

**PRARANCANGAN PABRIK KALSIMUM KLORIDA DARI KALSIMUM
KARBONAT DAN ASAM KLORIDA DENGAN KAPASITAS 20.000
TON/TAHUN
(TUGAS KHUSUS *CRYSTALLIZER* (CR-301))**

(Skripsi)

Oleh:

Salma Shakira (1855041003)



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

ABSTRAK
PRARANCANGAN PABRIK KALSIMUM KLORIDA DARI KALSIMUM
KARBONAT DAN ASAM KLORIDA DENGAN KAPASITAS 20.000
TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan *Crystallizer* (CR-301))
Oleh
SALMA SHAKIRA

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 *solvolysis*. 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.465.848.379.751
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI) = Rp82.208.537.603
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI) = Rp.548.056.917.354
<i>Break Even Point</i>	(BEP) = 54,24%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP) = 21,75%
<i>Pay Out Time before Taxes</i>	(POT) _b = 2,02 tahun
<i>Pay Out Time after Taxes</i>	(POT) _a = 2,40 tahun
<i>Return on Investment before Taxes</i>	(ROI) _b = 33,47%
<i>Return on Investment after Taxes</i>	(ROI) _a = 26,78%
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF) = 34%

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

ABSTRACT
PREDESIGN OF CALSIUM CHLORIDE PLANT FROM CALCIUM
CARBONATE AND HYDROCHLORIC ACID WITH CAPACITY 20.000
TON/YEAR

(Crystallizer Design (CR-301))

By

SALMA SHAKIRA

Calcium chloride dihydrate is one of the products of the chemical industry which has many functions in various industrial fields, including: health, construction and the food industry. The calcium chloride production process can be carried out using the processes: neutralization and solvay. In the pre-design of the calcium chloride factory, the provision of factory utility needs includes: steam supply system, dry air, cooling water, and electric power generation system.

The calcium chloride factory design is designed to have a capacity of 20,000 tons/year with a total of 330 working days for 1 year. The factory is planned to be located in the JIPE Industrial Area, Gresik, East Java with a required workforce of 119 people. The type of business entity chosen is in the form of a Limited Liability Company (PT) with the highest leadership in the position of Main Director who is assisted by a General Manager who adheres to a functional organizational structure.

The economic analysis indicates that:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI) = Rp.465.848.379.751
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI) = Rp82.208.537.603
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI) = Rp.548.056.917.354
<i>Break Even Point</i>	(BEP) = 54,24%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP) = 21,75%
<i>Pay Out Time before Taxes</i>	(POT) _b = 2,02 tahun
<i>Pay Out Time after Taxes</i>	(POT) _a = 2,40 tahun
<i>Return on Investment before Taxes</i>	(ROI) _b = 33,47%
<i>Return on Investment after Taxes</i>	(ROI) _a = 26,78%
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF) = 34%

Considering this summary, the establishment of a calcium chloride factory is worthy of further study, both from a process and economic perspective.

**PRARANCANGAN PABRIK KALSIUM KLORIDA DARI KALSIUM
KARBONAT DAN ASAM KLORIDA DENGAN KAPASITAS 20.000
TON/TAHUN
(TUGAS KHUSUS *CRYSTALLIZER* (CR-301))**

Oleh:

Salma Shakira (1855041003)

Skripsi

Diajukan 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 KAPASITAS
20.000 TON TAHUN**
(Tugas Khusus Perancangan Crystallizer
(CR-301)

Nama Mahasiswa : **Salma Shakira**

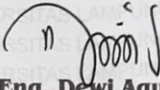
Nomor Pokok Mahasiswa : 1855041003

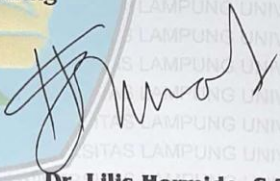
Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing


Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T.
NIP. 197208252000032001

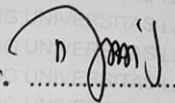

Dr. Lillis Hermida, S.T., M.Sc.
NIP. 196902081997032001

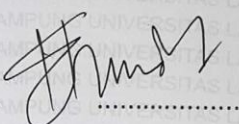
2. Ketua Jurusan


Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001

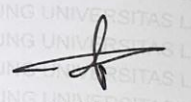
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

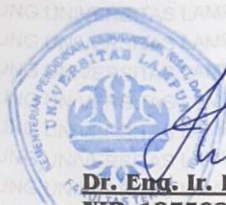
Ketua : **Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T.** 

Sekretaris : **Dr. Lillis Hermida, S.T., M.Sc.** 

Penguji
Bukan pembimbing I : **Taharuddin, S.T., M.Sc.** 

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

2. Dekan Fakultas Teknik




Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 197509282001121001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **8 November 2023**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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



NPM. 1855041003

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 21 Januari 2001, putri pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Edi Basuki dan Ibu Yuli Yanti.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar Swasta Tamansiswa Bandar Lampung pada tahun 2012, Sekolah Menengah Pertama Negeri 18 Bandar Lampung pada tahun 2015, dan Sekolah Menengah Atas Swasta YP UNILA Bandar Lampung pada tahun 2018.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Jalur SMMPTN 2018. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi sebagai staff Divisi Islam Departemen Kerohanian Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (Himatemia) FT Unila periode 2019-2020.

