

**PRARANCANGAN PABRIK *PRECIPITATED CALCIUM
CARBONATE* DENGAN PROSES KARBONASI KAPASITAS
90.000 TON/TAHUN
(Prarancangan Reaktor (R-201))**

(Skripsi)

Oleh

**ZAHRA CHOIRUNISA
NPM 2015041009**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK *PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE* DENGAN PROSES KARBONASI KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN (Prarancangan Reaktor (R-201))

Oleh

ZAHRA CHOIRUNISA

Pabrik *Precipitated Calcium Carbonate* berbahan baku Batu Kapur di dirikan di Tuban, Jawa Timur. Pabrik ini berdiri dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, sarana transportasi yang memadai, tenaga kerja yang mudah didapatkan dan kondisi lingkungan. Pabrik direncanakan memproduksi *Precipitated Calcium Carbonate* sebanyak 90.000 ton/tahun, dengan waktu operasi 24 jam/hari, 330 hari/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah Batu Kapur sebanyak 14.641,720 kg/jam.

Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik *Precipitated Calcium Carbonate* berupa penyediaan air, pengadaan listrik, kebutuhan bahan bakar, dan pengadaan udara proses, dan udara instrumentasi. Bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) menggunakan struktur organisasi *line* dan *staff* dengan jumlah karyawan sebanyak 129 orang.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 415.538.359.979
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 73.330.298.820
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 488.868.658.798
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 37,18%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 16,38%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 2,06 tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 2,44 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 32,86%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 26,29%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 34,82%

Mempertimbangkan paparan di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik *Precipitated Calcium Carbonate* ini dikaji lebih lanjut karena pabrik yang menguntungkan dan mempunyai masa depan yang baik.

ABSTRACT

PRARANCANGAN PABRIK *PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE* DENGAN PROSES KARBONASI KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN (Prarancangan Reaktor (R-201))

Oleh

ZAHRA CHOIRUNISA

Precipitated Calcium Carbonate (PCC) plant utilizing limestone as the raw material is planned to be established in Tuban, East Java. The selection of the plant location is based on several considerations, including the availability of raw materials, adequate transportation facilities, accessibility of labor, and favorable environmental conditions. The plant is designed to produce 90,000 tons of Precipitated Calcium Carbonate, operating continuously for 24 hours per day and 330 days per year. The primary raw material required is limestone, with a consumption rate of 14,641.720 kg/hour.

The utility requirements for the Precipitated Calcium Carbonate plant include water supply, electricity generation, fuel supply, process air, and instrument air systems. The company is planned to operate in the form of a Limited Liability Company (PT) employing a line-and-staff organizational structure with a total workforce of 129 employees.

Based on the economic analysis, the following results were obtained:

Fixed Capital Investment	(FCI)	= Rp 415.538.359.979
Working Capital Investment	(WCI)	= Rp 73.330.298.820
Total Capital Investment	(TCI)	= Rp 488.868.658.798
Break Even Point	(BEP)	= 37,18%
Shut Down Point	(SDP)	= 16,38%
Pay Out Time before taxes	(POT) _b	= 2,06 years
Pay Out Time after taxes	(POT) _a	= 2,44 years
Return on Investment before taxes	(ROI) _b	= 32,86%
Return on Investment after taxes	(ROI) _a	= 26,29%
Discounted cash flow	(DCF)	= 34,82%

Considering the economic evaluation and technical aspects presented above, the establishment of this Precipitated Calcium Carbonate plant is considered feasible for further development, as it demonstrates favorable profitability and promising future prospects.

Judul Skripsi : PRARANCANGAN PABRIK *PRECIPITATED*
CALCIUM CARBONATE DENGAN PROSES
KARBONASI KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN
(Prarancangan Reaktor (R-201))

Nama Mahasiswa : Zahra Choirunisa

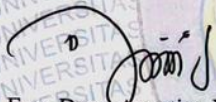
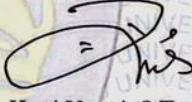
No. Pokok Mahasiswa : 2015041009

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI,

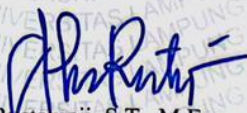
Komisi Pembimbing

 
Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., MT. Dr. Herti Utami, S.T., M.T.

NIP. 197208252000032001

NIP. 197112192000032001

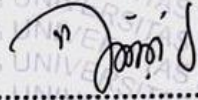
Ketua Jurusan Teknik Kimia


Dr. Heri Rustamaji, S.T., M.Eng.

NIP. 198011212006041002


MENGESAHKAN

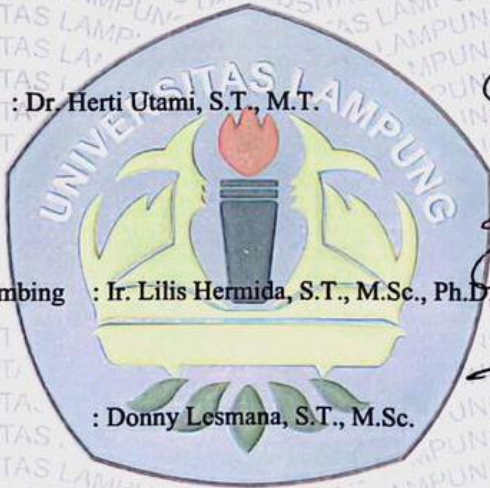
1. Tim Penguji

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

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

Penguji
Bukan Pembimbing : Ir. Lilis Hermida, S.T., M.Sc., Ph.D. 

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



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

 Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 05 Juni 2026



SURAT PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 17 Juni 2026



Zahra Choirunisa

NPM. 2015041009

RIWAYAT HIDUP



Zahra Choirunisa lahir di Pringsewu, Lampung, pada tanggal 29 November 2001, sebagai putri ketiga dari tiga bersaudara pasangan Samsuri dan Latifah.

Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak – Kanak TK Aisyiyah III pada tahun 2008, pendidikan dasar di SD Muhammadiyah Pringsewu pada tahun 2014, pendidikan menengah pertama di MTsN Pringsewu pada tahun 2017, dan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Pringsewu pada tahun 2020. Pada tahun 2020, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper* pada tahun 2023 dengan tugas khusus “Pengaruh Penggunaan ClO_2 Terhadap Kappa Number, Viskositas, dan *Brightness* Pada Tahap Pemoihan (D0 Stage) di Unit *Bleaching*”. Selain itu, penulis juga melakukan penelitian di Laboratorium Kimia Terapan, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dengan judul “Peningkatan Produktivitas Biomassa dan Lipid *Spirulina* sp., *Dunaliella* sp., dan *Nitzschia* sp. Variasi Waktu Panen dengan Kombinasi Mutasi EMS dan Sinar UV-C”.

Dalam bidang organisasi dan pengembangan diri, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan. Penulis menjabat sebagai Staf Departemen Edukasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia periode 2021 dan 2022. Selain itu, penulis juga aktif kegiatan sosial di Komunitas Kejar Mimpi Lampung.

Motto dan Persembahkan

"Apa yang telah ditakdirkan untukmu tidak akan pernah melewatkanmu"

–Umar bin Khattab

"Tetapi boleh jadi kamu tidak menyenangi sesuatu, padahal itu baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu tidak baik bagimu. Allah mengetahui, sedangkan kamu tidak mengetahui"

(QS. Al-Baqarah: 216)

Sebuah Karya

Dengan sepenuh hati kupersembahkan Tugas Akhir ini kepada:
Allah SWT, berkat Rahmat dan Ridho-Nya aku dapat menyelesaikan
karyaku ini

Ayah dan Ibu sebagai pengganti atas pengorbanan yang sudah tak
terhitung jumlahnya, terima kasih atas do'a, kasih sayang dan
pengorbanannya selama ini.

Guru & Dosen, terima kasih atas ilmu dan bimbingan yang telah
diberikan.

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

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini yang berjudul “Prarancangan Pabrik *Precipitated Calcium Carbonate* dengan Proses Karbonasi Kapasitas 90.000 ton/tahun”.

Tugas akhir ini merupakan salah satu dari mata kuliah wajib sebagai syarat untuk memperoleh derajat kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung. Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Samsuri dan Ibu Latifah selaku kedua orangtua saya serta Istiqomah dan Fini Diana Fatania selaku kedua saudara saya yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Heri Rustamaji, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung atas izin, motivasi dan arahan yang telah diberikan.
3. Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I yang senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan nasihat, bimbingan dan saran perbaikan akan tugas akhir ini.
4. Ibu Dr. Herti Utami, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan nasihat, bimbingan dan saran perbaikan akan Tugas Akhir ini.

5. Ibu Ir. Lilis Hermida, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen penguji I, yang telah memberikan saran dan kritik, juga selaku dosen atas semua ilmu yang telah penulis dapatkan.
6. Bapak Donny Lesmana, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan saran dan kritik, juga selaku dosen atas semua ilmu yang telah penulis dapatkan.
7. Ibu Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik yang telah mengarahkan penulis dan menjalankan perkuliahan dan memberikan saran serta motivasi kepada penulis.
8. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
9. Teman-teman dekat saya, alm. Putri Devasari, Putri Nur Aziza, Bareta Kenediana Alma, Irmadiyah, Ilma Naim Jauharoh, terimakasih atas bantuan, dukungan, motivasi dan waktu yang telah kalian berikan kepada saya selama mengerjakan tugas akhir ini.
10. Teman-teman seperjuangan Angkatan 2020, terimakasih atas bantuannya selama penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini. Kakak – kakak tingkat dan adik – adik tingkat di Teknik Kimia yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Semoga Allah membalas semua kebaikan mereka terhadap penulis dan semoga tugas akhir ini dapat berguna bagi semua pihak.

Bandar Lampung, 17 Juni 2026

Penulis

Zahra Choirunisa

2015041009

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Kegunaan Produk.....	2
1.3. Ketersediaan Bahan Baku.....	2
1.4. Analisa Pasar.....	3
1.5. Kapasitas Pabrik.....	3
1.5.1 Kebutuhan <i>Precipitated Calcium Carbonate</i> di Indonesia.....	3
1.5.2 Peluang Ekspor <i>Precipitated Calcium Carbonate</i>	6
1.5.3 Kapasitas Pabrik <i>Precipitated Calcium Carbonate</i>	7
1.5.4 Penentuan Kapasitas Pabrik <i>Precipitated Calcium Carbonate</i>	8
1.6. Penentuan Lokasi Pabrik.....	9
II. DESKRIPSI PROSES.....	12
2.1 Macam-Macam Proses.....	13
2.1.1 Proses Karbonasi.....	13
2.1.2 Proses <i>Lime Soda</i>	13
2.1.3 Proses <i>Calcium Chloride</i>	14
2.2 Pemilihan Proses.....	15
2.2.1 Tinjauan Ekonomi.....	15
2.2.2 Tinjauan Termodinamika.....	23

2.2.3 Tinjauan Termodinamika Berdasarkan Energi Gibbs (ΔG°).....	33
2.2.4 Tinjauan Kinetika	46
2.3 Deskripsi Proses	47
2.3.1 Tahap Penyediaan Bahan Baku	47
2.3.2 Tahap Pembentukan <i>Precipitated Calcium Carbonate</i>	48
2.3.3 Tahap Pengeringan	48
III. SPESIFIKASI BAHAN BAKU & PRODUK	50
3.1 Bahan Baku	50
3.1.1 Kalsium Karbonat.....	50
3.1.2 Karbon Dioksida.....	51
3.2 Produk	51
3.2.1 <i>Precipitated Calcium Carbonate</i>	51
IV. NERACA MASSA DAN ENERGI	53
4.1 Neraca Massa	53
4.1.1 Neraca Massa Total	53
4.1.2 Neraca Massa Alat.....	55
4.2 Neraca Energi.....	61
V. SPESIFIKASI ALAT	69
5.1 Spesifikasi Alat Unit Proses	69
5.2 Spesifikasi Alat Unit Utilitas.....	103
5.2.1 Unit Penyedia Air	103
5.2.1 Unit Penyedia Udara Instrumentasi.....	110
5.2.1 Unit Penyedia Udara Proses	113
5.2.1 Unit Penyedia Listrik.....	115
5.2.1 Pompa Utilitas	117
VI. UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....	125
6.1 Utilitas	125

6.1.1 Unit penyediaan dan pengolahan air (<i>Water Treatment System</i>).....	125
6.1.2 Unit Penyedia Listrik.....	129
6.1.3 Unit Penyediaan Udara Tekan dan Udara Proses	130
6.1.4 Pengolahan Limbah	130
6.1.5 Bahan Bakar <i>Rotary Kiln</i>	134
6.1.6 Laboratorium	138
6.1.7 Instrumentasi dan Pengendalian Proses.....	140
VII. TATA LETAK PABRIK	142
7.1 Lokasi Pabrik	142
7.2 Tata Letak Pabrik.....	146
7.3 Tata Letak Peralatan.....	149
VIII. SISTEM MANAJEMEN DAN OPERASI PERUSAHAAN	153
8.1 <i>Project Master Schedule</i>	153
8.2 Bentuk Perusahaan	155
8.3 Struktur Organisasi Perusahaan.....	157
8.4 Tugas dan Wewenang	160
8.5 Status Karyawan Dan Sistem Penggajian	166
8.6 Pembagian Jam Kerja Karyawan	167
8.7 Penggolongan Jabatan dan Jumlah Tenaga Kerja	169
8.8 Jumlah Tenaga Kerja.....	171
8.9 Kesejahteraan Karyawan.....	174
8.10 Manajemen Produksi.....	178
IX. INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI	181
9.1 Investasi.....	181
9.1.1 <i>Fixed Capital Investment</i> (Modal Tetap).....	181
9.1.2 <i>Working Capital Investment</i> (WCI).....	182
9.1.2 <i>Total Capital Investment</i> (TCI)	183
9.1.3 <i>Total Production Cost</i> (TPC)	183

9.2 Evaluasi Ekonomi.....	186
9.2.1 <i>Return On Investment</i> (ROI).....	187
9.2.2 <i>Pay Out Time</i> (POT).....	187
9.2.3 <i>Break Even Point</i> (BEP).....	187
9.2.4 <i>Shut Down Point</i> (SDP).....	188
9.3 <i>Discounted Cash Flow</i> (DCF) <i>Analysis</i>	189
X. KESIMPULAN DAN SARAN.....	191
10.1 Kesimpulan.....	191
10.2 Saran.....	192
DAFTAR PUSTAKA	193
LAMPIRAN A DATA FISIS	
LAMPIRAN B NERACA MASSA	
LAMPIRAN C NERACA PANAS	
LAMPIRAN D SPESIFIKASI ALAT PROSES	
LAMPIRAN E UTILITAS	
LAMPIRAN F INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI	
LAMPIRAN G TUGAS KHUSUS	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Ketersediaan Bahan Baku Batu Kapur di Indonesia.....	3
Tabel 1.2 Data Impor PCC di Indonesia.....	4
Tabel 1.3 Industri di Indonesia yang Menggunakan PCC.....	5
Tabel 1.4 Data Impor PCC di Asia Tenggara.....	6
Tabel 1.5 Pabrik yang Beroperasi di Indonesia.....	7
Tabel 1.6 Pabrik yang Beroperasi di Dunia.....	8
Tabel 2.1 Harga Bahan Baku dan Produk Proses Karbonasi.....	15
Tabel 2.2 Harga Bahan Baku dan Produk Proses <i>Lime Soda</i>	18
Tabel 2.3 Harga Bahan Baku dan Produk Proses <i>Calcium Chloride</i>	21
Tabel 2.4 Nilai $\Delta H^{\circ}f$ Pada Suhu 25°C (298,15 K).....	24
Tabel 2.5 Nilai Konstanta Cp (kJ/mol.K).....	25
Tabel 2.6 Nilai $\Delta H^{\circ}f$ Pada Suhu 25°C (298,15 K).....	25
Tabel 2.7 Nilai Konstanta Cp (kJ/mol.K).....	26
Tabel 2.8 Nilai $\Delta H^{\circ}f$ Pada Suhu 25°C (298,15 K)	27
Tabel 2.9 Nilai Konstanta Cp (kJ/mol.K)	27
Tabel 2.10 Nilai $\Delta H^{\circ}F$ (298K) Pada Suhu 25°C (298,15 K)	28
Tabel 2.11 Nilai Konstanta Cp (kJ/mol.K)	29
Tabel 2.12 Nilai $\Delta H^{\circ}f$ Pada Suhu 25°C (298,15 K)	29
Tabel 2.13 Nilai Konstanta Cp (kJ/mol.K)	30
Tabel 2.14 Nilai $\Delta H^{\circ}F$ pada suhu 25°C (298,15 K)	31
Tabel 2.15 Nilai Konstanta Cp (kJ/mol.K)	31
Tabel 2.16 Nilai $\Delta H^{\circ}F$ pada suhu 25°C (298,15 K)	32
Tabel 2.17 Nilai Konstanta Cp (kJ/mol.K)	33
Tabel 2.18 Nilai $\Delta G^{\circ}f$ Komponen	34

