_1 < K_2$, maka dapat dipastikan bahwa arah reaksi akan berjalan dari arah kiri ke kanan (dominan reaktan berubah menjadi produk).

BAB III
SPESIFIKASI BAHAN BAKU & PRODUK

3.1. Bahan Baku

3.1.1 Kalsium Karbonat

Sifat Fisik Bahan:

Rumus Molekul : CaCO_3

Komposisi : 98,5% CaCO_3 ; 1% MgCO_3 ; dan 0,3% SiO_2 .

Berat Molekul : 100,09 gr/mol

Fasa : Padat

Ukuran Partikel : 6 μmeter

Densitas (pada 30°C) : 1,350 gr/mL

Specific Gravity : 2.60 – 2.75 gr/cm^3

Kemurnian : 98,5%

Boiling Point : -

Melting Point : 825°C

Kapasitas Panas : 0,21 kkal/kg°C

Viskositas (30°C) : 200 cP

Solubility, cold water : 0,0013 kg/100 kg H₂O (dengan suhu H₂O = 18°C)

Solubility, hot water : 0,0019kg/100 kg H₂O (dengan suhu H₂O = 100°C)

(Sumber: PT. Omya Omyacarb; Othmer., (1992))

Sifat Kimia Bahan:

1. Kalsium karbonat umumnya memiliki tiga bentuk struktur kristal, yaitu: *calcite*, *aragonite*, dan terkadang *vaterite*.
2. Kalsium karbonat mulanya terbentuk dari proses kalsinasi batu kapur yang kemudian membentuk CaO (kalsium oksida) dan CO₂ (kalsium dioksida).
3. Hasil dari proses kalsinasi CaCO₃ menjadi CaO saat melewati proses hidrasi/*slaking* dengan air akan membentuk Ca(OH)₂ (kalsium hidroksida).
4. Kalsium karbonat dapat terbentuk kembali melalui proses karbonasi dengan mereaksikan Ca(OH)₂ (kalsium hidroksida) dengan CO₂ (udara) yang ditandai oleh mengeringnya Ca(OH)₂ ataupun pengukuran nilai pH.
5. Kalsium karbonat dapat bereaksi dengan asam klorida membentuk kalsium klorida.

(Sumber: Orthmer., (1991)).

3.1.2 Asam Klorida

Sifat Fisik Bahan:

Rumus Molekul : HCl

Berat Molekul : 36,46 gr/mol

Fasa : Cair

Ukuran Partikel : -

Densitas (pada 30°C) : 0,7663 gr/mL

Kemurnian : 37%

Boiling Point : 109°C

Melting Point : -25,4°C

Kapasitas Panas : 60,378 kkal/kg°C

Viskositas (30°C) : 1,0671 cP

Solubility, cold water : 82,3 kg/100 kg H₂O (dengan suhu H₂O = 0°C)

Solubility, hot water : 56,1 kg/100 kg H₂O (dengan suhu H₂O = 60°C)

(Sumber: Othmer., (1992), MSDS., (2017))

Sifat Kimia Bahan:

1. Asam klorida merupakan asam kuat yang secara sempurna dapat terdisosiasi dalam air.

2. Asam klorida dapat dibuat dengan mereaksikan antara asam sulfat dengan natrium klorida.
3. Asam klorida termasuk golongan asam monoprotik yang diartikan sebagai asam yang dapat melepaskan satu ion H⁺.
4. Asam klorida tergolong ke dalam asam kuat yang dapat secara sempurna terdisosiasi dalam air.

(Sumber: Perry., (1991)).