Pada tahun 2021, penulis melakukan Kerja Praktik di PT. Buma Cima dengan Tugas Khusus “Perhitungan Kebutuhan Kapur Pada Stasiun Diffuser dan Pemurnian Untuk Analisa pH”. Penulis juga melakukan penelitian dengan judul “Pengolahan Limbah Cair *Laundry* Dengan Proses Elektrokoagulasi Sistem *Batch Recycle* Menggunakan Elektroda Alumunium Monopolar”.

MOTTO

“Libatkanlah ALLAH Dalam Segala Urusan,
InsyaAllah Selalu Dalam Kemudahan”

“Janganlah Engkau Bersedih, Sesungguhnya
ALLAH SWT Bersama Kita”

QS At-Taubah : 40

Sebuah Karya...

Dengan sepenuh hati kupersembahkan tugas akhir ini kepada:

Allah SWT

*Karena kehendak-Nya, semua ini dapat ku peroleh
Atas berkat dan karunia-Nya, aku bisa menyelesaikan karya kecil
ini*

*Atas karunia-Nya dan anugerah-Nya, aku bisa bertahan selama
ini.*

Papa dan Mamaku,

*Terima kasih atas segalanya, doa, kasih sayang, pengorbanan, dan
keikhlasannya.*

*Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa dibandingkan dengan
pengorbanan dan kasih sayang selama ini*

Terimakasih atas segalanya.

Adikku, Batrisya Urfa dan Khalfan Abqary,

Terimakasih atas dukungan, doa dan keceriaannya selama ini.

Sahabat-sahabatku,

*Terimakasih atas dukungan, doa, keceriaan dan ketulusannya
selama ini.*

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

*Dan tak lupa kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta,
semoga kelak berguna dikemudian hari.*

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, atas segala berkat dan rahmat-Nya, sehingga tugas akhir ini dengan judul “Prarancangan Pabrik Kalsium Klorida dari Kalsium Karbonat dan Kalsium Klorida dengan Kapasitas 20.000 Ton/Tahun” dapat diselesaikan dengan baik.

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

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

1. Keluarga tercinta, Papaku tersayang Edi Basuki , Mamaku tersayang Yuli Yanti, Adikku tersayang Urfa, dan Khalfan serta seluruh keluarga besar atas pengorbanan, doa, dukungan, kepercayaan, ketulusan, bantuan dan semangat yang telah diberikan serta cinta dan kasih sayang yang selalu mengiringi setiap saat.
2. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T., yang super baik hati sekali, beliau adalah sosok ibu sekaligus pembimbing yang menjadi role model penulis dan selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan ilmu, pengarahan, saran, bimbingan, pengertian

dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.

4. Ibu Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Penelitian dan Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang telah memberikan ilmu, pengarahan, saran, bimbingan, pengertian dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
5. Bapak Taharuddin, S.T., M.Sc., selaku Dosen Peguji I yang telah memberikan ilmu, pengarahan, saran, bimbingan, pengertian dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
6. Donny Lesmana, S.T., M.Sc., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan ilmu, pengarahan, saran, dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari..
7. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
8. Valerie Ixion, teman seperjuangan yang selalu membersamai penulis, menjadi partner yang luar biasa walaupun penulis sering ke *pressure* terkejar *deadline*, serta menjadi *supporter* untuk sukses selalu. Terima kasih atas kerjasamanya dengan penulis selama ini dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir.
9. Devi, Alifa, Ulin, Ardel, Verna, Risti, dan Shilla. Teman-teman yang selalu menjadi pendengar yang baik, pemberi saran yang baik, penenang yang tersabar, selalu *supportive*, dan selalu ada buat penulis.
10. Teman-teman Teknik Kimia FT Unila 2018, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas bantuannya selama penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.

11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan mereka terhadap penulis dan semoga skripsi ini dapat dipergunakan sebaik-baiknya.

Bandar Lampung, 26 November 2023

Penulis,

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
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 Solvay (Proses I)	20
2.2.2 Proses Netralisasi (Proses II)	32
2.3 Uraian Proses.....	46
2.3.1 Deskripsi Proses	46
2.4 Tinjauan Kinetika	49
BAB III SPESIFIKASI BAHAN BAKU & PRODUK	50
3.1. Bahan Baku	50
3.1.1 Kalsium Karbonat	50

3.1.2 Asam Klorida.....	52
3.2 Produk	53
3.3.1 Kalsium Klorida Dihidrat	53
BAB IV NERACA MASSA DAN PANAS	55
4.1 Neraca Massa	56
4.2 Neraca Panas	62
BAB V SPESIFIKASI ALAT PROSES DAN UTILITAS	68
5.1 Spesifikasi Alat Proses	68
5.2 Spesifikasi Alat Utilitas	113
BAB VI UNIT UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....	131
6.1 Unit Pendukung Proses	131
6.2 Unit Pengolahan Limbah.....	141
6.3 Laboratorium	142
6.4 Instrumentasi dan Pengendalian Proses	145
BAB VII LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK.....	147
7.1 Lokasi Pabrik.....	147
7.2 Tata Letak Pabrik	152
7.3 Estimasi Area Pabrik	154
BAB VIII MANAJEMEN DAN ORGANISASI	159
8.1 Bentuk Perusahaan	159
8.2 Struktur Organisasi Perusahaan.....	161
8.3 Tugas dan Wewenang	166
8.4 Status Karyawan dan Sistem Penggajian	177
8.5 Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	178