Tabel 2.19 Nilai Konstanta Cp (kJ/mol.K)	35
Tabel 2.20 Nilai ΔG_{298} Proses Karbonasi 25°C (298,15 K)	37
Tabel 2.21 Nilai konstanta Cp (kJ/mol.K)	38
Tabel 2.22 Nilai ΔG° f Komponen.....	39
Tabel 2.23 Nilai Konstanta Cp (kJ/mol.K)	39
Tabel 2.24 Nilai ΔG° f komponen	41
Tabel 2.25 Nilai Konstanta Cp (kJ/mol.K)	42
Tabel 2.26 Nilai ΔG° f masing-masing komponen	43
Tabel 2.27 Nilai Konstanta Cp (kJ/mol.K)	43
Tabel 2.28 Matrik Pemilihan Proses	45
Tabel 4.1 Neraca Massa Total	54
Tabel 4.2 Neraca Massa <i>Jaw Crusher</i> (JC-101)	55
Tabel 4.3 Neraca Massa <i>Rotary Kiln</i> (RK-101)	56
Tabel 4.4 Neraca Massa <i>Bag Filter</i>	57
Tabel 4.5 Neraca Massa <i>Slacker Tank</i> (ST-101)	58
Tabel 4.6 Neraca Massa <i>Screening</i> (S-201)	58
Tabel 4.7 Neraca Massa Reaktor (R-101)	59
Tabel 4.8 Neraca Massa <i>Centrifuge</i> (CF-101)	60
Tabel 4.10 Neraca Massa <i>Rotary Dryer</i> (RD-101)	60
Tabel 4.11 Neraca Massa <i>Ball Mill</i> (BM-101)	61
Tabel 4.11 Neraca Panas <i>Jaw Crusher</i> (JC-101)	61
Tabel 4.12 Neraca Panas <i>Rotary Kiln</i> (RK-101)	62
Tabel 4.13 Neraca Panas <i>Rotary Cooler</i> (RC-101)	62
Tabel 4.14 Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i> (HE-101)	63
Tabel 4.15 Neraca Panas <i>Bag Filter</i> (BF-101)	63
Tabel 4.16 Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i> (HE-102)	64
Tabel 4.16 Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i> (HE-103)	64
Tabel 4.17 Neraca Panas <i>Slacker Tank</i> (ST-201)	65
Tabel 4.18 Neraca Panas <i>Screening</i> (S-201)	65
Tabel 4.19 Neraca Panas <i>Dispersing Tank</i> (DT-201)	65
Tabel 4.20 Neraca Panas <i>Cooler</i> (C-201)	66
Tabel 4.21 Neraca Panas Reaktor (R-201)	66

Tabel 4.22 Neraca Panas <i>Centrifuge</i> (CF-301)	67
Tabel 4.23 Neraca Panas <i>Rotary Dryer</i> (RD-301)	67
Tabel 4.24 Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i> (HE-301)	67
Tabel 4.25 Neraca Panas <i>Ball Mill</i> (BM-301)	68
Tabel 5.1 Spesifikasi Silo <i>Storage</i> (SS-101)	69
Tabel 5.2 Spesifikasi <i>Belt Conveyor</i> (BC-101)	70
Tabel 5.3 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-101)	70
Tabel 5.4 Spesifikasi <i>Hopper</i> (HO-101)	71
Tabel 5.5 Spesifikasi <i>Jaw Crusher</i> (JC-101)	71
Tabel 5.6 Spesifikasi <i>Screening</i> (S-101)	72
Tabel 5.7 Spesifikasi <i>Belt Conveyor</i> (BC-102)	72
Tabel 5.8 Spesifikasi <i>Belt Conveyor</i> (BC-103)	73
Tabel 5.9 Spesifikasi <i>Hopper</i> (HO-102)	73
Tabel 5.10 Spesifikasi <i>Rotary Kiln</i> (RK-101)	74
Tabel 5.11 Spesifikasi <i>Fan</i> (F-101)	74
Tabel 5.12 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-101)	75
Tabel 5.13 Spesifikasi <i>Rotary Cooler</i> (RC-101)	75
Tabel 5.14 Spesifikasi <i>Fan</i> (F-102)	76
Tabel 5.15 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-101)	76
Tabel 5.16 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-102)	77
Tabel 5.17 Spesifikasi <i>Hopper</i> (HO-103)	77
Tabel 5.18 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-102)	78
Tabel 5.19 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-101)	78
Tabel 5.20 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-103)	80
Tabel 5.21 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-104)	80
Tabel 5.22 Spesifikasi <i>Bag Filter</i> (BF-101)	80
Tabel 5.23 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-105)	81
Tabel 5.24 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-102)	81
Tabel 5.25 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-106)	82
Tabel 5.26 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-103)	82
Tabel 5.27 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-107)	83
Tabel 5.28 Spesifikasi <i>Slacker Tank</i> (ST-201)	83

Tabel 5.29 Spesifikasi Pompa Proses (PP-201)	85
Tabel 5.30 Spesifikasi <i>Screening</i> (S-201)	85
Tabel 5.31 Spesifikasi Pompa Proses (PP-202)	86
Tabel 5.32 Spesifikasi <i>Dispersing Tank</i> (DT-201)	87
Tabel 5.33 Spesifikasi Pompa Proses (PP-203)	88
Tabel 5.34 Spesifikasi <i>Cooler</i> (C-201)	88
Tabel 5.35 Spesifikasi Pompa Proses (PP-204)	89
Tabel 5.36 Spesifikasi Reaktor (R-201)	90
Tabel 5.37 Spesifikasi Pompa Proses (PP-205)	91
Tabel 5.38 Spesifikasi <i>Centrifuge</i> (CF-301)	92
Tabel 5.39 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-301)	92
Tabel 5.40 Spesifikasi Pompa Proses (PP-301)	93
Tabel 5.41 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-301)	94
Tabel 5.42 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-301)	94
Tabel 5.43 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-302)	95
Tabel 5.44 Spesifikasi <i>Rotary Dryer</i> (RD-301)	96
Tabel 5.45 Spesifikasi <i>Bag Filter</i> (BF-301)	96
Tabel 5.46 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-302)	97
Tabel 5.47 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-301)	97
Tabel 5.48 Spesifikasi <i>Hopper</i> (H-301)	98
Tabel 5.49 Spesifikasi <i>Ball Mill</i> (BM-301)	99
Tabel 5.50 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-303)	99
Tabel 5.51 Spesifikasi <i>Screening</i> (S-301)	100
Tabel 5.52 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-304)	100
Tabel 5.53 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-305)	101
Tabel 5.54 Spesifikasi Silo Produk (SP-301)	101
Tabel 5.55 Spesifikasi Gudang Produk (GP-301)	102
Tabel 5.56 Spesifikasi <i>Raw Water Tank</i> (RWT-401)	103
Tabel 5.57 Spesifikasi <i>Storage Tank Dosmetic Water</i> (DWT-201)	103
Tabel 5.58 Spesifikasi Tangki Air Proses (PWT-401)	104
Tabel 5.59 Spesifikasi <i>Storage Tank Hydrant Water</i> (ST-302)	105
Tabel 5.60 Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB-401)	105

Tabel 5.61 Spesifikasi <i>Hot Basin</i> (HB-201)	106
Tabel 5.62 Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-201)	106
Tabel 5.63 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Asam Sulfat (ST-401)	107
Tabel 5.64 Spesifikasi <i>Storage Tank Dispersant</i> (ST-402)	108
Tabel 5.65 Spesifikasi <i>Storage Tank Inhibitor</i> (ST-403)	108
Tabel 5.66 Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-401)	109
Tabel 5.67 Spesifikasi <i>Storage Tank Filtered Water</i> (FWT-401).....	110
Tabel 5.68 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-401)	110
Tabel 5.69 Spesifikasi <i>Cyclone</i> (CY-401)	111
Tabel 5.70 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-402)	111
Tabel 5.71 Spesifikasi <i>Air Dryer</i> (RWT-401)	111
Tabel 5.72 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-403)	112
Tabel 5.73 Spesifikasi <i>Air Compressor</i> (AC-401)	113
Tabel 5.74 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-501)	113
Tabel 5.75 Spesifikasi <i>Air Filter</i> (F-501)	114
Tabel 5.76 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-502)	114
Tabel 5.77 Spesifikasi <i>Air Dryer</i> (AD-501)	115
Tabel 5.78 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL-503)	115
Tabel 5.79 Spesifikasi <i>Generator</i> (GR-501)	116
Tabel 5.80 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-501)	116
Tabel 5.81 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-401)	117
Tabel 5.82 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-402)	117
Tabel 5.83 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-403)	118
Tabel 5.84 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-404)	119
Tabel 5.85 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-405)	119
Tabel 5.86 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-406)	120
Tabel 5.87 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-407)	120
Tabel 5.88 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-408)	121
Tabel 5.89 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-409)	122
Tabel 5.90 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-410)	122
Tabel 5.91 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-411)	123
Tabel 5.92 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-411)	124

Tabel 6.1 Kualitas Standar Air Pendingin	126
Tabel 6.2 Kebutuhan Air Pabrik	129
Tabel 6.3. Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian.....	141
Tabel 7.1 Perkiraan Luas Lahan Pabrik	148
Tabel 8.1. <i>Project Master Schedule of Precipitated Calcium Carbonate Plant</i>	155
Tabel 8.2. Jadwal Kerja Regu Shift	169
Tabel 8.3. Perincian Tingkat Pendidikan	170
Tabel 8.4 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses	171
Tabel 8.4 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Utilitas	172
Tabel 8.5 Penggolongan Tenaga Kerja	173
Tabel 9.1 <i>Fixed Capital Investment</i>	182
Tabel 9.2 <i>Manufacturing Cost</i>	184
Tabel 9.3 <i>General Expenses</i>	185
Tabel 9.4 Biaya Administratif	185
Tabel 9.5. Hasil Uji Kelayakan Ekonomi	190

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik impor <i>precipitated calcium carbonate</i> di Indonesia.....	4
Gambar 1.2 Lokasi Pabrik PCC.....	9
Gambar 2.4 Diagram Alir Proses Produksi PCC.....	47
Gambar 6.1 Perbandingan karakteristik pemilihan bahan bakar <i>Rotary Kiln</i>	135
Gambar 7.1 Peta Lokasi Pabrik.....	142
Gambar 7.2 Tata Letak Pabrik	149
Gambar 7.2 Tata Letak Peralatan	152
Gambar 8.1. Struktur Organisasi Perusahaan	159
Gambar 9.1 Grafik Analisa Ekonomi	188
Gambar 9.2 Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i>	189

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu Negara yang dikenal dengan kekayaan alam melimpah. Peningkatan aktivitas penelitian dan pengembangan teknologi industri merupakan salah satu aspek pendukung dalam mempercepat pertumbuhan industri di Indonesia. Sektor industri kimia sebagai salah satu upaya mengelola kekayaan alam dan meningkatkan perekonomian nasional.

Batu kapur (*limestone*) merupakan salah satu kekayaan alam yang melimpah. Cadangan total batu kapur di Indonesia diperkirakan ± 30 miliar ton yang tersebar di seluruh wilayah tanah air (BAPPENAS, 2010). Batu kapur adalah jenis batuan sedimen yang umum di kerak bumi yang terutama terdiri dari CaCO_3 (Kilic, 2015; BGS, 2006). Batu kapur yang diekstrak dari bumi dikenal dengan istilah *ground calcium carbonate* (GCC). Setelah ekstraksi, GCC digiling baik dalam kondisi kering atau basah tergantung pada persyaratan produk akhir (Kilic, 2015). GCC dapat berupa bentuk kalsit, aragonit, vaterit, batu kapur, kapur, marmer atau *travertine*. Batu kapur yang diendapkan dikenal dengan istilah *precipitated calcium carbonate* (PCC). PCC memiliki kristal utama yaitu kalsit (*rhombohedral*), aragonit (*ortorombik*), dan vaterit (*heksagonal*) (Sezer, 2013). PCC memiliki keunggulan yaitu rasio CaCO_3 tinggi, rendah kotoran, ketersediaan dalam morfologi yang berbeda dan ukuran yang lebih halus (Dogan, 2007; Kilic, 2015). *Precipitated calcium carbonate* digunakan sebagai bahan pengisi pada kertas, cat, plastik, *sealant*, perekat, makanan, keramik, tekstil (karpet), kosmetik, dan obat-obatan (Dogan, 2007). Pada industri kertas, PCC meningkatkan kehalusan, kecerahan, dan opasitas kertas serta meningkatkan penerimaan tinta kertas. Kualitas PCC sangat berpengaruh pada ukuran partikel yang meningkatkan kehalusan, kilap

dan karakteristik pencetakan kertas. Karakteristik pencetakan juga berkaitan dengan kisaran ukuran partikel dan bentuk partikel PCC, yang juga secara langsung memengaruhi konsumsi aditif kimia dalam pembuatan kertas (Teir dkk., 2005).

Produksi PCC dalam negeri saat ini belum mampu memenuhi kebutuhan industri pengguna PCC sehingga sebagian kebutuhan masih dipenuhi melalui impor. Seiring pertumbuhan industri kertas, plastik, cat, dan farmasi, permintaan PCC diperkirakan terus meningkat dari tahun ke tahun. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara kebutuhan dan kapasitas produksi domestik. Di sisi lain, Indonesia memiliki cadangan batu kapur yang sangat melimpah sebagai bahan baku utama produksi PCC. Oleh karena itu, pembangunan pabrik *precipitated calcium carbonate* menjadi peluang yang potensial untuk meningkatkan nilai tambah sumber daya alam, mengurangi ketergantungan impor, serta mendukung perkembangan industri hilir nasional.

1.2. Kegunaan Produk

Precipitated Calcium Carbonate (PCC) merupakan produk utama yang memiliki tingkat kemurnian tinggi, ukuran partikel yang seragam, serta tingkat kecerahan (*brightness*) yang baik sehingga banyak dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (*filler*), pelapis (*coating pigment*), maupun bahan aditif pada berbagai sektor industri. Beberapa aplikasi utama PCC adalah sebagai berikut:

a) Industri *pulp* dan kertas

PCC digunakan sebagai *filler* dan bahan pelapis kertas untuk meningkatkan sifat optik, seperti kecerahan (*brightness*), opasitas (ketidaktembusan), dan kehalusan permukaan. PCC juga dapat meningkatkan daya serap tinta, kualitas cetak, serta pembentukan lembaran kertas, sekaligus mengurangi konsumsi serat kayu sehingga biaya produksi menjadi lebih rendah.

b) Industri cat

PCC berfungsi sebagai *extender pigment* atau bahan pengisi untuk meningkatkan daya tutup (*opacity*), tingkat kecerahan, kehalusan permukaan, dan kilap (*gloss*) cat. Penggunaan PCC juga dapat mengurangi kebutuhan

pigmen yang lebih mahal, seperti titanium dioksida (TiO_2), sehingga menekan biaya formulasi tanpa menurunkan kualitas produk.

c) Industri besi dan baja

PCC maupun produk berbasis kapur digunakan sebagai bahan fluks (agen pemurni) dalam proses metalurgi untuk membantu mengikat pengotor, seperti silika dan senyawa non-logam lainnya, sehingga meningkatkan kualitas produk baja yang dihasilkan.

d) Industri plastik

PCC dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada berbagai produk plastik. Penambahan PCC dapat meningkatkan kekakuan, stabilitas dimensi, kekuatan mekanik, opasitas, serta kualitas permukaan produk plastik. Selain itu, PCC juga berfungsi menurunkan penggunaan resin polimer sehingga biaya produksi menjadi lebih ekonomis.

e) Industri farmasi, pangan, dan kosmetik

PCC dengan tingkat kemurnian tinggi digunakan sebagai bahan penambah kalsium, bahan tambahan dalam pembuatan tablet, obat penurun asam lambung (antasida), bahan tambahan pada produk pangan, serta komponen dalam pasta gigi dan produk kosmetik.