3.1.3 Kalsium Hidroksida

Sifat Fisik Bahan:

Rumus Molekul : Ca(OH)₂

Berat Molekul : 73,968 gr/mol

Fasa : Padat

Ukuran Partikel : 1-2 μm

Densitas (pada 30°C) : 2,24 gr/cm³

Kemurnian : >96%

Boiling Point : 2.850°C

Melting Point : 580°C

Solubility, in water : 1.730 mg/l kg H₂O (dengan suhu H₂O = 20°C)

(Sumber: MSDS., (2015); PT. Niraku Jaya Abadi., (2021))

Sifat Kimia Bahan:

1. Kalsium Hidroksida merupakan senyawa yang bersifat basa sedang.
2. Kalsium Hidroksida dihasilkan dari proses reaksi kalsium oksida (CaO) dengan air.
3. Ca(OH)₂ dalam bentuk larutan bereaksi cepat dengan berbagai asam dan bereaksi dengan banyak logam.

(Sumber: Perry., (1991)).

3.2 Produk

3.3.1 Kalsium Klorida Dihidrat

Sifat Fisik Bahan:

Rumus Molekul : CaCl_2

Berat Molekul : 147,01 gr/mol

Fasa : Padat (kristal kubik, bubuk, atau granula)

Ukuran Partikel : 3-5 milimeter

Densitas (pada 20°C) : 2,2 gr/mL

Persen Komposisi : Ca: 36,11%; Cl: 63,89%

Boiling Point : 1.670 – 1.935°C

Melting Point : 772°C

Titik Beku : 176°C

Kapasitas Panas : 60,378 kkal/kg°C

Solubility, in water : 100 gram/L (pada suhu = 30°C)

Solubility, in water : 132,4 gram/L (pada suhu = 50°C)

Solubility, in ethanol : 0,258 gr/L (pada suhu= 20°C)

Viskositas (787°C) : 3,34 mPa.s

(Sumber: *Chemical Market Reporter.*, (2021), MSDS., (2022))

Sifat Kimia Bahan:

1. Kalsium klorida memiliki warna fisik putih, berbentuk garam kristalin yang sangat mudah larut dalam air.
2. Kalsium klorida memiliki sifat higroskopis dan pada saat proses pelarutan akan membebaskan panas dalam jumlah yang besar.
3. Produk kalsium klorida memiliki beberapa macam jenis kemurnian yaitu: anhidrat, hidrat, dihidrat, tetrahidrat, dan heksahidrat.
4. Kalsium klorida dapat terbentuk dari hasil samping pembuatan soda abu ataupun dengan mereaksikan batu kapur/ CaCO_3 dengan asam klorida.

(Sumber: Orthmer., (1991)).

BAB X

KESIMPULAN DAN SARAN

10.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan analisis ekonomi yang telah dilakukan pada proses prarancangan Pabrik Kalsium Klorida dari Kalsium Karbonat dan Asam Klorida dengan Proses Netralisasi berkapasitas 20.000 Ton/tahun dapat diambil simpulan sebagai berikut:

- *Percent* dari *Return of Investment* (ROI) sesudah pajak sebesar 26,34%
- *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak selama 2,43 tahun.
- *Break Even Point* (BEP) yang didapat sebesar 54,84% dengan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 21,81%, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
- DCF (*Discounted Cash Flow Rate of Return*) sebesar 33%, dimana persentase lebih besar dari suku bunga bank saat ini, sehingga *investor* akan lebih memilih untuk menanamkan modalnya ke pabrik ini daripada ke bank.

10.2 Saran

Dengan dasar pertimbangan hasil analisis ekonomi yang sudah di jabarkan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa prarancangan untuk Pabrik Kalsium Klorida yang berbahan dasar Kalsium Karbonat dan Asam Klorida dengan Proses Netralisasi berkapasitas 20.000 Ton/Tahun layak untuk dikaji lebih lanjut (baik dari segi proses ataupun ekonominya).