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	46
Gambar 5. 1. Tangki Penyimpanan Kalsium Karbonat (SS-101)	69
Gambar 5. 2. Screw Conveyor	71
Gambar 5. 3. Bucket Elevator	73
Gambar 5. 4. Tangki Penyimpanan Asam Klorida (ST-101).....	77
Gambar 5. 5. Centrifugal Pump.....	79
Gambar 5. 6. Desain Reaktor Asidifikasi (RE-201).....	81
Gambar 5. 7. Double pipe Exchanger.....	83
Gambar 5. 8. Tangki Pengenceran Kalsium Hidroksida (DT-101).....	87
Gambar 5. 9. Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RE-202)	91
Gambar 5. 10. Mekanisme Rotary Drum Vacuum Filter	94
Gambar 5. 11. Vertical Short Tube Evaporator.....	96
Gambar 5. 12. Agitated crystallizer.....	99
Gambar 5. 13. Helical conveyor centrifuge.....	102
Gambar 5. 14. Troughed Belt on 20° Idlers	103
Gambar 5. 15. Double Pipe Exchanger	104

Gambar 5. 16. Rotary Dryer	106
Gambar 5. 17. Tangki Penyimpanan Kalsium Klorida (SS-401)	109
Gambar 5. 18. Troughed Belt on 20° Idlers	110
Gambar 5. 19. Cyclone (Dust Collector)	112
Gambar 6. 1. Cooling Tower	139
Gambar 7. 1. Peta Provinsi Jawa Timur Kabupaten Gresik	156
Gambar 7. 2. Kawasan Industri JIPE Provinsi Jawa Timur Kabupaten Gresik	156
Gambar 7. 3. Tata Letak Alat Proses	157
Gambar 7. 4. Tata Letak Pabrik dan Fasilitas Pendukung	158
Gambar 8. 1. Skema Struktur Organisasi Perusahaan	165
Gambar 9. 1. Grafik Analisa Ekonomi	196
Gambar 9. 2. Kurva Cumulative 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.....	24
Tabel 2. 3. Nilai konstanta C_p (kJ/mol.K)	26
Tabel 2. 4. Nilai ΔG_{298K} dari Komponen Proses Netralisasi	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	36
Tabel 2. 8. Nilai konstanta C_p (kJ/mol.K)	38
Tabel 2. 9. Nilai ΔG_{298K} dari Komponen Proses Netralisasi	40
Tabel 2. 10. Nilai konstanta C_p (kJ/mol.K)	42
Tabel 2. 11. Perbandingan Proses.....	45
Tabel 4. 1. Neraca Massa Reaktor Asidifikasi (RE-201)	56
Tabel 4. 2. Neraca Massa Dillution Tank (DT-101)	57
Tabel 4. 3. Neraca Massa Reaktor Netralisasi (RE-202)	57
Tabel 4. 4. Neraca Massa Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF-301)	58
Tabel 4. 5. Neraca Massa Evaporator (EV-301)	58

Tabel 4. 6. Neraca Massa Crystallizer (CR-301)	59
Tabel 4. 7. Neraca Massa Centrifuge (CF-301)	59
Tabel 4. 8. Neraca Massa Mix Point (MP-301)	60
Tabel 4. 9. Neraca Massa Evaporator (EV-301) Recycle	60
Tabel 4. 10. Neraca Massa Crystallizer (CR-301) Recycle.....	61
Tabel 4. 11. Neraca Massa Centrifuge (CF-301) Recycle.....	61
Tabel 4. 12. Neraca Massa Rotary Dryer (RD-301).....	62
Tabel 4. 13. Neraca Energi Reaktor Asidifikasi (RE-201).....	62
Tabel 4. 14. Neraca Energi Dissolution Tank (DT-101).....	63
Tabel 4. 15. Neraca Energi Heater (HE-201).....	63
Tabel 4. 16. Neraca Energi Heater (HE-101).....	63
Tabel 4. 17. Neraca Energi Reaktor Netralisasi (RE-202)	64
Tabel 4. 18. Neraca Energi Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF-301).....	64
Tabel 4. 19. Neraca Energi Evaporator (EV-301).....	65
Tabel 4. 20. Neraca Energi <i>Crystallizer</i> (CR-301).....	65
Tabel 4. 21. Neraca Energi Centrifuge (CF-301)	65
Tabel 4. 22. Neraca Energi <i>Mix Point</i> (MP-301)	66
Tabel 4. 23. Neraca Energi Evaporator (EV-301) Recycle	66
Tabel 4. 24. Neraca Energi Crystallizer (CR-301) Recycle	66
Tabel 4. 25. Neraca Energi Centrifuge (CF-301) Recycle	67
Tabel 4. 26. Neraca Energi Rotary Dryer (RD-301)	67
Tabel 4. 27. Neraca Energi Heater (HE-301).....	67
Tabel 5. 1. Spesifikasi Tangki Kalsium Karbonat (SS - 101).....	69