1.3. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan yaitu batu kapur yang dapat diperoleh dari produsen dalam negeri. Data daerah penghasil batu kapur di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.1 sebagai berikut:

Tabel 1.1 Data Ketersediaan Bahan Baku Batu Kapur di Indonesia

No.	Daerah	Ketersediaan Bahan Baku (Ton)
1	Sumatera Barat	2.323.000.000
2	Jawa Timur	687.100.000
3	Jawa Barat	637.820.000
4	Jawa Tengah	42.000

Sumber : Topmaterial, 2022

Bahan baku produksi kalsium karbonat didapatkan dari PT. Sinar Asia Fortuna yang terletak di Tuban, Jawa Timur. Mengingat ketersediaan bahan baku yang murah dan memadai serta kebutuhan *precipitated calcium carbonate* yang semakin besar, maka sangat layak bila didirikan di Indonesia.

1.4. Analisa Pasar

Penilaian analisa pasar dari pabrik *precipitated calcium carbonate* meliputi:

1.4.1. Harga Bahan Baku

Harga bahan baku untuk proses pembuatan *precipitated calcium carbonate* yaitu:

Batu kapur = 63 \$/Ton (Buana Mitra Konstruksi, 2025)

1.4.2. Harga Produk

Harga produk *precipitated calcium carbonate* yaitu:

Produk PCC = 400 \$/Ton (chemanalyst.com, 2025)

1.5. Kapasitas Pabrik

1.5.1 Kebutuhan *Precipitated Calcium Carbonate* di Indonesia

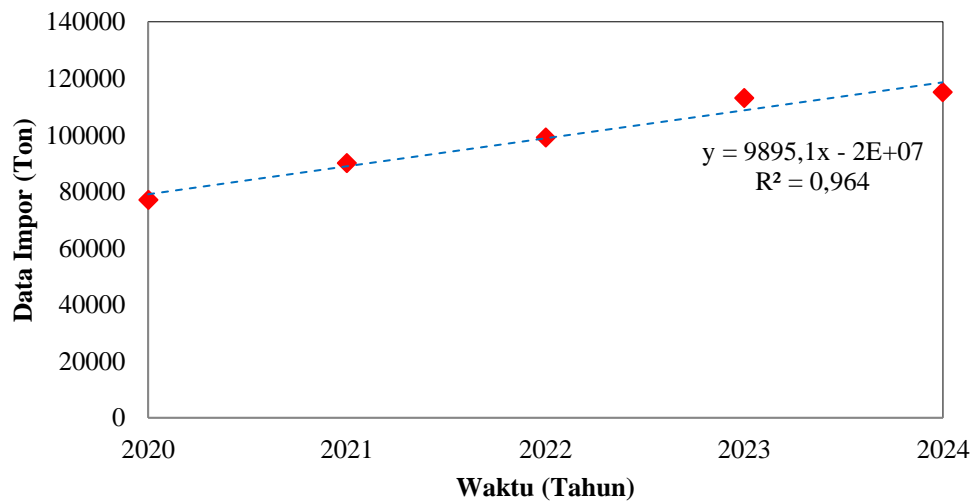
Berikut ini adalah data impor *precipitated calcium carbonate* beberapa tahun terakhir yang disajikan dalam Tabel 1.2 sebagai berikut:

Tabel 1.2 Data Impor PCC di Indonesia

Tahun	Jumlah (ton)
2020	77051
2021	89894
2022	99075
2023	113003
2024	114972

Sumber: BPS, 2025

Berdasarkan data kebutuhan impor *precipitated calcium carbonate*, diperoleh kapasitas pabrik dengan persamaan garis lurus pada Gambar 1.1 sebagai berikut:



Gambar 1.1 Grafik impor *precipitated calcium carbonate* di Indonesia.

Berdasarkan data impor *precipitated calcium carbonate* dari Tabel 1.4 diperoleh persamaan regresi linear. Apabila diproyeksikan pada tahun 2030 diperkirakan jumlah impor *precipitated calcium carbonate* sebesar:

$$\begin{aligned}
 (y) &= 9895,1x - 19.965.093,2 \\
 &= (9895,1 \times 2030) - 19.968.093,2 \\
 &= 118.959,8 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Impor *precipitated calcium carbonate* yang semakin besar menunjukkan kebutuhan produk semakin meningkat setiap tahunnya. Akan tetapi, penyediaan produk *precipitated calcium carbonate* dalam negeri masih sangat kurang dan perlu *precipitated calcium carbonate* ini. Oleh karena itu dilakukan impor untuk memenuhi kebutuhan produk. Perencanaan pendirian *precipitated calcium carbonate* Indonesia cukup penting untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, serta dapat mengurangi angka pengangguran. Pendirian pabrik *precipitated calcium carbonate* didukung dengan masih banyaknya lahan yang dapat digunakan untuk mendirikan pabrik, SDM yang banyak, letak geografis yang strategis dan kebutuhan dunia akan *precipitated calcium carbonate* yang besar. Kebutuhan *precipitated calcium carbonate* di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.3 sebagai berikut:

Tabel 1.3 Industri di Indonesia yang Menggunakan PCC

No.	Nama Pabrik	Kegunaan
1	PT. Indah Kiat <i>Pulp & Paper Tbk</i>	PCC digunakan dalam proses pembuatan kertas untuk meningkatkan kualitas dan ketebalan kertas
2	PT. Pabrik Kertas Tjiwi Kimia Tbk	PCC digunakan dalam pembuatan produk kertas dan karton untuk meningkatkan kualitas dan karakteristik produk
3	PT. Chandra Asri <i>Petrochemical Tbk</i>	Perusahaan ini menggunakan PCC sebagai bahan pengisi dalam pembuatan plastik dan produk berbasis polimer
4	PT. <i>Nippon Paint</i> Indonesia	PCC formulasi cat digunakan untuk meningkatkan kualitas dan kestabilan produk cat, serta memberikan daya tahan yang lebih baik terhadap cuaca.
5	PT. <i>Goodyear</i> Indonesia Tbk	Perusahaan ini menggunakan PCC sebagai bahan pengisi dalam produksi karet untuk meningkatkan daya tahan dan kekuatan ban.
6	PT. Djarum	PCC digunakan dalam proses pembuatan filter rokok dan produk-produk terkait lainnya.

1.5.2 Peluang Ekspor *Precipitated Calcium Carbonate*

Pabrik *precipitated calcium carbonate* (PCC) dirancang juga untuk kebutuhan di beberapa negara Asia Tenggara seperti Filipina, Vietnam, Thailand, dan Myanmar. Untuk memprediksi jumlah ekspor PCC di negara-negara tersebut, disajikan data impor PCC pada Tabel 1.4 sebagai berikut:

Tabel 1.4 Data Impor PCC di Asia Tenggara

Tahun	Impor (Ton/tahun)				Total	Kenaikan (%)
	Thailand	Filipina	Myanmar	Kamboja		
2018	38.980	48.503	58.579	6.654	152.716	-
2019	31.573	49.353	65.599	32.867	179.392	17,47%
2020	41.564	40.454	68.725	50.198	200.941	12,01%
2021	42.872	53.273	50.123	79.763	226.031	12,49%
2022	33,175,9	48.136,7	68.813,1	77.671,8	227.797,5	0,78%
2023	37,909,8	59.435,4	56.712,2	76.028,1	230.085,5	1,00%
2024	61.988,8	63.205,4	26.918,4	78.217,1	230.329,7	0,11%
	Rata-rata					6,27%

Sumber: (Wits.Worldbank, 2024)

Pada Tabel 1.4 menunjukkan bahwa nilai kenaikan kebutuhan PCC rata-rata di beberapa negara Asia Tenggara naik sebesar 6,27%. Untuk memperkirakan peluang kebutuhan ekspor pada tahun 2030, digunakan persamaan berikut:

$$m = P (1+i)^n$$

(Turton, 2018)

Keterangan:

m = nilai impor di beberapa negara pada tahun terakhir (ton/tahun)

P = nilai impor di beberapa negara pada tahun pertama (ton/tahun)

i = pertumbuhan rata-rata per tahun (%)

n = selisih tahun yang diperhitungkan

sehingga ekspor PCC di beberapa negara tahun 2030 diperkirakan sebesar :

$$m = P (1+i)^n$$

$$m = 152.716 (1 + (0,0627))^6$$

$$m = 219.906,2 \text{ ton/tahun}$$

Pabrik PCC yang akan didirikan berencana untuk memenuhi 30% dari total kebutuhan negara tersebut untuk menghindari risiko produk yang tidak laku akibat adanya persaingan dalam perdagangan antar negara pengekspor PCC lain. Berdasarkan alasan tersebut, maka nilai ekspor pada tahun 2030 menjadi:

$$\text{Ekspor (2030)} = 219.906,2 \text{ ton/tahun} \times 30 \%$$

$$= 65.971,86 \text{ ton/tahun}$$

1.5.3 Kapasitas Pabrik *Precipitated Calcium Carbonate*

Dalam penentuan kapasitas pabrik, hal penting yang harus di perhatikan selain ketersediaan bahan baku dan kebutuhan pasar adalah kapasitas pabrik yang telah ada, baik di dalam negeri maupun di luar negeri. Hal ini guna untuk memperkirakan kapasitas pendirian pabrik agar tidak terlalu jauh berbeda dari kapasitas pabrik yang telah ada. Data produksi *precipitated calcium carbonate* di Indonesia terlampir pada Tabel 1.5 sebagai berikut:

Tabel 1.5 Pabrik yang Beroperasi di Indonesia

No.	Nama Pabrik	Kapasitas(ton/tahun)
1	PT. Omya Indonesia	24.000
2	PT. Bumi Kencana Indonesia	36.000
Total		60.000

Nilai konsumsi dalam negeri pada tahun 2030 menggunakan asumsi yang sama terhadap nilai impor dengan mempertimbangkan pertumbuhan kebutuhan PCC rata-rata di beberapa negara Asia Tenggara yang naik sebesar 6,27%, maka nilai konsumsi diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Konsumsi} &= (\text{Produksi} + \text{Impor} - \text{Ekspor}) \times 6,27\% \\
 &= (60.000 + 118.959,8 - 65.971,86) \times 6,27\% \\
 &= 190.072,28 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

1.5.4 Penentuan Kapasitas Pabrik *Precipitated Calcium Carbonate*

Perhitungan kapasitas pabrik *precipitated calcium carbonate* yang direncanakan akan beroperasi pada tahun 2030 ini menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_5$$

Keterangan:

- m_1 = nilai impor tahun 2030 (ton/tahun)
- m_2 = produksi pabrik dalam negeri (ton/tahun)
- m_3 = kapasitas pabrik yang akan didirikan (ton/tahun)
- m_4 = nilai ekspor tahun 2030 (ton/tahun)
- m_5 = nilai konsumsi dalam negeri tahun 2030 (ton/tahun)

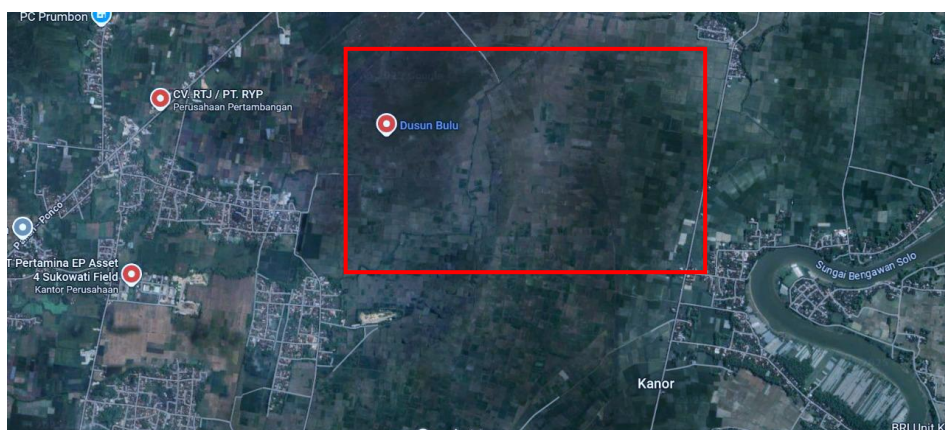
Perhitungan kapasitas pabrik *precipitated calcium carbonate* pada tahun 2030:

$$\begin{aligned} m_3 &= (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2) \\ &= (65.971,86 \text{ ton/tahun} + 190.072,28 \text{ ton/tahun}) - (118.959,8 + 60.000 \\ &\quad \text{ton/tahun}) \\ &= 86.786,84 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas pabrik di atas dan dengan pertimbangan kapasitas pabrik yang sudah beroperasi dipilih kapasitas pabrik sebesar 86.786,84 ton/tahun. Kapasitas ini dibulatkan menjadi 90.000 ton/tahun dengan tujuan memenuhi kebutuhan pasar di dalam negeri sehingga dapat mengurangi kegiatan impor dari luar negeri maupun ekspor ke luar negeri serta mempertimbangkan efisiensi operasional ataupun permintaan pasar yang lebih rendah.

1.6. Penentuan Lokasi Pabrik

Dalam menentukan lokasi pembangunan pabrik produksi *precipitated calcium carbonate*, terdapat beberapa parameter pendukung yang memiliki pengaruh terhadap keberhasilan perusahaan. Berdasarkan tinjauan dari beberapa faktor tersebut, maka lokasi pabrik yang dipilih yaitu Tuban, Jawa Timur.



Gambar 1.2 Lokasi Pabrik PCC

Berikut beberapa faktor yang dapat menjadi parameter dalam memengaruhi pemilihan lokasi pabrik sebagai berikut:

1. Bahan Baku

Bahan baku utama *precipitated calcium carbonate* adalah batu kapur CaCO_3 yang diperoleh dari di PT. Sinar Asia Fortuna yang terletak di Kawasan Industri Tuban tepatnya di kecamatan Jenu, Tuban, Jawa Timur. Dikarenakan lokasi produsen bahan baku berada dalam satu provinsi (dekat) satu dengan lainnya, maka lokasi pendirian pabrik di daerah Tuban menjadi pertimbangan yang tepat. Dengan lokasi industri terpilih dan pabrik penyedia bahan baku yang dekat, hal tersebut akan mengurangi biaya pengiriman bahan baku menuju lokasi pabrik.

2. Pemasaran

Untuk pemasaran produk, perlu diperhatikan letak pabrik dengan pasar yang membutuhkan *precipitated calcium carbonate*. Hal ini berfungsi untuk menekan biaya pendistribusian produk ke lokasi pasar dan pengiriman. Pemilihan lokasi di Tuban mengingat sebagian besar pemasarannya meliputi Pulau Jawa secara umum.

3. Transportasi

Sarana transportasi diperlukan untuk mengangkut bahan baku, memasarkan produk dan lain-lain. Oleh karena itu fasilitas jalan raya, rel kereta api atau pelabuhan udara mutlak sangat dibutuhkan. Kawasan Industri sekitar Tuban memiliki fasilitas yang cukup memadai baik melalui darat dan laut karena telah tersedia jalan raya yang memadai dan dekat dengan pelabuhan. Untuk sarana transportasi laut, terdapat pelabuhan di kawasan *Java Integrated Industrial and Port Estate* (JIPE) di Gresik yang dibangun untuk mengurangi kepadatan bongkar muat barang di pelabuhan Tanjung Perak sehingga memudahkan pendistribusian bahan baku ke pabrik dan produk kepada konsumen.

4. Penyediaan Tenaga Listrik dan Utilitas

Kebutuhan listrik pabrik ini seluruhnya dipenuhi dari PLN, sedangkan untuk keadaan darurat, pabrik memiliki generator cadangan. Air merupakan bagian yang sangat penting dalam suatu industri kimia. Dalam hal ini, air digunakan sebagai sanitasi, pencegahan bahaya kebakaran, media pendingin, dan air proses. Selama pabrik beroperasi kebutuhan air relatif banyak. Untuk memenuhi kebutuhan air, diperoleh dari PDAM Bojonegoro, Jawa Timur.

5. Kebutuhan Tenaga Kerja

Tenaga kerja termasuk hal yang sangat menunjang dalam operasional pabrik, tenaga kerja untuk pabrik ini dapat direkrut dari masyarakat sekitar pabrik dan tenaga ahli yang berasal dari daerah sekitar pabrik dan luar daerah.