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba. (2015). Product Price. <https://www.alibaba.com>. Diakses pada tanggal 18 Februari 2023.
- Anderson, PO., James, EK, & William, GT., (2002). Handbook of Clinical Drug Data. (10thEd.). *McGraw-Hill Companies: New York*.
- Asia Chemical. Apa Kegunaan Kalsium Klorida. <https://id.asiachemical.org>. Diakses pada tanggal 20 Februari 2023.
- Alva Laval., (2001). Alfa Laval Pump Handbook. *USA*.
- Aries, R.S and Newton R.D., (1955). Chemical Engineering Cost Estimation. *McGraw Hill Book Company, New York*.
- Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id>. Diakses pada tanggal 10 Februari 2023.
- Banchero, Julius T., and Walter L. Badger, (1970). Introduction to Chemical Engineering. *McGraw Hill: New York*.
- Biggo. <https://biggo.id>. Diakses pada tanggal 18 Februari 2023.
- Bina Marga (2010) ‘Spesifikasi umum 2010’, *Direktorat Jendral Bina Marga*, 2010(Revisi 3), pp. 1–6.

- Breton, Claude., Hanse, Michel., Bessenay, Laurent., Savary, David., (2010).
European Patent. Preparation of purified calcium chloride. EP 2396278A1.
- Brown, G.G., (1978). Unit Operation, 3rd edition. *Tokyo: McGraw-Hill International Book Company.*
- Brownell, L.E., and Young, E.H., (1959). Process equipment design: vessel design.
John Wiley & Sons.
- Chan, Arthur., Seider, Warren D., (2004). Batch Manufacture of PropyleneGlycol,
Department of Chemical and Biomolecular Engineering University of
Pennsylvania, *Pennsylvania.*
- Chianese, A., & Herman J. M. K.. (2012). Industrial Crystallization Process
Monitoring and Control. *Germany; Wiley-VCH Verlag & CO.*
- Chemical Database Online. <https://www.chembk.com/en>. Data kelarutan CaCl₂.
Diakses pada tanggal 24 Maret 2023.
- Chemical Engineering Plant Cost Index. <http://folk.ntnu.no.com/>. Indeks CEPCI.
Diakses pada 20 September 2023.
- Chemical Market Report. (2022). Calcium Chloride Technical Evaluation Report.
Unichem. pp.1-23.
- Coker, A. Kayode., (2007). Ludwig's Applied Process Design for Chemical and
Petrochemical Plant. 8th Edition vol 1. Elsevier Inc. ISBN 13: 978-0-7506-
7766-0. *United States of America.*
- Coulson, J.M., and Richardson, J. F. (1983). Particle Technology and Separation
Processes Chemical Engineering Volume 2 fifth edition. Design. *Elsevier
Ltd. Butterworth-Heinemann.*

- Daftar Perusahaan Indonesia. <https://daftarperusahaanindonesia.com>. Diakses pada tanggal 18 Februari 2023.
- Daftar UMK Jawa Timur. <https://www.detik.com/jatim/bisnis/d-6892330/daftar-umk-2023-di-jawa-timur>. Diakses pada tanggal 26 September 2023.
- Daya, Adika Tirta. (2021). Jaga Kualitas Air untuk Cooling Tower dengan WTP. <https://adikatirtadaya.co.id>. Diakses pada tanggal 1 Oktober 2023.
- Dogra, S.K., Dogra, S., Umar Mansyur. (1990). Kimia Fisik dan Soal-Soal. UI Press. Jakarta.
- Dow Chemical. (1966). Calcium Chloride Handbook. *Dow Chemical Company., Midland, Mich.* p. 45.
- Easy2learn. Youtube <https://youtu.be/K2XJa48rPJR>. Agitated tank Crystallizer (Crystallization part 2 Mass Transfer Operation-II [video]. Diakses pada tanggal 3 Juli 2023.
- Elsner, D., Jenkins, D.H., and Sinha, H.N., (1984). Alumina via hydrochloric acid leaching of high silica bauxites-process development. Metallurgical Society of the AIME. *New York:* p. 411-426.
- Elsner, D., and Rothon, Roger, N., (1998). Magnesium Process. United States Patent 5843389.
- Engineering Toolbox. https://www.engineeringtoolbox.com/water-liquid-gas-thermal-conductivity-temperature-pressure-d_2012.html. Data konduktivitas thermal air. Diakses pada 3 Juli 2023.