Tabel 5. 2. Spesifikasi Screw Conveyor (SC-101).....	71
Tabel 5. 3. Spesifikasi Bucket Elevator CaCO ₃ (BE-101)	73
Tabel 5. 4. Spesifikasi Hopper (H-101)	74
Tabel 5. 5. Spesifikasi Bucket Elevator Ca(OH) ₂ (BE-102)	75
Tabel 5. 6. Spesifikasi Hopper (H-102)	75
Tabel 5. 7. Spesifikasi Tangki Asam Klorida (ST - 101).....	77
Tabel 5. 8. Spesifikasi Pompa Proses (PP-101)	79
Tabel 5. 9. Spesifikasi Reaktor Asidifikasi (RE-201)	81
Tabel 5. 10. Spesifikasi Pompa Proses (PP-201)	82
Tabel 5. 11. Spesifikasi Heater (HE–201).....	83
Tabel 5. 12. Spesifikasi Tangki Kalsium Hidroksida (SS-102)	84
Tabel 5. 13. Spesifikasi Screw Conveyor (SC-102).....	85
Tabel 5. 14. Spesifikasi Pompa Proses (PP-102)	85
Tabel 5. 15. Spesifikasi Tangki Pengenceran Kalsium Hidroksida (DT-101).....	87
Tabel 5. 16. Spesifikasi Pompa Proses (PP-103)	88
Tabel 5. 17. Spesifikasi Heater (HE–101).....	89
Tabel 5. 18. Spesifikasi Reaktor Netralisasi (RE-202).....	91
Tabel 5. 19. Spesifikasi Pompa Proses (PP-202)	92
Tabel 5. 20. Spesifikasi Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF-301).....	94
Tabel 5. 21. Spesifikasi Pompa Proses (PP-301)	94
Tabel 5. 22. Spesifikasi Evaporator (EV-301)	96
Tabel 5. 23. Spesifikasi Pompa Proses (PP-302)	98
Tabel 5. 24. Spesifikasi Crystallizer (CR – 301).....	100

Tabel 5. 25. Spesifikasi Pompa Proses (PP-303)	101
Tabel 5. 26. Spesifikasi Centrifuge (CF – 301).....	102
Tabel 5. 27. Spesifikasi Belt Conveyor (BC – 301).....	103
Tabel 5. 28. Spesifikasi Pompa Proses (PP-304)	104
Tabel 5. 29. Spesifikasi Heater Udara (HE–301).....	105
Tabel 5. 30. Spesifikasi rotary dryer (RD-301).....	106
Tabel 5. 31. Spesifikasi Screw Conveyor (SC-401).....	107
Tabel 5. 32. Spesifikasi Tangki Kalsium Klorida Dihidrat (SS-401).....	109
Tabel 5. 33. Spesifikasi Belt Conveyor (BC– 401).....	110
Tabel 5. 34. Spesifikasi Gudang Penyimpanan Produk $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (WH-401)	111
Tabel 5. 35. Spesifikasi Cyclone (Dust Collector) (CC-401).....	112
Tabel 5. 36. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-101)	113
Tabel 5. 37. Spesifikasi Tangki Demineralized Water (ST-101)	114
Tabel 5. 38. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-102)	114
Tabel 5. 39. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-103)	115
Tabel 5. 40. Spesifikasi Domestic Water Tank (DW-101)	115
Tabel 5. 41. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-104)	116
Tabel 5. 42. Spesifikasi Hydrant Water Tank (DW-101).....	116
Tabel 5. 43. Spesifikasi Hot Basin (HB-101).....	117
Tabel 5. 44. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-105)	117
Tabel 5. 45. Spesifikasi Storage Tank Dispersant (ST-102)	118
Tabel 5. 46. Spesifikasi Storage Tank Inhibitor (ST-103)	118
Tabel 5. 47. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-106)	119

Tabel 5. 48. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-107)	119
Tabel 5. 49. Spesifikasi Cooling Tower (CT-101)	120
Tabel 5. 50. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-108)	120
Tabel 5. 51. Spesifikasi Cold Basin (CB-101)	121
Tabel 5. 52. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-109)	121
Tabel 5. 53. Spesifikasi Storage Tank Hydrazine (ST-104).....	122
Tabel 5. 54. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-110)	122
Tabel 5. 55. Spesifikasi Deaerator (DA-101)	123
Tabel 5. 56. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-111)	123
Tabel 5. 57. Spesifikasi Boiler (BO-101).....	124
Tabel 5. 58. Spesifikasi Steam Blower (SB-101).....	124
Tabel 5. 59. Spesifikasi Blower Udara (BU-101)	125
Tabel 5. 60. Spesifikasi Cyclone (CC-101).....	125
Tabel 5. 61. Spesifikasi Air Dryer (AD – 501)	126
Tabel 5. 62. Spesifikasi Air Compressor (AC-101).....	127
Tabel 5. 63. Spesifikasi Blower Udara (BU-102)	127
Tabel 5. 64. Spesifikasi Blower Udara (BU-103)	128
Tabel 5. 65. Spesifikasi Blower Udara (BU-104)	128
Tabel 5. 66. Spesifikasi Generator (GS-104)	129
Tabel 5. 67. Spesifikasi Tangki Penyimpanan BBM (ST–105)	129
Tabel 5. 68. Spesifikasi Bak Limbah (BL-101)	130
Tabel 6. 1. Parameter Air Sanitasi	134
Tabel 6. 2. Kebutuhan Air Proses.....	136
Tabel 6. 3. Kebutuhan Air Pendingin.....	137

Tabel 6. 4. Kebutuhan Air Umpan Boiler	140
Tabel 6. 5. Alat Ukur Pengendalian Variabel Utama Proses	146
Tabel 7. 1. Estimasi Luas Bangunan Pabrik	155
Tabel 8. 1. Skema Jadwal Kerja Tiap Shift	180
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, Kalimat 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 $<-6,7^{\circ}\text{C}$.