6. Keadaan Masyarakat

Lokasi pabrik di Tuban berada di kawasan industri sehingga masyarakat terbiasa dengan kehadiran pabrik-pabrik. Selain itu, keberadaan pabrik juga akan membantu tersedianya lapangan kerja bagi masyarakat sekitar.

7. Kondisi Iklim dan Cuaca

Provinsi Jawa Timur berada di iklim tropis. Iklim tropis merupakan iklim yang relatif stabil. Suhu udara antara 20-35°C.

II. DESKRIPSI PROSES

Batu kapur merupakan bagian dari batuan sedimen, yaitu batuan sedimen non-klastik yang terbentuk dari proses kimia atau proses biologi. Batu kapur disebut juga batu gamping atau *limestone*. Kandungan utama batu kapur adalah mineral kalsium karbonat (CaCO_3) yang terjadi akibat proses kimia dan atau organik. Secara umum mineral yang terkandung dalam batu kapur adalah kalsit 95%, dolomit 3%, dan sisanya adalah mineral *clay* (Park dkk., 2008). *Precipitated calcium carbonate* (PCC) memiliki nilai ekonomis yang tinggi dengan keunggulan seperti ukuran partikel kecil, kemurnian tinggi, bentuk partikel seragam, dan kecerahan tinggi. *Precipitated calcium carbonate* (PCC) terbentuk dari sintesis dengan air yang memiliki kemurnian tinggi, tekstur halus, dan bentuk kristal tertentu. Menurut Sezer (2013), bentuk kristal PCC dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Aragonit: struktur kristal ortorombik yang terbentuk karena adanya suhu dan tekanan yang tinggi.
2. Kalsit: struktur rhombohedral dimana mineral ini sangat umum terutama dalam batu kapur yang cenderung stabil pada tekanan atmosfer.
3. Vaterit: struktur kristal heksagonal yang lebih rapuh dan cenderung tidak stabil dalam kondisi normal. Vaterit lebih cepat terurai menjadi kalsit atau aragonit apabila kondisi tidak mendukung untuk kristalisasi vaterit.

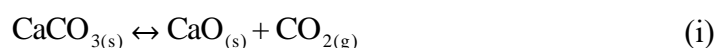
Terbentuknya bentuk kristal ini dipengaruhi oleh suhu, pH, derajat saturasi, kecepatan aliran CO_2 bila menggunakan metode karbonasi, dan adanya bahan aditif. Pada suhu 10°C – 40°C , fase yang terbentuk berupa kalsit dan vaterit. Pada suhu 60°C – 80°C dihasilkan aragonit dan kalsit. Sementara ketiga jenis kristal muncul di antara kedua rentang ini. Jadi, fase vaterit hanya terbentuk pada rentang suhu tertentu dan mencapai fraksi optimum pada suhu 35°C (Waltham, 2002).

Secara umum, ada 3 proses pembuatan PCC yaitu proses soda kapur (pulping kraft), proses kalsium klorida, dan proses karbonasi (Sezer, 2013; Bilen, 2010).

2.1 Macam-Macam Proses

2.1.1 Proses Karbonasi

Pada proses karbonasi, batu kapur (*limestone*) yang telah dihancurkan dibakar dalam *kiln* pada temperatur 950°C untuk mendekomposisi batu kapur menjadi kalsium oksida dan karbon dioksida. Tahap ini disebut sebagai kalsinasi dengan reaksi sebagai berikut:



CaO kering kemudian dihidrasi (*slaking*) dengan air pada temperatur 80°C untuk menghasilkan *slurry* Ca(OH)₂. *Slurry* Ca(OH)₂ diayak untuk memisahkan pengotor serta menghasilkan ukuran partikel yang seragam. Ca(OH)₂ yang telah melewati *screening* didispersi agar homogen dan partikel lebih halus. Setelah itu, Ca(OH)₂ diumpankan ke tangki berpengaduk untuk direaksikan dengan gas CO₂ melalui *sparger* (U.S. Patent US005342600A, 1994).

Proses karbonasi merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam industri untuk memproduksi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC). Suspensi kalsium hidroksida direaksikan dengan gas karbon dioksida (CO₂) sehingga terbentuk endapan kalsium karbonat sesuai reaksi sebagai berikut:

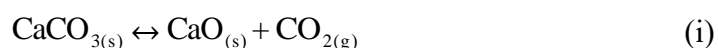


Keunggulan utama proses karbonasi adalah penggunaan bahan baku yang relatif murah dan mudah diperoleh, yaitu batu kapur dan karbon dioksida. Selain itu, karbon dioksida yang digunakan dapat diperoleh langsung dari gas hasil kalsinasi batu kapur sehingga meningkatkan efisiensi pemanfaatan bahan baku dan mengurangi kebutuhan bahan kimia tambahan. Proses ini juga menghasilkan

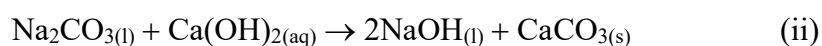
produk samping yang minimal karena hanya membentuk air sebagai hasil reaksi sehingga kebutuhan tahap pemurnian menjadi lebih sederhana dibandingkan metode presipitasi menggunakan garam kalsium. Selain itu, kondisi operasi yang relatif ringan serta kemudahan pengendalian parameter proses memungkinkan diperolehnya PCC dengan kemurnian tinggi, ukuran partikel yang seragam, dan morfologi kristal yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi industri. Oleh karena itu, proses karbonasi menjadi metode yang paling banyak diterapkan secara komersial untuk produksi PCC skala besar. Reaksi karbonasi memiliki konversi sebesar 90-95% (Mufrodi dkk., 2023).

2.1.2 Proses *Lime Soda*

Proses *lime soda* disebut juga kaustisasi. Proses *lime soda* adalah metode klasik untuk menghasilkan soda kaustik (sodium hidroksida). Proses ini biasanya digunakan oleh pabrik alkali dimana tujuannya adalah *recovery* sodium hidroksida sedangkan *precipitated calcium carbonate* hanya sebagai produk samping. Namun, apabila proses ini digunakan dengan tujuan untuk menghasilkan *precipitated calcium carbonate* maka dibutuhkan proses kalsinasi pada suhu 1000°C untuk mendekomposisi batu kapur menjadi kalsium oksida dan karbon dioksida. Tahap ini disebut sebagai kalsinasi.



Pada proses ini, larutan sodium karbonat direaksikan dengan kalsium hidroksida berlebih untuk menghasilkan sodium hidroksida cair dan produk samping berupa *precipitated calcium carbonate* (PCC). Proses berlangsung pada suhu 40–60°C dengan konversi 70-90%. Reaksi proses *lime-soda* sebagai berikut:

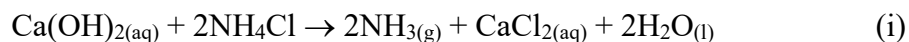


Pada proses lime-soda, natrium karbonat direaksikan dengan kalsium hidroksida untuk menghasilkan natrium hidroksida dan kalsium karbonat. Proses ini dikenal sebagai *causticization process* dan banyak digunakan untuk produksi natrium

hidroksida. Meskipun menghasilkan endapan kalsium karbonat yang dapat dikategorikan sebagai *precipitated calcium carbonate* (PCC), tujuan utama proses ini adalah pembentukan natrium hidroksida. Oleh karena itu, proses ini kurang digunakan sebagai rute utama produksi PCC komersial dibandingkan proses karbonasi. Selain itu, kualitas PCC yang dihasilkan dari *causticization* konvensional umumnya memiliki distribusi ukuran partikel yang lebih lebar dan kandungan kalsium hidroksida sisa yang lebih tinggi sehingga memerlukan tahap karbonasi lanjutan untuk meningkatkan kualitas produk (U.S. Patent No 5993772, 1999).

2.1.3 Proses *Calcium Chloride*

Kalsium hidroksida direaksikan dengan amonium klorida membentuk gas amonia dan larutan kalsium klorida serta air. Reaksi proses ini sebagai berikut:



Pada proses *calcium chloride*, larutan kalsium klorida diperoleh melalui reaksi antara kalsium hidroksida dan amonium klorida. Larutan kalsium klorida yang terbentuk kemudian direaksikan dengan natrium karbonat untuk menghasilkan endapan kalsium karbonat dengan konversi 80% (U.S. Patent US2080616A, 1937). Reaksi proses ini sebagai berikut:



Keunggulan proses ini adalah kondisi operasi yang relatif sederhana, laju reaksi yang cepat, serta kemampuan menghasilkan PCC dengan kemurnian tinggi dan ukuran partikel yang dapat dikontrol. Namun, proses *calcium chloride* kurang dipertimbangkan untuk produksi PCC skala besar karena memerlukan penggunaan reagen kimia tambahan, khususnya natrium karbonat sehingga meningkatkan biaya produksi. Selain itu, reaksi menghasilkan natrium klorida sebagai produk samping dalam jumlah besar sehingga diperlukan tahap pencucian dan pemurnian produk yang lebih intensif untuk menghilangkan kontaminan garam. Literatur dan paten

PCC modern menunjukkan bahwa proses karbonasi berbasis suspensi kalsium hidroksida dan karbon dioksida lebih banyak digunakan secara industri karena lebih ekonomis, menghasilkan produk dengan kandungan garam yang lebih rendah, serta memungkinkan pengendalian karakteristik PCC yang lebih baik (U.S. Patent No. 5558850, 1996).

2.2 Pemilihan Proses

Pemilihan proses bertujuan untuk menentukan proses mana yang akan dipilih berdasarkan pertimbangan dari segi ekonomi dan energi.

2.2.1 Tinjauan Ekonomi

1. Proses Karbonasi

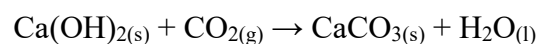
Untuk harga bahan baku dan produk pada proses karbonasi ditunjukkan pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Harga Bahan Baku dan Produk Proses Karbonasi

Bahan Baku	Harga (\$/ton)	Harga (\$/kg)
CaCO _{3(s)}	81	0,081
CaCO _{3(s)(precipitated)}	400	0,400

Sumber: chemanalyst.com

Reaksi:



Diketahui:

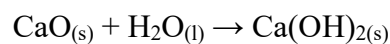
Kapasitas Produksi = 90.000 ton/tahun
 = 11.363,636 kg/jam

Konversi = 90%

BM CaCO₃ (*main product*) = 100 kg/kmol

- Produk yang terbentuk
- Massa $\text{CaCO}_3(\text{precipitated})$ = 11.363,64 kg/jam
- Mol $\text{CaCO}_3(\text{precipitated})$ = $\frac{\text{Massa CaCO}_3(\text{precipitated})}{\text{BM CaCO}_3(\text{precipitated})}$
= 113,6364 kmol/jam
- Mol H_2O = 113,636 kmol/jam
- Massa H_2O = mol H_2O × BM H_2O
= 2.045,455 kg/jam
- Mencari jumlah massa reaktan umpan sebagai berikut:
- Mol $\text{Ca}(\text{OH})_2$ = $\frac{113,6364 \text{ kmol/jam}}{\text{konversi}}$
= $\frac{113,6364 \text{ kmol/jam}}{0,95}$
= 119,617 kmol/jam
- Mol CO_2 = 119,617 kmol/jam
- Massa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ = mol $\text{Ca}(\text{OH})_2$ × BM $\text{Ca}(\text{OH})_2$
= 119,617 kmol/jam × 74 kg/kmol
= 8.851,675 kg/jam
- Massa CO_2 = mol CO_2 × BM CO_2
= 119,617 kmol/jam × 44 kg/kmol
= 5.263,158 kg/jam

Reaksi:



- Produk yang terbentuk
- Massa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ = 8.851,675 kg
- Mol $\text{Ca}(\text{OH})_2$ = 119,617 kmol/jam
- Mencari jumlah massa reaktan umpan sebagai berikut:
- Mol CaO = 119,617 kmol/jam : 0,98
= 122,058 kmol/jam
- Mol H_2O = 122,058 kmol/jam
- Massa CaO = 122,058 kmol/jam × 56 kg/kmol
= 7.051,121 kg/jam

- Massa H₂O = 122,058 kmol/jam × 18 kg/kmol
= 2.266,432 kg

Reaksi:



- Produk yang terbentuk
- Massa CaO = 7.051,121 kg/jam
- Mol CaO = 122,058 kmol/jam
- Mol CO₂ = 122,058 kmol/jam
- Massa CO₂ = mol CO₂ × BM CO₂
= 122,058 kmol/jam × 44 kg/kmol
= 5.370,552 kg/jam
- Mencari jumlah massa reaktan umpan sebagai berikut:
- Mol CaCO₃ = 122,058/0,95
= 128,482 kmol/jam
- Massa CaCO₃ = mol CaCO₃ × BM CaCO₃
= 128,482 kmol/jam × 100 kg/kmol
= 12.848,2 kg/jam

Untuk menghitung perolehan keuntungan kasar dapat digunakan persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{Harga Produk} &= \text{harga CaCO}_{3(\text{precipitated})} \\ &= (11.363,636 \text{ kg/jam} \times 0,4 \$) \\ &= 4.545,45 \$ \text{ kg/jam} \\ &= 36.000 \$ \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga BB} &= \text{harga CaCO}_3 \\ &= 12.848,2 \text{ kg/jam} \times 0,081 \$ \\ &= 1.040,704 \$ \text{ kg/jam} \\ &= 8.242,375 \$ \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Estimasi Profit} &= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan baku} \\ &= (36.000 \$ \text{ ton/tahun} - 8.242,375 \$ \text{ ton/tahun}) \times \text{kapasitas} \\ &\quad \text{produksi} \\ &= 27.757,62 \$ \text{ ton/tahun} \times 90.000 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

$$= 2.498.185.942,56 \$$$

2. Proses *Lime Soda*

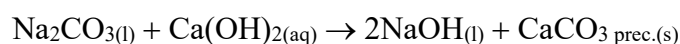
Untuk harga bahan baku dan produk pada proses karbonasi ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Harga Bahan Baku dan Produk Proses *Lime Soda*

	Bahan	Harga (\$/ton)	Harga (\$/kg)
1.	Na ₂ CO ₃	380	0,380
2.	CaCO ₃	135	0,135
3.	NaOH	500	0,500
4.	CaCO ₃ (precipitated)	400	0,400

Sumber: chemanalyst.com

Reaksi:



Diketahui:

Kapasitas Produksi = 90.000 ton/tahun

Waktu Produksi = 330 hari

Konversi = < 90 %

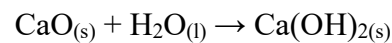
BM CaCO₃(precipitated) = 100 kg/kmol

- Produk yang terbentuk

- Massa CaCO₃(precipitated) = $\frac{90.000 \text{ ton}}{1 \text{ tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$
= 11.363,636 kg/jam
- Mol CaCO₃(precipitated) = 113,636 kmol/jam
- Mol NaOH = 2 × 113,636 kmol/jam
= 227,273 kmol/jam
- Massa NaOH = mol NaOH × BM NaOH
= 227,273 kmol/jam × 40 kg/kmol
= 9.090,909 kg/jam

- Mencari jumlah massa reaktan umpan sebagai berikut:
- $\text{Mol Na}_2\text{CO}_3 = \frac{113,636 \text{ kmol/jam}}{0,9}$
 $= 126,263 \text{ kmol/jam}$
- $\text{Massa Na}_2\text{CO}_3 = \text{mol Na}_2\text{CO}_3 \times \text{BM Na}_2\text{CO}_3$
 $= 126,263 \text{ kmol/jam} \times 106 \text{ kg/kmol}$
 $= 13.383,838 \text{ kg/jam}$
- $\text{Mol Ca(OH)}_2 = \text{mol Na}_2\text{CO}_3$
 $= 126,263 \text{ kmol/jam}$
- $\text{Massa Ca(OH)}_2 = \text{mol Ca(OH)}_2 \times \text{BM Ca(OH)}_2$
 $= 126,263 \text{ kmol/jam} \times 74 \text{ kg/kmol}$
 $= 9.343,434 \text{ kg/jam}$

Reaksi:



- Produk yang terbentuk
- $\text{Massa Ca(OH)}_2 = 9.343,434 \text{ kg/jam}$
- $\text{Mol Ca(OH)}_2 = 126,263 \text{ kmol/jam}$
- Mencari jumlah massa reaktan umpan sebagai berikut:
- $\text{Mol CaO} = 126,263 \text{ kmol/jam} : 0,9$
 $= 140,292 \text{ kmol/jam}$
- $\text{Mol H}_2\text{O} = 140,292 \text{ kmol/jam}$
- $\text{Massa CaO} = 140,292 \text{ kmol/jam} \times 56 \text{ kg/kmol}$
 $= 7.856,341 \text{ kg/jam}$
- $\text{Massa H}_2\text{O} = 140,292 \text{ kmol/jam} \times 18 \text{ kg/kmol}$
 $= 2.525,253 \text{ kg}$

Reaksi:



- Produk yang terbentuk
- $\text{Massa CaO} = 2.525,253 \text{ kg/jam}$
- $\text{Mol CaO} = 140,292 \text{ kmol/jam}$

- Mol CO₂ = 140,292 kmol/jam
- Massa CO₂ = mol CO₂ × BM CO₂
= 140,292 kmol/jam × 44 kg/kmol
= 6.172,84 kg/jam
- Mencari jumlah massa reaktan umpan sebagai berikut:
 - Mol CaCO₃ = 140,292 / 0,9
= 155,879 kmol/jam
 - Massa CaCO₃ = mol CaCO₃ × BM CaCO₃
= 155,879 kmol/jam × 100 kg/kmol
= 15.587,9 kg/jam

$$\begin{aligned}
 \text{Harga Produk} &= \text{harga CaCO}_{3(\text{precipitated})} + \text{harga NaOH} \\
 &= (11.363,636 \text{ kg/jam} \times 0,4 \$) + (9.090,909 \text{ kg/jam} \\
 &\quad \times 0,5 \$) \\
 &= 9.090,91 \$ \text{ kg/jam} \\
 &= 72.000 \$ \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Harga Bahan Baku} &= \text{harga Na}_2\text{CO}_3 + \text{harga CaCO}_3 \\
 &= (13.383,838 \text{ kg/jam} \times 0,43 \$) + (15.587,9 \text{ kg/jam} \times \\
 &\quad 0,135 \$) \\
 &= 7.859,42 \$ \text{ kg/jam} \\
 &= 62.246,58 \$ \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Estimasi Profit} &= \text{harga produk} - \text{harga bahan baku} \\
 &= (72.000 \$ \text{ ton/tahun} - 62.246,58 \$ \text{ ton/tahun}) \times \text{kapasitas} \\
 &\quad \text{produksi} \\
 &= 9.753,42 \$ \text{ ton/tahun} \times 90.000 \\
 &= 877.807.540,37 \$
 \end{aligned}$$

3. Proses *Calcium Chloride*

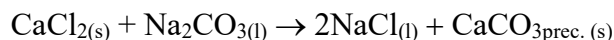
Untuk harga bahan baku dan produk pada proses *Calcium Chloride* ditunjukkan pada Tabel 2.3 sebagai berikut:

Tabel 2.3 Harga Bahan Baku dan Produk Proses *Calcium Chloride*

Bahan	Harga (\$/ton)	Harga (\$/kg)
1. Na ₂ CO ₃	430	0,43
2. NaCl	220	0,22
3. CaCO ₃ (precipitated)	400	0,40
4. NH ₄ Cl	250	0,25
5. Ca(OH) ₂	80	0,08

Sumber: chemanalyst.com

Reaksi:



Diketahui:

Kapasitas Produksi = 90.000 ton/tahun

Waktu Produksi = 330 hari

Konversi = 80 %

BM CaCO₃(precipitated) = 100 g/mol

- Produk yang terbentuk

- Massa CaCO₃(precipitated) = $\frac{90.000 \text{ ton}}{1 \text{ tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$
= 11.363,636 kg/jam

- Mol CaCO₃(precipitated) = 113,636 kmol/jam

- Mol NaCl = 2 × 113,636 kmol/jam
= 227,273 kmol/jam

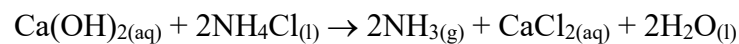
- Massa NaCl = mol NaCl × BM NaCl
= 227,273 kmol/jam × 58,5 kg/kmol
= 13.295,45 kg/jam

- Mencari jumlah massa reaktan umpan sebagai berikut:

- Mol CaCl₂ = $\frac{113,636 \text{ kmol/jam}}{0,8}$
= 142,045 kmol/jam

- Massa $\text{CaCl}_2 = \text{mol CaCl}_2 \times \text{BM CaCl}_2$
 $= 142,045 \text{ kmol/jam} \times 110,98 \text{ kg/kmol}$
 $= 15.764,2 \text{ kg/jam}$
- Mol $\text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{mol CaCl}_2$
 $= 142,045 \text{ kmol/jam}$
- Massa $\text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{mol Na}_2\text{CO}_3 \times \text{BM Na}_2\text{CO}_3$
 $= 142,045 \text{ kmol/jam} \times 106 \text{ kg/kmol}$
 $= 15.056,82 \text{ kg/jam}$

Reaksi:



- Produk yang terbentuk
- Massa $\text{CaCl}_2 = 15.764,2 \text{ kg/jam}$
- Mol $\text{CaCl}_2 = 142,045 \text{ kmol/jam}$
- Mol $\text{NH}_3 = 2 \times 142,045 \text{ kmol/jam}$
 $= 284,091 \text{ kmol/jam}$
- Massa $\text{NH}_3 = \text{mol NH}_3 \times \text{BM NH}_3$
 $= 284,091 \text{ kmol/jam} \times 17 \text{ kg/kmol}$
 $= 4.829,545 \text{ kg/jam}$
- Mol $\text{H}_2\text{O} = 2 \times 142,045 \text{ kmol/jam}$
 $= 284,091 \text{ kmol/jam}$
- Massa $\text{H}_2\text{O} = \text{mol H}_2\text{O} \times \text{BM H}_2\text{O}$
 $= 284,091 \text{ kmol/jam} \times 18 \text{ kg/kmol}$
 $= 5.113,636 \text{ kg/jam}$
- Mencari jumlah massa reaktan umpan sebagai berikut:
- Mol $\text{Ca(OH)}_2 = 142,045 / 0,8$
 $= 177,557 \text{ kmol/jam}$
- Massa $\text{Ca(OH)}_2 = \text{mol Ca(OH)}_2 \times \text{BM Ca(OH)}_2$
 $= 177,557 \text{ kmol/jam} \times 74 \text{ kg/kmol}$
 $= 13.139,2 \text{ kg/jam}$
- Mol $\text{NH}_4\text{Cl} = 2 \times 177,557$

$$\begin{aligned}
 &= 355,114 \text{ kmol/jam} \\
 \bullet \quad \text{Massa NH}_4\text{Cl} &= \text{mol NH}_4\text{Cl} \times \text{BM NH}_4\text{Cl} \\
 &= 355,114 \text{ kmol/jam} \times 53,5 \text{ kg/kmol} \\
 &= 18.995,03 \text{ kg/jam} \\
 \text{Harga Produk} &= \text{harga CaCO}_3(\text{precipitated}) + \text{harga NaCl} \\
 &= (11.363,636 \text{ kg/jam} \times 0,4 \$) + (13.295,45 \text{ kg/jam} \times \\
 &\quad 0,22 \$) \\
 &= 7.470,45 \$ \text{ kg/jam} \\
 &= 59.165,99 \$ \text{ ton/tahun} \\
 \text{Harga BB} &= \text{harga Ca(OH)}_2 + \text{harga Na}_2\text{CO}_3 + \text{harga NH}_4\text{Cl} \\
 &= (13.139,2 \text{ kg/jam} \times 0,08 \$) + (15.056,82 \text{ kg/jam} \\
 &\quad \times 0,43 \$) + (18.995,03 \times 0,25 \$) \\
 &= 9.078,91 \$ \text{ kg/jam} \\
 &= 71.905 \$ \text{ ton/tahun} \\
 \text{Estimated Profit} &= \text{harga produk} - \text{harga bahan baku} \\
 &= 59.165,99 \$\text{ton/tahun} - 71.905 \$\text{ton/tahun} \times \text{kapasitas} \\
 &\quad \text{produksi} \\
 &= -12.739 \$ \text{ ton/tahun} \times 90.000 \\
 &= -1.146.510.423,43 \$
 \end{aligned}$$

2.2.2 Tinjauan Termodinamika

Perubahan entalpi (ΔH) menunjukkan panas reaksi yang dihasilkan ataupun panas reaksi yang dibutuhkan selama proses berlangsungnya reaksi kimia. Besar atau kecil nilai ΔH tersebut menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan maupun dihasilkan. ΔH bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut membutuhkan panas agar berlangsungnya reaksi sehingga semakin besar ΔH maka semakin besar juga energi yang dibutuhkan. Sedangkan ΔH bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi sehingga tidak membutuhkan energi selama proses namun membutuhkan energi untuk penyerapan panas agar reaksi tetap berlangsung pada temperatur reaksinya.

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:

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

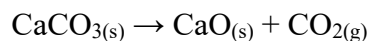
Maka nilai ΔH° adalah :

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

(Smith dkk., 2001)

1. Proses Karbonasi

Reaksi (1):



Untuk menghitung entalpi standar diperlukan data-data yang tertera pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Nilai ΔH_f° Pada Suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	ΔH_f° (kJ/mol)
CaCO ₃	-1.206,92
CaO	-635,090
CO ₂	-393,509

Sumber: Smith dkk. 2001

$$\begin{aligned} \Delta H_{298}^\circ &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= [\Delta H_f^\circ \text{ CaO}_{(s)} + \Delta H_f^\circ \text{ CO}_{2(g)}] - [\Delta H_f^\circ \text{ CaCO}_{3(s)}] \\ &= [(-635,090) + (-393,509)] - [-1.206,920] \text{ kJ/mol} \\ &= 178,321 \text{ kJ/mol} \\ &= 178.321 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5 Nilai Konstanta C_p (kJ/mol.K)

Formula	n	A	B	C	D
CaCO ₃	1	12,572	0,002637	-	312.000
CaO	1	6,104	0,000443	-	104.700
CO ₂	1	5,457	0,001045	-	115.700
Δ	-	-1,011	-0,001149	-	91.600

Sumber: Smith dkk. 2001

Diketahui:

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

$$T_1 = 950^\circ\text{C} = 1.223,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

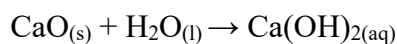
Selanjutnya, nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD disubstitusi pada rumus sebagai berikut

$$\Delta H^\circ = 178,321 + 8,314[-1,011(1.223,15 - 298,15) + \frac{-0,001149}{2}(1.223,15^2 - 298,15^2) + 91.600 \left(\frac{1.223,15 - 298,15}{1.223,15 \times 298,15} \right)]$$

$$\Delta H^\circ = -12.386,41 \text{ kJ/mol}$$

Karena nilai ΔH° negatif, maka reaksi bersifat eksotermis

Reaksi 2:



Untuk menghitung entalpi standar diperlukan data-data yang tertera pada Tabel 2.6 berikut.

Tabel 2.6 Nilai ΔH°_f Pada Suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	ΔH°_f (kJ/mol)
CaO	-635,090
H ₂ O(l)	-285,830
Ca(OH) _{2(s)}	-986,090

Sumber: Smith dkk. 2001

$$\begin{aligned}
 \Delta H^\circ_{f\ 298K} &= \sum \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \sum \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} \\
 &= (\Delta H^\circ_f \text{ Ca(OH)}_{2(aq)}) - (\Delta H^\circ_f \text{ CaO}_{(s)} + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O}_{(l)}) \\
 &= (-986,090) - (-635,090 + -285,830) \\
 &= -65,17 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut:

Tabel 2.7 Nilai Konstanta C_p (kJ/mol.K)

Formula	n	A	B	C	D
CaO _(s)	1	6,104	0,000443	-	-104.700
H ₂ O _(l)	1	8,712	0,00125	$-1,8 \times 10^{-7}$	-
Ca(OH) _{2(s)}	1	9,597	0,005435	-	-
Δ	-	-5,22	0,00374	$1,8 \times 10^{-7}$	104.700

Sumber: Smith dkk. 2001

Diketahui:

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

$$T = 80^\circ\text{C} = 353,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

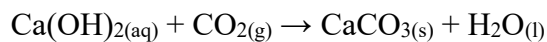
Selanjutnya, nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD disubstitusi pada rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta H^\circ &= -65,17 + 8,314 \left[-5,22(353,15 - 298,15) + \frac{0,00374}{2} (353,15^2 - \right. \\
 &298,15^2) + \frac{1,8 \times 10^{-7}}{3} (353,15^3 - 298,15^3) + 104.700 \left. \left(\frac{353,15 - 298,15}{353,15 \times 298,15} \right) \right]
 \end{aligned}$$

$$\Delta H^\circ = -1.431 \text{ kJ/mol}$$

Diperoleh nilai ΔH° suhu operasi proses ini sebesar -1.431 kJ/mol yang menunjukkan reaksi bersifat eksotermis.

Reaksi 3:



Untuk menghitung entalpi standar diperlukan data-data yang tertera pada Tabel 2.8 berikut.

Tabel 2.8 Nilai ΔH°_f Pada Suhu 25°C ($298,15 \text{ K}$)

Komponen	$\Delta H^\circ_f(\text{kJ/mol})$
$\text{Ca(OH)}_{2(\text{s})}$	-986,09
$\text{CO}_{2(\text{g})}$	-393,509
$\text{CaCO}_{3(\text{s})}$	-1.206,92
$\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$	-285,830

Sumber: Smith dkk. 2001

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{f\ 298K} &= \sum \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \sum \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta H^\circ_f \text{ CaCO}_{3(\text{s})} + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O}_{(\text{l})}) - (\Delta H^\circ_f \text{ Ca(OH)}_{2(\text{aq})} + \Delta H^\circ_f \\ &\quad \text{CO}_{2(\text{g})}) \\ &= (-1206,92 + -285,830) - (-986,09 + -393,509) \\ &= -113,151 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.9 berikut:

Tabel 2.9 Nilai Konstanta C_p (kJ/mol.K)

Komponen	A	B	C	D
CaCO_3	12,572	0,00264	-	-312.000
CO_2	5,457	0,00105	-	-115.700
Ca(OH)_2	9,597	0,00544	-	-
H_2O	8,712	0,00125	$-1,8 \times 10^{-7}$	-

Δ	6,23	-0,00259	$-1,8 \times 10^{-7}$	-196.300
----------	------	----------	-----------------------	----------

Sumber: Smith dkk. 2001

Diketahui:

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

$$T = 45^\circ\text{C} = 318,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

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

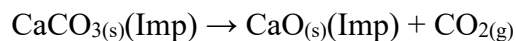
$$\begin{aligned} \Delta H^\circ = & -113,151 + 8,314[0,988 (318,15 - 298,15) + \\ & \frac{-2,393 \times 10^{-3}}{2} (318,15^2 - 298,15^2) + \frac{-1,8 \times 10^{-8}}{3} (318,15^3 - 298,15^3) + \\ & -196.300 \left(\frac{318,15 - 298,15}{318,15 \times 298,15} \right)] \end{aligned}$$

$$\Delta H^\circ = -1.066,88 \text{ kJ/mol}$$

Diperoleh nilai ΔH° suhu operasi proses ini sebesar -1.066,88 kJ/mol yang menunjukkan reaksi bersifat eksotermis.

1. Proses *Lime Soda*

Reaksi (1):



Untuk menghitung entalpi standar diperlukan data-data yang tertera pada Tabel 2.10 berikut.