- Erny Agusri, S. K. (2018). Analisa Kebutuhan air untuk Hydrant dan Sprinkler di Transmart Mall Palembang. *Jurnal penelitian dan Kajian Teknik Sipil*.
- Fajobi, M. A., Loto, T. R., Oluwole, O.O., (2020). Austenitic 316L Stainless Steel ;Corosion and Organic Inhibitor: *A Review, Key Engineering Materials*.
- Finance. www.google.com/finance. Harga US Dollar. Diakses pada 22 September 2022.
- Foust, Alan S., Wenzel, L.A., Clump, C.W., Maus, Louis., Andersen, L.B., (1980). Principles of Unit Operations, 2nd Edition. *John Wiley & Sons: New York*.
- Geankoplis, C.J., (1993). Transport processes and unit operations. 3rd Edition. *Prentice Hall, New Jersey*. doi: 10.1016/0300-9467(80)85013-1.
- Green, Don W., and Robert P., (1997). Perrys Chemical Engineers Handbook Seventh and Sixth Edition. *Mc-Graw-Hill International Edition. Chemical Engineering Series, New York*.
- Green, Don W., and Perry, Robert H., (2007). Perry's chemical engineers' handbook 8th Edition. *McGraw-Hil, New York, US*.
- Guyer, J. Paul., (2014). An Introduction to Cooling Tower Water Treatment 2nd Edition. *The Clubhouse Press El Macero, California*.
- Handy, Russell, F., Billings, Rick, A., Fox, Stephen, R., (2007) 'Patent Application Publication (10) Pub. No.: US 2007 / 0197807 A1', *Us 2007 / 0197807 a1*, 1(60), pp. 19–21.
- Himmelblau, David, M., and Riggs, James, B., (2004). Basic principles and calculations in chemical engineering. Seventh edition. *Bernard Goodwin*.

- Himmelblau, David, M., and Riggs, James, B., (2012). *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, Chemical Engineering Science*. doi: 10.1016/0009-2509(74)87052-1.
- Hydro Land. Hydro-land.com/e-ligne-en/doc/CaCl2.html. Data kelarutan CaCl₂. Diakses pada tanggal 23 Maret 2023.
- Indriati, I. H. (2021) ‘Pengaruh Struktur Organisasi, Fasilitas Kerja Dan Beban Kerja Terhadap Efektivitas Kerja Pegawai Bpr Chandra Muktiartha Yogyakarta’, *Jembatan : Jurnal Ilmiah Manajemen*, 18(1), pp. 13–28. doi: 10.29259/jmbt.v18i1.12333.
- Indotrading. <https://www.indotrading.com>. Diakses pada tanggal 16 Februari 2023.
- Joshi, J.B., M. M. Sharma., (1976). Mass Transfer Characteristics of Horizontal Agitated Contactors, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. doi: 10.1002/cjce.5450540535.
- Joshi, M.V., (1976). Process Equipment Design. *The Macmillan Compan*. Rakesh Press: *New Delhi*.
- Mahassin, G., Nugroho, Muhammad A., Christianto, Nicolas., (2021). Mengenal Distributed Control System (DCS). <https://kamalogis.ft.ugm.ac.id>. Ikatan Mahasiswa Teknologi Instrumen UGM. *Yogyakarta*. Diakses pada tanggal 24 Oktober 2023.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia., (2017). Peraturan Menteri Kesehatan No. 32 Tahun 2017. Departemen Kesehatan RI. Jakarta.

- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia., (2023). Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023. Departemen Kesehatan RI. Jakarta.
- Kern, D.Q., (1965). Process heat transfer. *McGraw-Hill Book Company Japan Ltd.*
- Kiefer, David M. (2002). "Soda Ash, Solvay Style". *Today's Chemist at Work* 11 (2): 87-88, 90.
- Kim, J. S. and Jo, H. Y. (2020) 'Formation of calcium carbonates from Ca(OH)₂-H₂O-supercritical CO₂ using a rapid spraying method', *Korean Journal of Chemical Engineering*, 37(6), pp. 1086–1096. doi: 10.1007/s11814-020-0518-1.
- Kirk, R.E., Othmer, D.F., and Mann, C.A., (1992). Encyclopedia of Chemical Technology, Bearing Materials to Carbon. Vol. IV. The Journal of Physical Chemistry. *Wiley-Interscience*. ISBN 978-0471526728.
- Krohn, *et al.*, (1987). United States Patent. Process for the manufacture of Calcium Chloride. US Patent 4704265.
- Levenspiel, Octave, (1991). Chemical Reaction Engineering 3rd Edition. *John Wiley and Sons Inc, Singapore.*
- Lowenheim, F.A., Moran, M.K., (1975). Faith, Keyes, and Clark's Industrial Chemicals. *Wiley-Interscience, New York, US.*
- Matches. (2014). <http://www.matche.com/equipcost/Default.html>. Matches ' Process Equipment Cost Estimates. Diakses pada 25 September 2023.

- Maulana, S. and Fadli, A. (2017) 'Kinetika Reaksi Demineralisasi Isolasi Kitin Dari Cangkang Ebi', *Jom Fteknik*, 4(2), p. 1.
- McCabe, W.L., Smith, J.C., and Harriott, P., (1993). Unit operations of chemical engineering (Vol 5, p. 154). *McGraw-Hill: New York*.
- McGlinchey, D., and Rotter, M., (2008). Bulk Solids Handling. *Blackwell Publishing Ltd, Oxford: United Kingdom*. doi: 10.1002/9781444305449.
- Megyesy, Eugene, F., (2001). Pressure Vessel Handbook. Pressure Vessel Publishing: 12th Edition. *United States of America*.
- Mierczyńska, J. C. (2015). Effect of Storage on Rheology of Water Soluble, Chelate-Soluble and Diluted Alkali Soluble Pectin in Carrot Cell Walls. *Food Bioprocess Technol* 8:171-180. doi:10.1007/s11947-014-1392-9.
- Minton E. Paul., (1986). Handbook of Evaporation Technology. *Noyes Publications. United States*.
- Mitra 10. <https://www.mitra10.com/profil-bpe-1100-liter-pu-tangki-air>. Harga Toren air. Diakses pada tanggal 21 September 2023.
- Montaro.id. <https://www.monotaro.id/s009241813.html>. Harga Toren air. Diakses pada tanggal 21 September 2023.
- Mullin, J.W., (1976). Industrial Crystallization Design and Control. *Plenum Press. New York and London*.
- My Pertamina. Harga Bahan Bakar. <https://mypertamina.id/fuels-harga>. Diakses pada tanggal 21 September 2023.

- Nicole., (2019). <https://bergsen.com/stainless-steel-grades-properties/>. Nilai dan Properti Stainless Steel. Diakses pada tanggal 21 juni 2023.
- Omya, OmyaCARB., FT - FL Calcium Carbonate, p. 9. www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=6adeb6893fdc4249a89cee254a5390da. Diakses pada 20 Februari 2023.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Salinan Peraturan Presiden Republik Indonesia tentang Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Gresik, *PP Nomor 71, (2)*.
- Peta Google. <https://www.google.com/maps/>. Diakses pada tanggal 24 Februari 2023.
- Peter, M.S., and Timmerhaus, K.D., (1991). Plant Design and Economic for Chemical Engineers Forth Edition. *McGraw-Hill Inc.*
- Peter, M.S., and Timmerhaus, K.D., (2002). Plant Design and Economic for Chemical Engineers sixth Edition. *McGraw-Hill Inc.*
- PT.Acid Industri Bekasi (2023). Harga bahan baku HCL. Diakses pada tanggal 26 Februari 2023.
- PT. Sinar Asia Fortuna, (2023). Harga bahan baku CaCO₃. Diakses pada tanggal 26 Februari 2023.
- Qasim, S. R., (1985). Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation. *New York: CBS College Publishing.*
- Rase, H.F., (1977). Chemical reactor design for process plants/ Howard F. Rase; original ill. *By James R. Holmes. New York: Wiley.*