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-cabai.
- 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:

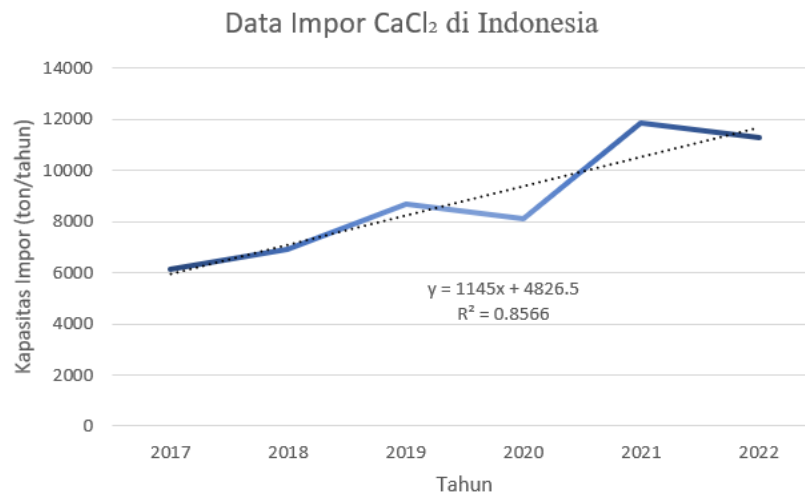
1. Data Impor

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

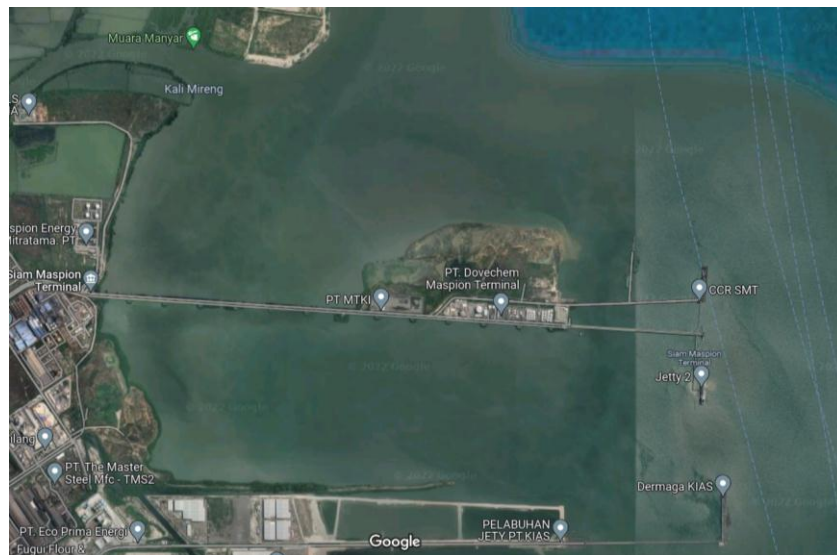
Tahun	Jumlah Impor Produk (ton)*
2023	11.966,30
2024	12.684,28
2025	13.445,33
2026	14.252,05
2027	15.107,18
2028	16.013,61
2029	16.974,42
2030	17.992,89

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-Ngagem 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

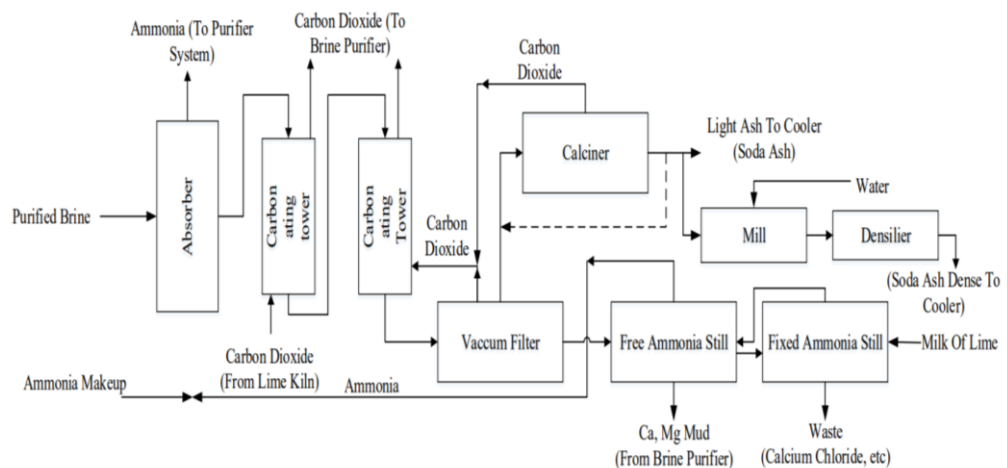
Kalsium klorida pertama kali ditemui pada abad ke-15, namun pengaplikasian pada skala industri tidak dijalani dan tidak mengalami perkembangan hingga akhir abad ke-18. Awal mula penemuan salah satu proses (*Proses Solvay*) yaitu untuk memproduksi natrium karbonat yang menghasilkan produk samping yaitu 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)).