Tabel 2.10 Nilai ΔH_f° (298K) Pada Suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	ΔH_f° (kJ/mol)
CaCO ₃	-1.206,92
CaO	-635,090
CO ₂	-393,509

Sumber: Smith dkk. 2001

$$\Delta H^\circ_{298} = \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan}$$

$$= [\Delta H^\circ_f \text{CaO}_{(s)} + \Delta H^\circ_f \text{CO}_{2(g)}] - [\Delta H^\circ_f \text{CaCO}_{3(s)}]$$

$$= [(-635,090) + (-393,509)] - [-1.206,920] \text{ kJ/mol}$$

$$= 178,321 \text{ kJ/mol}$$

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.11 berikut:

Tabel 2.11 Nilai Konstanta C_p (kJ/mol.K)

Formula	n	A	B	C	D
CaCO ₃	1	12,572	0,002637	-	312.000
CaO	1	6,104	0,000443	-	104.700
CO ₂	1	5,457	0,001045	-	115.700
Δ	-	-1,011	-0,001149	-	91.600

Sumber: Smith dkk. 2001

Diketahui:

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

$$T_1 = 1000^\circ\text{C} = 1273,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

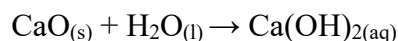
Selanjutnya, nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD disubstitusi pada rumus sebagai berikut

$$\Delta H^\circ = 178,321 + 8,314[-1,011(1273,15 - 298,15) + \frac{-0,001149}{2}(1273,15^2 - 298,15^2) + 91.600 \left(\frac{1273,15 - 298,15}{1273,15 \times 298,15} \right)]$$

$$\Delta H^\circ = -13.375,78 \text{ kJ/mol.K}$$

Karena nilai ΔH° negatif, maka reaksi bersifat eksotermis

Reaksi 2:



Untuk menghitung entalpi standar diperlukan data-data yang tertera pada Tabel 2.12 berikut.

Tabel 2.12 Nilai ΔH°_f Pada Suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	ΔH°_f (kJ/mol)
CaO	-635,090
H ₂ O(l)	-285,830
Ca(OH) _{2(s)}	-986,090

Sumber: Smith dkk. 2001

$$\begin{aligned}
 \Delta H^\circ_{f\ 298K} &= \sum \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \sum \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} \\
 &= (\Delta H^\circ_f \text{ Ca(OH)}_{2(aq)}) - (\Delta H^\circ_f \text{ CaO}_{(s)} + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O}_{(l)}) \\
 &= (-986,090) - (-635,090 + -285,830) \\
 &= -65,17 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.13 berikut:

Tabel 2.13 Nilai Konstanta C_p (kJ/mol.K)

Formula	n	A	B	C	D
CaO _(s)	1	6,104	0,000443	-	-104.700
H ₂ O _(l)	1	8,712	0,00125	$-1,8 \times 10^{-7}$	-
Ca(OH) _{2(s)}	1	9,597	0,005435	-	-
Δ	-	-5,22	0,00374	$1,8 \times 10^{-7}$	104.700

Sumber: Smith dkk. 2001

Diketahui:

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

$$T = 80^\circ\text{C} = 353,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

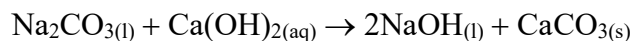
Selanjutnya, nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD disubstitusi pada rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta H^\circ &= -65,17 + 8,314[-5,22(353,15 - 298,15) + \frac{0,00374}{2}(353,15^2 - \\
 &298,15^2) + \frac{1,8 \times 10^{-7}}{3}(353,15^3 - 298,15^3) + 104.700 \left(\frac{353,15 - 298,15}{353,15 \times 298,15} \right)]
 \end{aligned}$$

$$\Delta H^\circ = -1.431 \text{ kJ/mol}$$

Diperoleh nilai ΔH° suhu operasi proses ini sebesar -1.431 kJ/mol yang menunjukkan reaksi bersifat eksotermis.

Reaksi (3):



Nilai ΔH°_f masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.14 berikut:

Tabel 2.14 Nilai ΔH°_f pada suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	ΔH°_f (kJ/mol)
$\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{l})$	-1.130,935
$\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq})$	-986,09
$\text{NaOH}(\text{l})$	-416,893
$\text{CaCO}_3(\text{s})$	1.206,92

Sumber: Smith dkk. 2001

$$\Delta H^\circ_{298} = \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan}$$

$$\begin{aligned} &= [\Delta H^\circ_f \text{NaOH}(\text{l}) + \Delta H^\circ_f \text{CaCO}_3(\text{s})] - [\Delta H^\circ_f \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq}) + \Delta H^\circ_f \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{l})] \\ &= [(-416,893) + 1.206,92] - [(-986,09) + (-1.130,935)] \text{ kJ/mol} \\ &= 493,212 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.15 berikut:

Tabel 2.15 Nilai Konstanta C_p (kJ/mol.K)

Formula	n	A	B	C	D
$\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{l})$	1	175,201	-348×10^{-3}	743,072	$-305,55 \times 10^5$
$\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq})$	1	9,597	$5,435 \times 10^{-3}$	-	-
$\text{NaOH}(\text{l})$	2	0,121	$16,316 \times 10^{-3}$	-	$19,48 \times 10^5$
$\text{CaCO}_3(\text{s})$	1	12,572	$2,637 \times 10^{-3}$	-	$-3,12 \times 10^5$

Δ	-172,105	-0,362	-743,072	$304,378 \times 10^5$
----------	----------	--------	----------	-----------------------

Sumber: Smith dkk. 2001

Diketahui:

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

$$T = 55^\circ\text{C} = 328,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

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

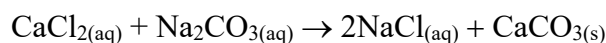
$$\Delta H^\circ = 493,212 + 8,314[-172,105(328,15 - 298,15) + \frac{-0,362}{2}(328,15^2 - 298,15^2) + \frac{-743,072}{3}(328,15^3 - 298,15^3) + 304,378 \times 10^5 \left(\frac{328,15 - 298,15}{328,15 \times 298,15}\right)]$$

$$\Delta H^\circ = -1.817.112 \text{ kJ/mol } 1.817.112$$

Karena nilai ΔH° negatif, maka reaksi bersifat eksotermis

2. Proses Calcium Chloride

Reaksi yang terjadi :



Nilai ΔH°_f masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.16 berikut:

Tabel 2.16 Nilai ΔH°_f pada suhu 25°C (298,15 K)

Komponen	ΔH°_f 298 K (kJ/mol)
$\text{CaCl}_{2(\text{aq})}$	-774,04
$\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$	-1.130,935
$\text{NaCl}_{(\text{aq})}$	-407,27
$\text{CaCO}_{3(\text{s})}$	1.206,92

Sumber: Smith dkk. 2001

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{298} &= \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} \\ &= [2\Delta H^\circ_f \text{NaCl}_{(\text{aq})} + \Delta H^\circ_f \text{CaCO}_{3(\text{s})}] - [\Delta H^\circ_f \text{CaCl}_{2(\text{aq})} + \Delta H^\circ_f \\ &\quad \text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}] \end{aligned}$$

$$= [2(-407,27) + 1.206,92] - [(-774,04) + (-1.130,935)]$$

$$= 290,785 \text{ kJ/mol}$$

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.17 berikut:

Tabel 2.17 Nilai Konstanta C_p (kJ/mol.K)

Formula	n	A	B	C	D
$\text{CaCl}_{2(\text{aq})}$	1	8,646	$1,53 \times 10^{-3}$	-	$-3,02 \times 10^5$
$\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$	1	175,201	-348×10^{-3}	743,072	$-305,55 \times 10^5$
$\text{NaCl}_{(\text{aq})}$	2	5,526	$1,963 \times 10^{-3}$	-	-
$\text{CaCO}_{3(\text{s})}$	1	8,712	$1,25 \times 10^{-3}$	$-0,18 \times 10^{-6}$	$-1,86 \times 10^5$
Δ		-165,749	0,351	-743,072	$-302,73 \times 10^5$

Sumber: Smith dkk. 2001

Diketahui:

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

$$T = 65^\circ\text{C} = 338,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

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

$$\Delta H^\circ = 290,785 + 8,314 [-165,749(338,15 - 298,15) + \frac{0,351}{2}(338,15^2 - 298,15^2) + \frac{-743,072}{3}(338,15^3 - 298,15^3) + -302,73 \times 10^5 \left(\frac{338,15 - 298,15}{338,15 \times 298,15} \right)]$$

$$\Delta H^\circ = -25.022.227.397 \text{ kJ/mol}$$

Karena nilai ΔH negatif, maka reaksi bersifat eksotermis

2.2.3 Tinjauan Termodinamika Berdasarkan Energi Gibbs (ΔG°)

Energi Gibbs standar menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia. ΔG° bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga dibutuhkan energi tambahan dari luar. Sedangkan ΔG° bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat

berlangsung secara spontan dan hanya sedikit membutuhkan energi. Oleh karena itu, semakin kecil atau negatif ΔG° maka reaksi tersebut akan semakin baik karena untuk berlangsung spontan energi yang dibutuhkan semakin kecil.

$$\Delta G^\circ (298^\circ\text{K}) = \Delta G^\circ \text{ produk} - \Delta G^\circ \text{ reaktan}$$

Untuk menghitung pada suhu tertentu menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

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

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

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

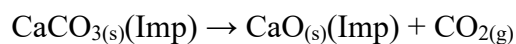
$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta Cp}{R} \frac{dT}{T} = \Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 + T^2} \right) + \frac{(T + T_0)}{2} \right] (T - T_0)$$

Maka nilai ΔG° adalah

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

1. Proses Karbonasi

Reaksi 1:



Nilai ΔG°_f masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat Tabel 2.18 sebagai berikut :

Tabel 2.18 Nilai ΔG°_f Komponen

Komponen	ΔG°_f (kJ/mol)
$\text{CaCO}_{3(s)}$	-1.128,797
$\text{CaO}_{(s)}$	-603,542

CO _{2(g)}	-394,384
--------------------	----------

Sumber: Smith dkk. 2001

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}_{298} &= \Delta G^{\circ}_f \text{ produk} - \Delta G^{\circ}_f \text{ reaktan} \\ &= [\Delta G^{\circ}_f \text{ CaO}_{(s)} + \Delta G^{\circ}_f \text{ CO}_{2(g)}] - [\Delta G^{\circ}_f \text{ CaCO}_{3(s)}] \\ &= [(-603,542) + (-394,384)] - [-1.128,797] \\ &= 130,871 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.19 berikut:

Tabel 2.19 Nilai Konstanta C_p (kJ/mol.K)

Komponen	A	B	C	D
CaCO _{3(s)}	12,572	2,637 x 10 ⁻³	-	-3,12 x 10 ⁵
CaO _(s)	6,104	0,443 x 10 ⁻³	-	-1,047 x 10 ⁵
CO _{2(g)}	5,457	1,045 x 10 ⁻³	-	-1,157 x 10 ⁵
Δ	-1,011	-1,149 x 10 ⁻³	-	91.600

Sumber: Smith dkk. 2001

Diketahui :

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

$$T = 950^{\circ}\text{C} = 1223,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^{\circ}\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\Delta H^{\circ}_{298} = \Delta H_0 = 178,321 \text{ kJ/mol}$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔG° , sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned}\Delta G_R^{\circ} &= 178,321 - \frac{298}{773}(178,321 - 130,871) + \\ &8,314 \left[-1,011 + \frac{-1,149 \times 10^{-3}}{2}(298 + 773) + \right. \\ &\quad \left. \frac{0}{3}(298^2 + 773^2) + \frac{91.600}{298 \times 773} \right] (298 - 773) - 8,314 \times \\ &298 \left[-1,011 \ln \frac{298}{773} + \left[-1,149 \times 10^{-3} + \left(0 + \frac{91.600}{773^2 + 298^2} \right) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \frac{(298+773)}{2} \right] (298 - 773) \right]\end{aligned}$$

$$\Delta G_R^\circ = 2.360,24 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_P^\circ = 178,321 - \frac{1273}{298}(178,321 - 130,871) +$$

$$8,314 \left[-1,011 + \frac{-1,149 \times 10^{-3}}{2}(1273 + 298) + \frac{0}{3}(1273^2 + 298^2) + \frac{91.600}{1273 \times 298} \right] (1273 - 298) - 8,314 \times$$

$$298 \left[-1,011 \ln \frac{1273}{298} + \left[-1,149 \times 10^{-3} + \left(0 + \frac{91.600}{298^2 + 1273^2} \right) + \frac{(1273 + 298)}{2} \right] (1273 - 298) \right]$$

$$\Delta G_P^\circ = -8.373,582 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ = \Delta G_R^\circ + \Delta G_P^\circ$$

$$= 2.360,24 + (-8.373,582)$$

$$= -6.013,342 \text{ kJ/mol}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai $\Delta G < 0$ yang menunjukkan bahwa reaksi berlangsung secara spontan.

Reaksi 2:

$$\begin{aligned} \Delta G_{298K} &= \sum \Delta G_f \text{ produk} - \sum \Delta G_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta G_f \text{ Ca(OH)}_2) - (\Delta G_f \text{ CaO} + \text{H}_2\text{O}) \\ &= (-898,49) - (-604,03 + -237,129) \\ &= -57,331 \end{aligned}$$

Diketahui :

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

$$T = 80^\circ\text{C} = 353,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}^\circ$$

$$\Delta H^\circ_{298} = \Delta H_0 = 65,66 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G^\circ_{298} = \Delta G_0 = -57,331 \text{ kJ/mol}$$

Maka diperoleh nilai:

$$\begin{aligned} \Delta A &= (A \text{ Ca(OH)}_2) - (A \text{ CaO} + \text{H}_2\text{O}) \\ &= (9,597) - (6,104 + 3,47) \\ &= 0,023 \end{aligned}$$

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

$$\Delta B = 0,003542$$

$$\Delta C = 18 \times 10^{-9}$$

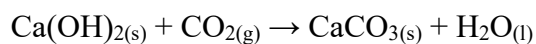
$$\Delta D = 104.700$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔG° , sehingga didapatkan:

$$\Delta G^\circ = -54,008$$

Diperoleh nilai ΔG° suhu reaksi pada reaksi proses ini sebesar -54,008. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa reaksi berlangsung secara spontan.

Reaksi 3:



Nilai ΔG°_f masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat Tabel 2.20 sebagai berikut:

Tabel 2.20 Nilai ΔG_{298} Proses Karbonasi 25°C (298,15 K)

Komponen	ΔG_f (kJ/mol)
$\text{Ca(OH)}_{2(s)}$	-898,49
$\text{CO}_{2(g)}$	-394,359
$\text{CaCO}_{3(s)}$	-1.128,797
$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	-237,129

Sumber: Smith dkk. 2001

$$\begin{aligned} \Delta G_{298K} &= \sum \Delta G_f \text{ produk} - \sum \Delta G_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta G_f \text{ CaCO}_{3(s)} + \Delta G_f \text{ H}_2\text{O}_{(l)}) - (\Delta G_f \text{ Ca(OH)}_{2(s)} + \Delta G_f \text{ CO}_{2(g)}) \\ &= [(-1.128,79 + (-237,129))] - [(-898,49 + -394,359)] \\ &= -73,07 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.21 berikut:

Tabel 2.21 Nilai konstanta Cp (kJ/mol.K)

Komponen	A	B	C	D
CaCO _{3(s)}	12,572	2637 x 10 ⁻³	-	-3,12 x 10 ⁵
CO _{2(g)}	5,457	1045 x 10 ⁻³	-	-1,157 x 10 ⁵
Ca(OH) _{2(s)}	9,597	5435 x 10 ⁻³	-	-
H _{2O(l)}	3,47	1450 x 10 ⁻³	-1,8 x 10 ⁻⁸	-
Δ	0,988	-2,393 x 10 ⁻³	-1,8 x 10 ⁻⁸	-196.300

Sumber: Smith dkk. 2001

Diketahui :

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

$$T = 45^\circ\text{C} = 318,15 \text{ K}$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}^\circ$$

$$\Delta H^\circ_{298} = \Delta H_0 = -113,151 \text{ kJ/mol}$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA, ΔB, ΔC, dan ΔD pada rumus ΔG°, sehingga didapatkan:

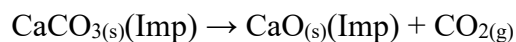
$$\begin{aligned} \Delta G^\circ &= -113,151 - \frac{318,15}{298,15} (-113,151 - (-73,07)) + \\ &8,314 \left[\frac{0,988 + \frac{-2,393 \times 10^{-3}}{2} (318,15 + 298,15) + \frac{-1,8 \times 10^{-8}}{3} (318,15^2 + 298,15^2) + \frac{-196.300}{318,15 \times 298,15}}{\frac{318,15}{298,15}} \right] (318,15 - 298,15) - \\ &8,314 \times 318 \left[0,988 \ln \frac{318,15}{298,15} + \right. \\ &\left. \left[\frac{-2,393 \times 10^{-3} + \left(-1,8 \times 10^{-8} + \frac{-196.300}{298,15^2 + 318,15^2} \right) + \frac{(318,15 + 298,15)}{2}}{\frac{318,15 + 298,15}{2}} \right] (318,15 - 298,15) \right] \end{aligned}$$

$$\Delta G^\circ = -79,913 \text{ kJ/mol}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai ΔG < 0 yang menunjukkan bahwa reaksi berlangsung secara spontan.