- Reid, R. C., Prausnitz, J. M., And Poling, B. E. (1987). *The Properties of Gases and Liquids. McGraw-Hill, New York.*
- Rumahwa. <https://rumah.waa2.co.id>. Tanah dijual di kawasan industri gresik JIPE. Diakses pada tanggal 27 September 2023.
- Samlawi, A. K., & Siswanto R., (2016). *Material Teknik. Diktat Bahan Kuliah, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat 2016.*
- Scientific, Thermo Fisher., (2022). *Safety Data Sheet Calcium Chloride Dihydrate. FSUC 1500.*
- Severn, W. H. & Degler, H. E., (1939). *Steam, Air and Gas Power. New York: J. Wiley & Sons Inc.*
- Sigma Aldrich. <https://www.sigmaaldrich.com/ID/en>. Data Kelarutan CaCl₂. Diakses pada tanggal 23 Maret 2023.
- Sinnott, R.K., (1983). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Series: Chemical Engineering Design. Chemical Engineering. 6.*
- Sinnott, R.K., (2005). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Series: Chemical Engineering Design, Vol 6 4th edition. Chemical Engineering: Elsevier. Jordan Hill, Oxford: USA.*
- Smith, J. M., Van Ness, H.C., (2001). *Introduction to chemical engineering thermodynamics eight edition, Journal of Chemical Education. McGraw-Hil, New York, US. doi: 10.1021/ed027p584.3.*
- Sulfindo, PT. Adiusaha., (2020). *Material Safety Data Sheet Hydrochloric Acid.*

- Syahwardini., T., (2014). <https://id.scribd.com/doc/240963277/utilitas-Pabrik-ppt#>
Utilitas Pabrik. Diakses pada tanggal 5 September 2023.
- Tetra Technologies. (2015). Petition to Remove the Prohibition for Use of Calcium Chloride as a Soil Applied NonSynthetic Substance in Organic Crop Production. *Tetra Technologies Inc. Woodlans.*
- Timerhause, M. S., Peter, K. D., (1991) *Plant Design and Economics for Chemical Engineering. Engineering, Editorial McGraw-Hill.*
- Towler, G., and Sinnott, R., (2008). Principles, practice and economics of plant and process design. Chemical Engineering Design 2nd Edition: *Elsevier Ltd. Butterworth-Heinemann.*
- Treybal, R. E., (1981). Mass Transfer Operation. *McGraw-Hill Book Co: New York*
- Vilbrand, Dryen., (1959). Chemical Engineering Plant Design fourth edition, *McGraw Hill, Tokyo.*
- Wallas, S.M., Couper, J.R., Penney, W.R., Fair, J.R., (1990). Chemical Process Equipment. Newton MA: Selection and Design. *Butherworth Heinemann.*
- Wallas, S.M., Couper, J.R., Penney, W.R., Fair, J.R., (2005). Chemical Process Equipment Selection and Design, 2nd edition. *Elsevier, Jordan Hill, Oxford: USA.*
- Waltpower. <https://waltpower.com/>. Harga Generator. Diakses pada tanggal 25 September 2023.

- Welty et.al, (2008). Fundamental of Momentum, Heat, and Mass Transfer, 5th edition. *John Wiley & Sons Inc: USA*.
- Yaws, C.L., (1999). Chemical properties handbook. *McGraw-Hill Education*. p. 770.
- Ulrich, G.D., (1984). A guide to chemical engineering process design and economics. *New York: Wiley*. p. 295.
- USDA National Organic Program. (2021). Technical Evaluation Report Calcium Chloride', pp. 1–23.