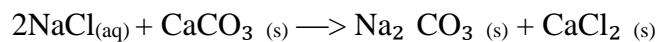
Gambar 2. 1. Pembuatan CaCl_2 dengan Proses *Solvay*

Sumber: U.S. Patent (EP2396278A1)

Proses Solvay menghasilkan soda cuci (terutama dalam bentuk natrium karbonat ($\text{Na}_2 \text{CO}_3$)) 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:

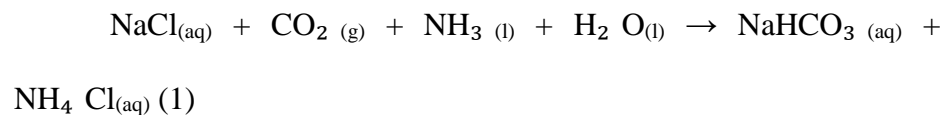
Persamaan reaksi:



(Sumber: Chemical Market., 2021).

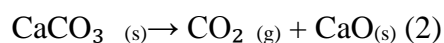
Namun, rincian proses Solvay yang sebenarnya cukup rumit. Adapun penjabaran proses Solvay pembuatan natrium karbonat dengan kalsium klorida sebagai produk sampingnya adalah sebagai berikut: (Kiefer, David M, 2002)

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

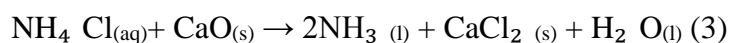


2. Di pabrik-pabrik, reaksi ini dilakukan dengan mengalirkan air garam melalui dua menara. Di menara pertama, air garam diserapkan dengan gas amonia. Di menara kedua, gas karbon dioksida melewati air garam yang telah menyerap amonia, dan natrium bikarbonat lalu mengalami pengendapan. Amonia yang diperlukan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

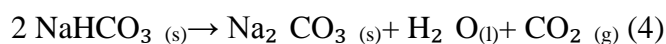
3. Karbon dioksida yang dibutuhkan untuk reaksi (1) dihasilkan lewat proses pemanasan ("kalsinasi") batu kapur pada suhu 950–1100 °C. Kalsium karbonat (CaCO_3) di dalam batu kapur diubah sebagian menjadi kalsium oksida (CaO) dan karbon dioksida:



Natrium bikarbonat (NaHCO_3) yang mengalami pengendapan pada reaksi (1) disaring dari larutan amonium klorida yang panas ($\text{NH}_4 \text{Cl}$), dan amonium klorida lalu bereaksi dengan kalsium oksida (CaO) dari proses pemanasan batu kapur dalam langkah (2).

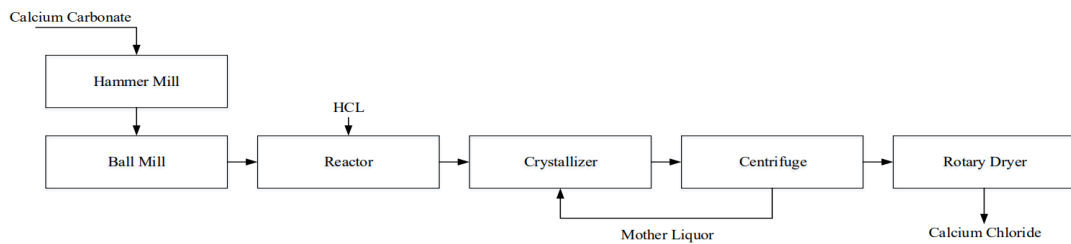


4. CaO merupakan larutan basa yang kuat. Amonia dari reaksi (3) didaurulang untuk reaksi (1). Endapan natrium bikarbonat (NaHCO_3) dari reaksi (1) lalu diubah menjadi natrium karbonat ($\text{Na}_2 \text{CO}_3$) lewat proses kalsinasi pada suhu 160–230 °C dengan air dan karbon dioksida sebagai produk 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 CaCl_2 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)



$$\text{BM (kg/kmol)} = 58,5 \quad 100,09 \quad 106 \quad 110,98$$

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

$$\text{Waktu Produksi} = 330 \text{ hari}$$

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

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,

	2NaCl	$+ \text{CaCO}_3$	\longrightarrow	Na_2CO_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%

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

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

$$\text{Massa NaCl} = \text{Mol NaCl awal} \times \text{BM NaCl}$$

$$= 146,80 \text{ kmol/jam} \times 58,5 \text{ kg/kmol}$$

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

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%

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

$$\text{Mol CaCO}_3 \text{ awal} = 73,40 \text{ kmol/jam}$$

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

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 :

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

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

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

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%

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

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

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

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

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

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

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

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

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 $\Delta H_{(F \text{ } 298\text{K})}$ dari Komponen Proses Netralisasi pada Suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	$\Delta H^\circ_{F \text{ } 298\text{K}}$ (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:

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

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))

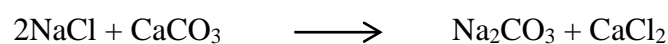
Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada tabel berikut:

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:

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

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

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

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

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)

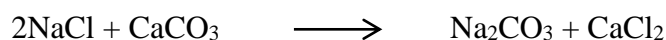
Energi bebas *gibbs* (ΔG) berfungsi untuk menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia. (ΔG) bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan dan reaksinya akan bergerak ke arah reaktan sehingga membutuhkan energi tambahan dari luar. Sedangkan, 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 Netralisasi 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)