2. Proses Lime Soda

Reaksi (1):



Nilai ΔG°_f masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat Tabel 2.22 sebagai berikut:

Tabel 2.22 Nilai ΔG°_f Komponen

Komponen	ΔG°_f (kJ/mol)
$\text{CaCO}_3(\text{s})$	-1.128,797
$\text{CaO}(\text{s})$	-603,542
$\text{CO}_2(\text{g})$	-394,384

Sumber: Smith dkk. 2001

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{298} &= \Delta G^\circ_f \text{ produk} - \Delta G^\circ_f \text{ reaktan} \\ &= [\Delta G^\circ_f \text{ CaO}(\text{s}) + \Delta G^\circ_f \text{ CO}_2(\text{g})] - [\Delta G^\circ_f \text{ CaCO}_3(\text{s})] \\ &= [(-603,542) + (-394,384)] - [-1.128,797] \\ &= 130,871 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.23 berikut:

Tabel 2.23 Nilai Konstanta C_p (kJ/mol.K)

Komponen	A	B	C	D
$\text{CaCO}_3(\text{s})$	12,572	$2,637 \times 10^{-3}$	-	$-3,12 \times 10^5$
$\text{CaO}(\text{s})$	6,104	$0,443 \times 10^{-3}$	-	$-1,047 \times 10^5$
$\text{CO}_2(\text{g})$	5,457	$1,045 \times 10^{-3}$	-	$-1,157 \times 10^5$
Δ	-1,011	$-1,149 \times 10^{-3}$	-	91.600

Sumber: Smith dkk. 2001

Diketahui :

$$\begin{aligned} R &= 8,314 \text{ J/mol.K} \\ T &= 1000^\circ\text{C} = 1273,15 \text{ K} \\ T_0 &= 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\Delta H^\circ_{298} = \Delta H_0 = 178,321 \text{ kJ/mol}$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔG° , sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ &= 178,321 - \frac{1273,15}{298,15} (178,321 - 130,871) + \\ &8,314 \left[-1,011 + \frac{-1,149 \times 10^{-3}}{2} (1273,15 + 298,15) + \right. \\ &\left. \frac{0}{3} (1273,15^2 + 298,15^2) + \frac{91.600}{1273,15 \times 298,15} \right] (1273,15 - 298,15) - \\ &8,314 \times 298,15 \left[-1,011 \ln \frac{1273,15}{298,15} + \right. \\ &\left. \left[\frac{-1,149 \times 10^{-3}}{2} + \left(0 + \frac{91.600}{298,15^2 + 1273,15^2} \right) + \right. \right. \\ &\left. \left. \frac{(1273,15 + 298,15)}{2} \right] (1273,15 - 298,15) \right] \\ \Delta G^\circ &= -8.373,582 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai $\Delta G < 0$ yang menunjukkan bahwa reaksi berlangsung secara spontan.

Reaksi (2):

$$\begin{aligned} \Delta G_{298K} &= \sum \Delta G_f \text{ produk} - \sum \Delta G_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta G_f \text{ Ca(OH)}_2) - (\Delta G_f \text{ CaO} + \text{H}_2\text{O}) \\ &= (-898,49) - (-604,03 + -237,129) \\ &= -57,331 \end{aligned}$$

Diketahui :

$$\begin{aligned} R &= 8,314 \text{ J/mol.K} \\ T &= 80^\circ\text{C} = 353,15 \text{ K} \\ T_0 &= 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K} \\ \Delta H^\circ_{298} &= \Delta H_0 = 65,66 \text{ J/mol} \\ \Delta G^\circ_{298} &= \Delta G_0 = -57,331 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Maka diperoleh nilai:

$$\begin{aligned} \Delta A &= (A \text{ Ca(OH)}_2) - (A \text{ CaO} + \text{H}_2\text{O}) \\ &= (9,597) - (6,104 + 3,47) \\ &= 0,023 \end{aligned}$$

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

$$\Delta B = 0,003742$$

$$\Delta C = 18 \times 10^{-9}$$

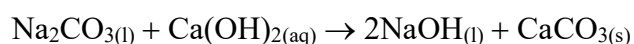
$$\Delta D = 104,700$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔG° , sehingga didapatkan:

$$\Delta G^\circ = 1.167,18$$

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa reaksi berlangsung secara tidak spontan.

Reaksi (3):



Nilai ΔG°_f masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat Tabel 2.24 sebagai berikut:

Tabel 2.24 Nilai ΔG°_f komponen

Komponen	ΔG°_f (kJ/mol)
$\text{Na}_2\text{CO}_{3(l)}$	-1.047,674
$\text{Ca}(\text{OH})_{2(aq)}$	-898,49
$\text{NaOH}_{(l)}$	-374,133
$\text{CaCO}_{3(s)}$	-1.128,797

Sumber: Smith dkk. 2001

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_0 &= \Delta G^\circ_f \text{ produk} - \Delta G^\circ_f \text{ reaktan} \\ &= [2\Delta G^\circ_f \text{NaOH}_{(l)} + \Delta G^\circ_f \text{CaCO}_{3(s)}] - [\Delta G^\circ_f \text{Na}_2\text{CO}_{3(l)} + \Delta G^\circ_f \text{Ca}(\text{OH})_{2(aq)}] \\ &= [(-374,133) + (-1.128,797)] - [(-1.047,674) + -898,49] \\ &= 443,241 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.25 berikut:

Tabel 2.25 Nilai Konstanta Cp (kJ/mol.K)

Formula	n	A	B	C	D
Na ₂ CO _{3(l)}	1	175,201	-348 x 10 ⁻³	743,072	-305,55 x 10 ⁵
Ca(OH) _{2(aq)}	1	9,597	5,435 x 10 ⁻³	-	-
NaOH _(l)	2	0,121	16,316 x 10 ⁻³	-	19,48 x 10 ⁵
CaCO _{3(s)}	1	12,572	2,637 x 10 ⁻³	-	-3,12 x 10 ⁵
Δ		-172,105	-0,362	-743,072	304,378 x 10 ⁵

Sumber: Smith dkk. 2001

Diketahui:

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

$$T = 55^\circ\text{C} = 328 \text{ K}$$

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

$$\Delta H^\circ_{298} = \Delta H_0 = 493,212 \text{ kJ/mol}$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔG° , sehingga didapatkan:

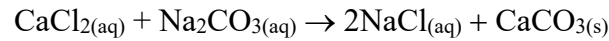
$$\begin{aligned} \Delta G^\circ = & -113,151 - \frac{328}{298}(-113,151 - 443,241) + \\ & 8,314 \left[\frac{-172,105 + \frac{-0,362}{2}(328 + 298) + \frac{-743,072}{3}(328^2 + 298^2) + \frac{304,378 \times 10^5}{328 \times 298}}{(328 - 298)} - 8,314 \times \right. \\ & 328 \left[-172,105 \ln \frac{328}{298} + \left[\frac{-0,362 + \left(-743,072 + \frac{304,378 \times 10^5}{298^2 + 328^2} \right) + \frac{(328+298)}{2}}{(328 - 298)} \right] \right. \\ & \left. \left. \left. \right] \right] \right] \end{aligned}$$

$$\Delta G^\circ = 3.316,9 \text{ kJ/mol}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai $\Delta G > 0$ yang menunjukkan bahwa reaksi berlangsung secara tidak spontan.

3. Proses Calcium Chloride

Reaksi yang terjadi :



Nilai ΔG°_f masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat Tabel 2.26 sebagai berikut :

Tabel 2.26 Nilai ΔG°_f masing-masing komponen

Komponen	ΔG°_f (kJ/mol)
$\text{CaCl}_{2(\text{aq})}$	-732,2
$\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$	-1.047,674
$\text{NaCl}_{(\text{aq})}$	-393,133
$\text{CaCO}_{3(\text{s})}$	-1.128,797

Sumber: Smith dkk. 2001

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_0 &= \Delta G^\circ_f \text{ produk} - \Delta G^\circ_f \text{ reaktan} \\ &= [2\Delta G^\circ_f \text{NaCl}_{(\text{aq})} + \Delta G^\circ_f \text{CaCO}_{3(\text{s})}] - [\Delta G^\circ_f \text{CaCl}_{2(\text{aq})} + \Delta G^\circ_f \text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}] \\ &= [2(-393,133) + (-1.128,797)] - [(-732,2) + (-1.047,674)] \\ &= 257,951 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD harus diketahui nilai konstanta C_p masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.27 berikut:

Tabel 2.27 Nilai Konstanta C_p (kJ/mol.K)

Formula	n	A	B	C	D
$\text{CaCl}_{2(\text{aq})}$	1	8,646	$1,53 \times 10^{-3}$	-	$-3,02 \times 10^5$
$\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$	1	175,201	-348×10^{-3}	743,072	$-305,55 \times 10^5$
$\text{NaCl}_{(\text{aq})}$	2	5,526	$1,963 \times 10^{-3}$	-	-
$\text{CaCO}_{3(\text{s})}$	1	8,712	$1,25 \times 10^{-3}$	$-0,18 \times 10^{-6}$	$-1,86 \times 10^5$
Δ		-165,749	0,351	-743,072	$-302,73 \times 10^5$

Sumber: Smith dkk. 2001

Diketahui:

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

$$T = 65^{\circ}\text{C} = 338 \text{ K}$$

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

$$\Delta H^{\circ}_{298} = \Delta H_0 = 290,785 \text{ kJ/mol}$$

Selanjutnya, substitusikan nilai ΔA , ΔB , ΔC , dan ΔD pada rumus ΔG° , sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ} = & 290,785 - \frac{338}{298}(290,785 - 257,951) + \\ & 8,314 \left[\frac{-165,749 + \frac{0,351}{2}(338 + 298) + \frac{-743,072}{3}(338^2 + 298^2) + \frac{-302,73 \times 10^5}{318 \times 298}}{3} \right] (338 - 298) - 8,314 \times \\ & 338 \left[-165,749 \ln \frac{338}{298} + \left[0,351 + \left(\frac{-743,072 + \frac{-302,73 \times 10^5}{298^2 + 338^2}}{\frac{(338+298)}{2}} \right) + \right] (338 - \right. \\ & \left. 298) \right] \end{aligned}$$

$$\Delta G^{\circ} = 5.049,795 \text{ kJ/mol}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai $\Delta G > 0$ yang menunjukkan bahwa reaksi berlangsung secara tidak spontan.

Dari ketiga proses pembuatan PCC, perbandingan proses dapat dilihat pada Tabel 2.24 sebagai berikut:

Tabel 2.28 Matrik Pemilihan Proses

No	Parameter	Karbonasi	Lime-soda	Calcium Chloride
1	Bahan baku	CaCO _{3(s)} CO _{2(g)}	Na ₂ CO _{3(g)} CaCO _{3(s)}	NH ₄ Cl _(g) Na ₂ CO _{3(g)} Ca(OH) _{2(g)}
2	Suhu	Reaksi 1: 950°C Reaksi 2: 80°C Reaksi 3: 45°C	Reaksi 1: 1000°C Reaksi 2: 80°C Reaksi 3: 55°C	65 °C
3	Tekanan	1 atm	1 atm	1 atm
4	Konversi	90%	85%	80%
5	Keuntungan	2.498.185.942,56 \$	877.807.540,37 \$	-1.146.510.423,43 \$
6	ΔH°	Reaksi 1: -12.386,41 kJ/mol Reaksi 2: -1.431 kJ/mol Reaksi 3: -1.066,88 kJ/mol	Reaksi 1: -13.378,39 kJ/mol Reaksi 2: -1.431 kJ/mol Reaksi 3: -1.817.112 kJ/mol	-25.022.227.397 kJ/mol
7	ΔG°	Reaksi 1: -6.241,13 kJ/mol Reaksi 2: 1.167,18 kJ/mol Reaksi 3: -79,913 kJ/mol	Reaksi 1: -6.013,34 kJ/mol Reaksi 2: 1.167,18 kJ/mol Reaksi 3: 3.316,9 kJ/mol	5.049,795 kJ/mol
8	Produk samping	-	NaOH	NaCl

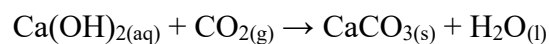
Berdasarkan matrik di atas, proses produksi *Precipitated Calcium Carbonate* yang dipilih adalah proses karbonasi. Adapun keunggulan proses karbonasi dibanding proses lainnya yaitu:

1. Bahan baku yang digunakan murah dan mudah didapat.
2. Konversi yang dihasilkan lebih besar yaitu 90%.
3. Dari hasil perhitungan keuntungan yang didapat pada proses karbonasi lebih besar dibandingkan proses lainnya.

2.2.4 Tinjauan Kinetika

Persamaan laju reaksi dapat diperoleh dari data penelitian yang dilakukan oleh Mufrodi dkk. (2023) dimana reaksi antara larutan jenuh kalsium hidroksida dan karbon dioksida menghasilkan *precipitated calcium carbonate* dalam bentuk padat. Reaksi karbonasi merupakan reaksi orde 2 terhadap reaktan kalsium hidroksida dan karbon dioksida.

Persamaan reaksi kimia:



Kecepatan reaksi CO_2 terlarut dan larutan jenuh Ca(OH)_2 pada fasa cair didekati dengan persamaan laju reaksi sebagai berikut (Doraiswamy, 1984):

$$(-r_c) = k_r \cdot C_A \cdot C_B$$

(Mufrodi dkk., 2023)

Dengan:

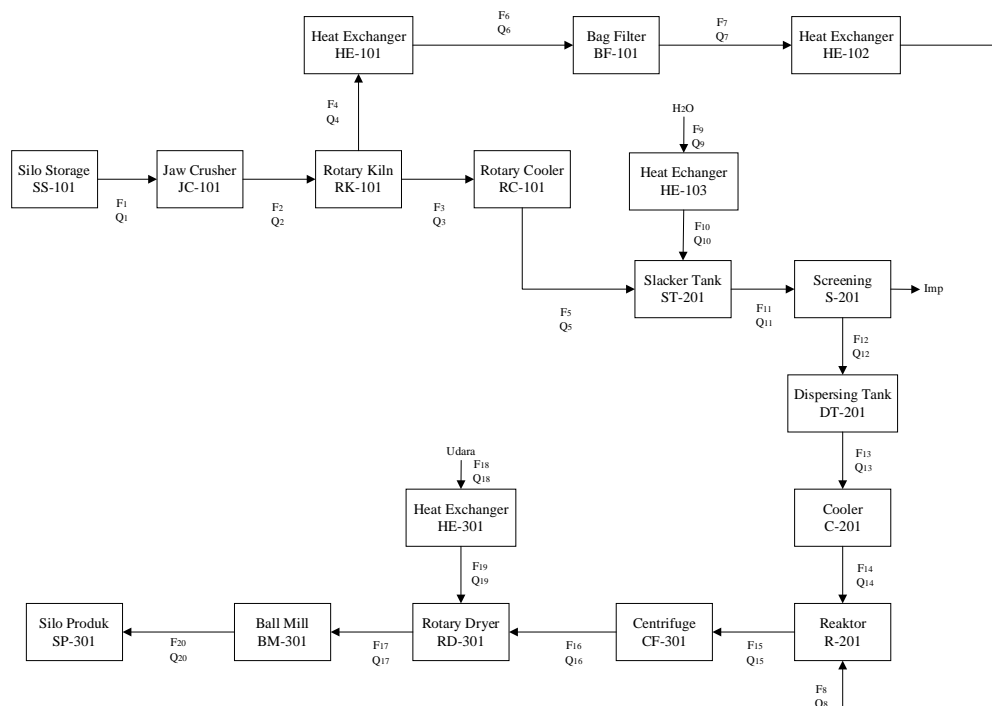
$(-r_c)$ = kecepatan reaksi karbonasi ($\text{kmol/m}^3 \cdot \text{jam}$)

C_A = konsentrasi Ca(OH)_2 (kmol/m^3)

C_B = konsentrasi CO_2 (kmol/m^3)

k_r = konstanta laju reaksi ($\text{cm}^3 \cdot \text{s/mgmol}$)

2.3 Deskripsi Proses



Gambar 2.4 Diagram Alir Proses Produksi PCC

Proses karbonasi pembuatan PCC dilakukan dalam 3 tahapan yaitu:

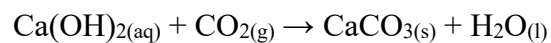
2.3.1 Tahap Penyediaan Bahan Baku

Batu kapur (CaCO_3) yang diperoleh dari tambang dibawa ke *Silo Storage* (SS-101) kemudian diumpankan ke *Jaw Crusher* (JC-101) menggunakan *Belt Conveyor* (BC-101) hingga diperoleh ukuran partikel 12–50 mm. Batu kapur ini diangkut menggunakan *Belt Conveyor* (BC-102) menuju *Rotary Kiln* (RK-101). Dalam *Rotary Kiln* terjadi proses kalsinasi pada suhu 950°C dimana kalsium karbonat terurai menjadi CaO dan CO_2 . Kalsium oksida didinginkan dalam *Rotary Cooler* (RC-101) hingga suhu 80°C . Gas CO_2 dari hasil kalsinasi didinginkan di *Heat Exchanger* (HE-101) dari suhu 500°C ke 120°C . Kemudian, CO_2 masuk ke *Bag Filter* (BF-101) untuk dipisahkan dari padatan halus (Doyle B.W., 2003; Erdogan & Eken, 2015). Selanjutnya, CO_2 masuk ke HE-102, untuk didinginkan kembali dari suhu 120°C ke suhu 45°C .