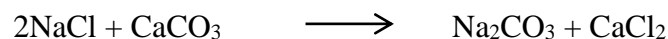
Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat tabel berikut:

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:

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

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

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:

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ &= \Delta H_0^\circ - \frac{T}{T_0}(\Delta H_0^\circ - \Delta G_0^\circ) \\ &\quad + R \left[\Delta A(T - T_0) + \frac{\Delta B}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{\Delta C}{3}(T^3 - T_0^3) + \Delta D \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \right] \\ &\quad - RT \left[\Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 \times T^2} \right) \left(\frac{T + T_0}{2} \right) \right] (T - T_0) \right] \\ \Delta G^\circ &= 122.516 - \frac{353}{298} (109,127 - (122.516)) \\ &\quad + 8,314 \left[-14,978(353 - 298) + \frac{-0,00503}{2} (353^2 - 298^2) \right. \\ &\quad \left. + \frac{0}{3} (353^3 - 298^3) + (-0,30197) \left(\frac{353 - 298}{(353)(298)} \right) \right] - 8,314 \\ &\quad \times 298 \left[-14,978 \ln \frac{353}{298} \right. \\ &\quad \left. + \left[-0,00503 + \left(0 + \frac{-0,30197}{298^2 \times 353^2} \right) \left(\frac{353 + 298}{2} \right) \right] (353 - 298) \right] \end{aligned}$$

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

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 Klorida	4,50	Rp70.560

Sumber: (alibaba.com, indotrading.com)

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



$$\text{BM (kg/kmol)} = 100,09 \quad 36,46 \quad 110,98 \quad 18,01 \quad 44,01$$

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

$$\text{Waktu Produksi} = 330 \text{ hari}$$

$$\text{Massa CaCl}_2 = \frac{120000 \text{ ton}}{1 \text{ tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 2.525,25 \text{ kg/jam}$$

Dengan kapasitas produksi kalsium klorida sebesar 2.525,25 kg/jam dengan konversi 80% berdasarkan (Chemical Market Reporter., 2002) 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 (CaCO_3)

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

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

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

$$\text{Massa CaCO}_3 = \text{Mol CaCO}_3 \text{ awal} \times \text{BM CaCO}_3$$

$$= 28,443 \text{ kmol/jam} \times 100,09 \text{ kg/kmol}$$

$$= 2.846,825 \text{ kg/jam}$$

Dengan tingkat kemurnian 98,5%, maka massa CaCO_3 :

$$\text{Massa CaCO}_3 = \frac{2.846,825 \text{ kg/jam}}{0.985}$$

$$= 2.890,178 \text{ kg/jam}$$

$$= 22.890.209,76 \text{ kg/tahun}$$

Sehingga Harga untuk Bahan Baku CaCO_3 :

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

$$= 22.890.209,76 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}3.449,6,-$$

$$= \text{Rp}78.962.062.950,02/\text{tahun}$$

Asam Klorida (HCl)

Bahan baku asam klorida yang digunakan dengan kemurnian 37%

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

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

$$\text{Massa HCl} = \text{Mol HCl awal} \times \text{BM HCl}$$

$$= 56,886 \text{ kmol/jam} \times 36,5 \text{ kg/kmol}$$

$$= 2.076,34 \text{ kg/jam}$$

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:

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

Sehingga total dari harga bahan baku adalah:

$$\begin{aligned} \text{Total Bahan Baku} &= \text{Rp}78.962.067.588,096 + \text{Rp}111.501.950.680 \\ &= \text{Rp}190.464.013.630,20 /\text{tahun} \end{aligned}$$

Kalsium Klorida (CaCl₂)

Produk kalsium klorida yang akan dihasilkan dengan kemurnian 98%

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

$$\begin{aligned} \text{Harga Produksi CaCl}_2 &= \text{Kapasitas Produksi} \times \text{Harga Produk} \\ &= 20.000.000 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}70.560,- \\ &= \text{Rp}.1.411.200.000.000,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka EP/Profit} &= \text{Harga Jual Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\
 &= \text{Rp.1.411.200.000.000} - \text{Rp190.464.013.630,20} \\
 &= \text{Rp.1.220.735.986.369,80/tahun}
 \end{aligned}$$

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	$\Delta H^\circ_{F\ 298K}$ (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))

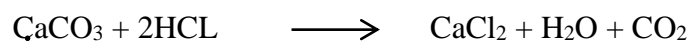
Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

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:

$$R = 8,314$$

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

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

$$\Delta H^\circ_{298} = \Delta H_0^\circ = -80,93 \text{ kJ/mol}$$

Maka diperoleh nilai:

$$\begin{aligned}\Delta A &= (A \text{ CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2) - (A \text{ CaCO}_3 + 2\text{HCL}) \\ &= (17,573) - 18,884 \\ &= -1,311\end{aligned}$$

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:

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

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

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

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

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 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, *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))

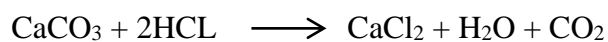
Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada **Tabel 2.10**:

Tabel 2. 10. 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:

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

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

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

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

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

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:

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

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

$$\Delta G^\circ = 389,356 \text{ kJ/mol.}$$

Diperoleh nilai ΔG° suhu reaksi pada reaksi proses Netralisasi sebesar 401,356. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai $\Delta G > 0$, sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi tidak dapat berlangsung secara spontan. Hal ini disimpulkan dari nilai energi bebas yang dihasilkan positif, sehingga menunjukkan reaksi ini membutuhkan energi tambahan untuk berjalan.

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

Tabel 2. 11. Perbandingan Proses

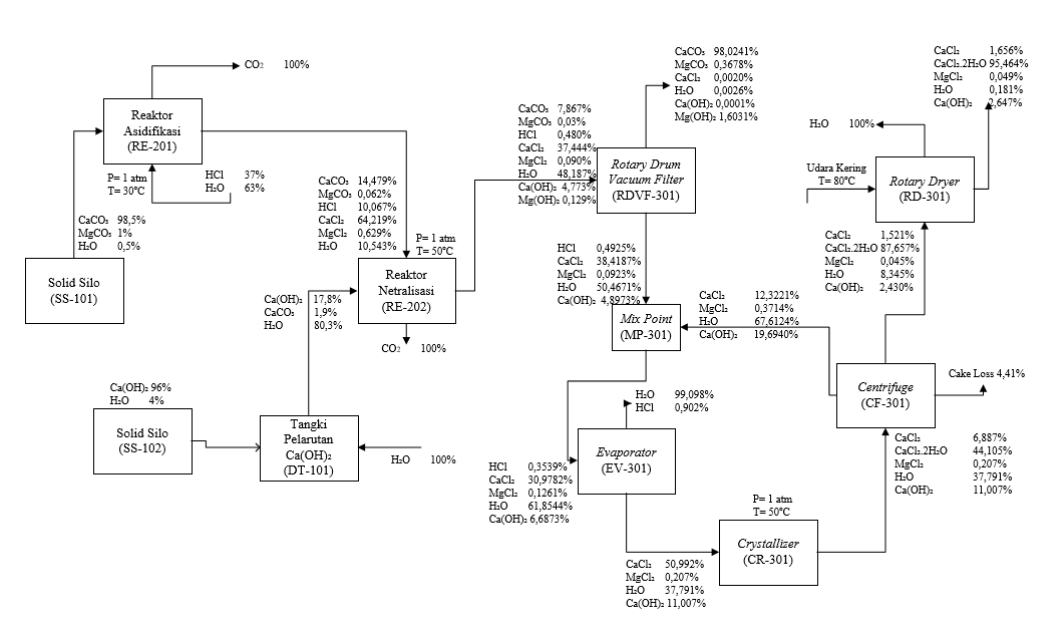
Keterangan	Proses I	Proses II
Bahan Baku	NaCl dan CaCO ₃	CaCO ₃ dan HCl
Jenis Reaksi	<i>Irreversible</i>	<i>Reversible</i>
Keuntungan (Rp/Tahun)	668.801.216.289,92	1.220.735.986.369,80
Tekanan (atm)	3-5	1
Suhu Reaksi (°C)	80	30-50
ΔH (kJ/mol)	-6.8239,97	-344,254
ΔG (kJ/mol)	646,087	389,356
Kadar Produk	55%	96-99%
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:

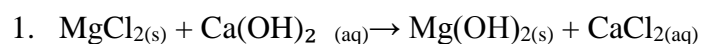
Reaksi Utama:



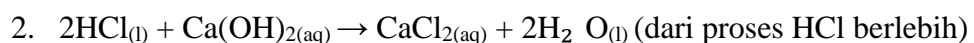
Reaksi Samping:



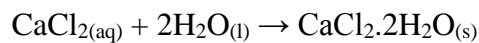
Produk dari reaksi ini berupa larutan kalsium klorida yang kemudian akan dibawa menuju reaktor netralisasi (RE-202) dengan suhu 50°C untuk memisahkan magnesium yang masih terkandung dalam bahan baku dan menetralsir sisa asam. Penetralsiran asam ini membutuhkan bahan tambahan yaitu Ca(OH)₂ yang dilarutkan 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 sementara (ST-301). Cake ditampung pada bak penampung limbah (SS-302) 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:

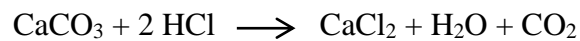


Produk kristal kemudian akan diumpankan pada *centrifuge* (CF-301) untuk proses pemisahan *cake* dan filtrat yang terbentuk. Filtrat berupa *mother liquor* dibawa kembali menuju ke *evaporator* (EV-301), sedangkan *cake* berupa kristal kalsium klorida diumpankan ke *rotary dryer* (RD-301). Pada *rotary 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:

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

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

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

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/cm³

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 H₂ O (dengan suhu H₂ O = 18°C)

Solubility, hot water : 0,0019kg/100 kg H₂ O (dengan suhu H₂ O = 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 H₂ O (dengan suhu H₂ O = 0°C)

Solubility, hot water : 56,1 kg/100 kg H₂ O (dengan suhu H₂ O = 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)).

3.2 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/mL (pada suhu = 30°C)

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

Solubility, in ethanol : 0,258 gr/mL (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 33,47%
- *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak selama 2,4 tahun.
- *Break Even Point* (BEP) yang didapat sebesar 54,24% dengan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 21,75%, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
- DCF (*Discounted Cash Flow Rate of Return*) sebesar 34%, 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.
- 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). Perry's 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](https://doi.org/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 Willey 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 CaCO_3 . 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.