2.3.2 Tahap Pembentukan *Precipitated Calcium Carbonate*

Kalsium oksida dari *Rotary Cooler* diangkut oleh *screw conveyor* (SC-101) menuju *Slacker Tank* (ST-201). Proses hidrasi CaO pada suhu 80°C, tekanan 1 atm, dan konversi sebesar 98%. *Slurry* Ca(OH)₂ yang telah terbentuk diumpankan ke *Screening* (S-201) untuk memisahkan *impurities* dan mengontrol ukuran partikel. Selanjutnya, larutan Ca(OH)₂ jenuh diumpankan ke *Dispersing Tank* (DT-201) agar larutan Ca(OH)₂ terdispersi halus. Setelah itu, larutan Ca(OH)₂ diumpankan ke *Cooler* (C-201) hingga suhu mencapai 45°C.

Larutan Ca(OH)₂ diumpankan ke Reaktor (R-201) untuk direaksikan dengan CO₂ pada suhu 45°C, tekanan 1 atm, dan konversi sebesar 90% (Mufrodi dkk., 2023). Larutan Ca(OH)₂ jenuh masuk pada bagian atas reaktor sedangkan gas karbon dioksida masuk di bagian bawah reaktor melewati *sparger ring* yang berguna untuk menggelembungkan gas CO₂ ke dalam larutan Ca(OH)₂. Reaksi pada reaktor tersebut sebagai berikut:



Reaksi karbonasi bersifat eksotermis sehingga diperlukan air sebagai *cooling agent* yang dialirkan pada koil pendingin. Produk PCC, air, dan Ca(OH)₂ sisa reaksi menuju tahap selanjutnya sedangkan gas CO₂ sisa reaksi keluar pada bagian atas reaktor.

2.3.3 Tahap Pengeringan

Produk hasil dari Reaktor (R-201) diumpankan ke *Centrifuge* (CF-301) untuk memisahkan antara PCC (padatan) dan *filtrat (liquid)*. Kemudian PCC dikeringkan menggunakan *Rotary Dryer* (RD-301). Proses pengeringan dilakukan dengan pengeringan langsung yaitu udara panas suhu 100°C dikontakkan langsung dengan padatan basah PCC. Hasil akhir pengeringan diperoleh produk PCC dengan kemurnian 98,6%, kandungan air 0,97%. Produk PCC keluaran RD-301 diangkut dengan *screw conveyor* (SC-302) diumpankan ke *ball mill* (BM-301) untuk mengecilkan ukuran PCC menjadi bubuk yang sangat halus (*powder*). Produk PCC akhir memiliki ukuran rata-rata 0,2–4 µm kemudian disimpan di Silo Produk (SP-301) (Dogan, 2016).

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 (30°C)	: 1,350 gr/mL
<i>Specific Gravity</i>	: 2.60 – 2.75 gr/cm ³
Kemurnian	: 98,5%
<i>Melting Point</i>	: 825°C
Kapasitas Panas	: 0,21 kkal/kg°C
Viskositas (30°C)	: 200 cP
<i>Solubility, cold water</i>	: 0,0013 kg/100 kg H ₂ O (18°C)
<i>Solubility, hot water</i>	: 0,0019kg/100 kg H ₂ O (100°C)

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

Sifat Kimia Bahan:

Kalsium karbonat umumnya memiliki tiga bentuk struktur kristal, yaitu: *calcite*, *aragonite*, dan terkadang *vaterite*.

Kalsium karbonat mulanya terbentuk dari proses kalsinasi batu kapur yang kemudian membentuk CaO (kalsium oksida) dan CO₂ (kalsium dioksida).

Hasil dari proses kalsinasi CaCO₃ menjadi CaO saat melewati proses hidrasi atau *slaking* dengan air akan membentuk Ca(OH)₂ (kalsium hidroksida).

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.

Kalsium karbonat dapat direaksikan dengan amonium klorida membentuk *precipitated calcium carbonate*.

(Sumber: Orthmer., (1991)).

3.1.2 Karbon Dioksida

Rumus Molekul	: CO ₂
Berat Molekul	: 44,01 kg/kmol
Fase	: Gas
Warna	: Tidak berwarna
<i>Specific gravity</i>	: 1,56
Densitas	: 1,98 g/L
Melting point	: -56,6°C
Boiling point	: -78,5°C
Entalpi pembentukan	: -393,509 kkal/mol
Kapasitas panas (Cp)	: 10,34 + 0,00274T – 195.500/T ²

(Perry & Green, 2008)

3.2 Produk

3.2.1 *Precipitated Calcium Carbonate*

Sifat Fisik Bahan:

Rumus Molekul	: CaCO ₃ (<i>presipitated</i>)
Berat Molekul	: 100,1 gr/mol

Fasa	: Padat
Ukuran partikel	: < 5 μm
<i>Whiteness</i>	: 95-99 %
Densitas	: 2,71 gr/cm^3
<i>Specific Gravity</i>	: 2,57
Kemurnian	: > 98%
pH	: 9,4-9,6
<i>Humidity</i>	: < 0,5%
<i>Melting Point</i>	: 825°C
Kapasitas Panas	: $19,68 + 0,01189 T - 307.600/T^2$
Entalpi Pembentukan	: -289,5 kkal/mol
Kelarutan dalam air	: 0,00015 mol/L (20°C)
Sumber	: (<i>Speciality Minerals In</i> , Perry & Green,2008)

Sifat Kimia Bahan:

Precipitated calcium carbonate merupakan produk pengolahan material alam yang mengandung kalsium karbonat.

Precipitated calcium carbonate dihasilkan dari proses presipitasi dengan kemurnian yang tinggi mencapai 98%.

Precipitated calcium carbonate dapat memiliki berbagai bentuk kristal seperti kalsit, aragonit, dan vaterit.

PCC dapat diklasifikasikan sebagai aditif multifungsi.

PCC memiliki kelarutan yang sangat rendah dalam air tergantung pada suhu dan pH.

X. KESIMPULAN DAN SARAN

10.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik *Precipitated Calcium Carbonate* dengan kapasitas 90.000 ton/tahun dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Ditinjau dari segi pengadaan bahan baku, transportasi, pemasaran, dan lingkungan, maka pabrik *Precipitated Calcium Carbonate* ini direncanakan berdiri di Dusun Bulu, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur.
2. Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomi, maka pabrik ini layak untuk didirikan dengan hasil perhitungan analisis ekonomi sebagai berikut :
 - a. *Percent Return on Investment* (ROI) sebelum pajak 32,86% dan setelah pajak yaitu 26,29% sudah memenuhi standar.
 - b. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak yaitu 2,06 tahun dan 2,44 tahun setelah pajak.
 - c. *Break Even Point* (BEP) sebesar 37,18%, dimana rentang BEP standar antara 30 – 60%.
 - d. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 16,38%, yaitu dengan batasan kapasitas produksi tersebut pabrik harus berhenti berproduksi karena jika beroperasi dibawah nilai SDP maka pabrik akan mengalami kerugian.
 - e. Analisis *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) menghasilkan IRR sebesar 34,82%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini daripada ke bank.

10.2 Saran

Pabrik *Precipitated Calcium Carbonate* dengan kapasitas 90.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut, baik dari segi proses maupun dari segi ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badger, W. L., & Banchero, J. T. (1957). *Introduction to Chemical Engineering*. McGraw Hill Book Company.
- BAPPENAS. (2010). *Buku II Memperkuat Sinergi Antar Bidang Pembangunan*. Jakarta: PPRI.
- BGS. (2006). *Limestone, British Geological Survey. United Kingdom*.
- Bilen, M. (2010). *Recovery of precipitated calcium carbonate from steelmaking slags by leach – carbonation process*. Ph.D. Thesis, Cukurova University, Turkey.
- Bleakley, I. S. & Jones, T.R. (1994). *Precipitated Calcium Carbonate. United States Patent*. US005342600A
- Bleakley, I.S. & Jones, T.R. (1994). U.S Patent No. US005342600A. ECC International Limited, United Kingdom.
- Bleakley, I.S. & Jones, T.R. (1996). U.S. Patent No. 5558850. ECC International Limited, United Kingdom.
- BPS, B. P. (2019-2024). *Data Impor Precipitated Calcium Carbonate*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Brown, G. G. (1951). *Unit Operations*. New Delhi: CBS Publishers & Distributors.
- Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design: Vessel*
- Buana Mitra Konstruksi. 2025. *Harga Batu Kapur di Indonesia*. Tersedia pada: <https://i0.wp.com/buanakonstruksi.com/wp-content/uploads/2021/06/Harga-Batu-Limestone-.jpg?fit=600%2C600&ssl=1>. Diakses pada 2 Februari 2025.
- Chemanalyst. 2025. *Harga Precipitated Calcium Carbonate dengan Spesifikasi Untuk Paper*. Tersedia pada: <https://www.chemanalyst.com/Pricing-data/precipitated-calcium-carbonate-1158>. Diakses pada 16 Mei 2025.
- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. (1983). *Chemical Engineering Design, Vol*

6. Amsterdam: Elsevier Butterworth Heinemann.

- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. (1983). *Chemical Engineering: An Introduction to Chemical Engineering Design*. London: Elsevier.
- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. (2002). *Chemical Engineering, Volume 2, Fourth edition*. London: Butterworth-Heinemann.
- Deddis, C. R. (2017). Process Economics. *Chemical Engineering and Chemical Process Technology Vo. IV*.
- Dogan, O. (2007). *The investigation of recovery conditions of precipitated calcium carbonate from afsin/elbistan powder plant fly ashes*. Ph.D. Thesis, Cukurova University, Turkey.
- Fogler, H. S. (1999). *Elements Of Chemical Reaction Engineering*. India: Prentice Hall India.
- Froment, G., & Bischoff, K. B. (1979). *Chemical Reactor Analysis and Design*. University Michigan: John Wiley & Sons.
- Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations*. London: Prentice-Hall International, Inc.
- Green, D. W., & Perry, R. H. (2008). *Perry's Chemical Engineers Handbook 8th Edition*. New York: McGraw Hill.
- Hesse, H. C., & Rushton, J. H. (1945). *Process Equipment Design*. Michigan: D. Van Nostrand Company, Incorporated.
- Himmelblau, D. M. (1997). *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*. Prentice-Hall International.
- Hughes, P., & Ferrett, E. (2007). *Introduction to Health and Safety in Construction* (2nd ed.). Amsterdam: Elsevier.
- Islam, M.S. & Quader, A. 2008. *Laboratory scale production of commercial grade calcium carbonate from Lime-Soda process*. *Chemical Engineering Research Bulletin*, 12:1-6. <https://doi.org/10.3329/cerb.v12i0.1490>
- Joshi, M. V. (1976). *Process Equipment Design*. India: The Macmillan Company of India Limited.
- Kallavus, U., & Reiska, R. (2008). A Trend to the Production of Calcium Hydroxide and Precipitated Calcium Carbonate with Defined Properties. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*.
- Karakas, F. & Celik, M.S. (2012). *Effect of Quantity and Size Distribution of Calcite Filler on The Quality of Water Borne Paints*. *Progress in Organics Coatings*, 74(3): 555-563. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2012.02.002>

- Kemenperin. (2015). *Kemenperin.go.id*. Retrieved from kemenperin.go.id: <https://www.kemenperin.go.id/ripin.pdf>
- Kern, D. Q. (1950). *Process Heat Transfer*. Auckland: McGraw Hill. Kern, D. Q. (1965). *Process Heat Transfer*. Auckland: McGraw Hill.
- Kilic, O. (2015). *Cycle of limestone-lime and precipitated calcium carbonates. 12th Mining and Geotechnology Scientific Conference at "44. jump over the leather"*. Ljubljana, Slovenia, 1-5.
- Lopez-Periago, A.M., Pacciani, R., Garcia-Gonzales, C.A., Vega, L.V., & Domingo, C. (2010). *A Breakthrough Technique For The Preparation of High-yield Precipitated Calcium Carbonate. The Journal of Supercritical Fluids*, 52(3): 298-305. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2009.11.014>
- Lynn, G. & Allen, E.M. 1937. U.S. Patent No. US2080616A. PPG Industries Inc.
- Maulia, G. (2020). Pembuatan PCC (*Precipitated Calcium Carbonate*) Menggunakan Bahan Baku Lime Mud Dengan Metode Kaustik Soda. *Jurnal Vokasi Teknologi Industri*, 2(2). <https://doi.org/10.36870/jvti.v2i2.187>
- McCabe, W. L. (1993). *Unit operations of Chemical Engineering*. New York: McGrae-Hill Inc.
- McCabe, W., & Smith, J. (1985). *Unit Operation of Chemical Engineering* (4th Edition ed.). New york: McGraw Hill Book Company.
- Mufrodi, Z., Shitophyta, L.M., Sulisty, H., Rochmadi, Aziz, M. (2023). Reaction of Carbon Dioxide Gas Absorption with Suspension of Calcium Hydroxide in Slurry Reactor. *Emerging Science Journal*, 7(2): 2610-9182. <http://dx.doi.org/10.28991/ESJ-2023-07-02-02>
- Ninane, L., Criado, C., & Feys, F. (1999). *Method for Coproducing Calcium Carbonate and Sodium Hydroxide*. U.S. Patent No. 5,993,772. Solvay SA.
- Oates, J.A.H. (1998). *Lime and Limestone. Chemistry and Technology, Production and Uses*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Park, W.K., Ko, S.J., Lee, S.W., Cho, K.H., & Ahn, J.W. (2008). *Effect of magnesium chloride and organic additives on the synthesis of Aragonite Precipitated calcium carbonate. Journal of Crystal Growth*, Vol. 310, p.2593-2601. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgr.2008.01.023>
- Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (1999). *Perry's chemical engineers' handbook* (7th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. Boston: McGraw-Hill.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant Design and*

- Economics for Chemical Engineers*. Boston: McGraw-Hill.
- Rase, H. F. (1977). *Chemical Reactor Design for Process Plants: Principles and techniques*. University of California: Wiley.
- Sezer N. (2013). *Production of precipitated calcium carbonate from marble. Master Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Turkey*.
- Top Material. (2022). Data Ketersediaan Bahan Baku Batu Kapur di Indonesia. Tersedia pada: <https://topmaterial.id/daerah-penghasil-batu-kapur/>. Diakses pada 12 Februari 2025.
- Treyball, R. E. (1980). *Mass Transfer Operation* (3rd ed.). New York: McGraw Hill.
- Ulrich, G. D. (1984). *A Guide To Chemical Engineering process Design and Economics*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Walas, S. M. (1988). *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. Boston: Butterworth-Heinemann.
- Walas, S. M. (1990). *Chemical Process Equipment*. University of Kansas: Butterworth-Heinemann.
- Waltham, T. (2002). Foundations of Engineering Geology 2nd Ed. Engineering & Technology. <https://doi.org/10.1201/9781482267785>
- Wits Worldbank. (2024). Data Impor *Precipitated Calcium Carbonate* di Asia Tenggara. *World Integrated Trade Solution (WITS)*. Tersedia pada: <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2024/tradeflow/Imports/partner/WLD/product/283650>. Diakses pada 14 Februari 2025