

**PRARANCANGAN PABRIK *PRECIPITATED*  
CALCIUM CARBONATE DENGAN PROSES KARBONASI  
KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN  
(Perancangan *Rotary Kiln* (RK-101))**

**(Skripsi)**

**Oleh  
Nia Aulia  
2015041008**



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

## ABSTRAK

### PRARANCANGAN PABRIK PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE DENGAN PROSES KARBONASI KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN

Oleh  
**NIA AULIA**

Pabrik *precipitated calcium carbonate* berbahan batu kapur dengan proses karbonasi direncanakan didirikan di Tuban, Jawa Timur. Pendirian pabrik didasarkan atas pertimbangan ketersediannya bahan baku, sarana transportasi yang memadai, dan tenaga kerja yang mudah didapatkan serta kondisi lingkungan sekitar lokasi pabrik akan didirikan.

Bentuk perusahaan Perseroan Terbatas (PT) menggunakan struktur organisasi line dan staff dengan jumlah karyawan sebanyak 127 orang dan durasi kerja selama 330 hari.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

|   |                    |                        |
|---|--------------------|------------------------|
| <i>Fixed Capital Investment</i>         | (FCI)              | = Rp 380.462.992.601,- |
| <i>Working Capital Investment</i>       | (WCI)              | = Rp 67.140.528.106,-  |
| <i>Total Capital Investment</i>         | (TCI)              | = Rp 447.603.520.707,- |
| <i>Break Even Point</i>                 | (BEP)              | = 35,10%               |
| <i>Shut Down Point</i>                  | (SDP)              | = 16,48%               |
| <i>Pay Out Time before taxes</i>        | (POT) <sup>b</sup> | = 1,95 tahun           |
| <i>Pay Out Time after taxes</i>         | (POT) <sup>a</sup> | = 2,33 tahun           |
| <i>Return on Investment after taxes</i> | (ROI) <sup>a</sup> | = 28,02%               |
| <i>Discounted cash flow</i>             | (DCF)              | = 36,56%               |

Mempertimbangkan paparan diatas, sudah selayaknya pendirian pabrik *precipitated calcium carbonate* ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dari sisi ekonomi dan mempunyai prospek yang relatif cukup baik.

**Kata kunci:** *Precipitated Calcium Carbonate*, Batu Kapur, Karbonasi

## **ABSTRACT**

### **PRELIMINARY DESIGN OF AN PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE PLANT FROM LIMESTONE USING A CARBONATION PROCESS CAPACITY OF 90,000 TONS/YEAR**

By

**NIA AULIA**

*A precipitated calcium carbonate plant from limestone using the carbonation process is planned to be established in Tuban, East Java. The establishment of this plant is based on several considerations, including the availability of raw materials, adequate transportation infrastructure, a readily available workforce, and the environmental conditions surrounding the prospective site.*

*The business entity will be structured as a Limited Liability Company (PT) utilizing a line and staff organizational structure. The plant will employ 127 people with an operating period of 330 days per year.*

*Economic analysis of the plant yields the following results:*

|   |        |                        |
|---|--------|------------------------|
| <i>Fixed Capital Investment</i>         | (FCI)  | = Rp 380.462.992.601,- |
| <i>Working Capital Investment</i>       | (WCI)  | = Rp 67.140.528.106,-  |
| <i>Total Capital Investment</i>         | (TCI)  | = Rp 447.603.520.707,- |
| <i>Break Even Point</i>                 | (BEP)  | = 35,10%               |
| <i>Shut Down Point</i>                  | (SDP)  | = 16,48%               |
| <i>Pay Out Time before taxes</i>        | (POT)b | = 1,95 years           |
| <i>Pay Out Time after taxes</i>         | (POT)a | = 2,33 years           |
| <i>Return on Investment after taxes</i> | (ROI)a | = 28,02%               |
| <i>Discounted cash flow</i>             | (DCF)  | = 36,56%               |

*Considering the technical and economic evaluation above, the establishment of this precipitated calcium carbonate plant warrants further comprehensive study, as it demonstrates strong economic profitability and highly promising future prospects.*

**Keywords:** *Precipitated Calcium Carbonate, Limestone, Carbonation.*

**PRARANCANGAN PABRIK *PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE*  
DENGAN PROSES KARBONASI KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN**

**Oleh:**

**NIA AULIA**

**(2015041008)**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



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

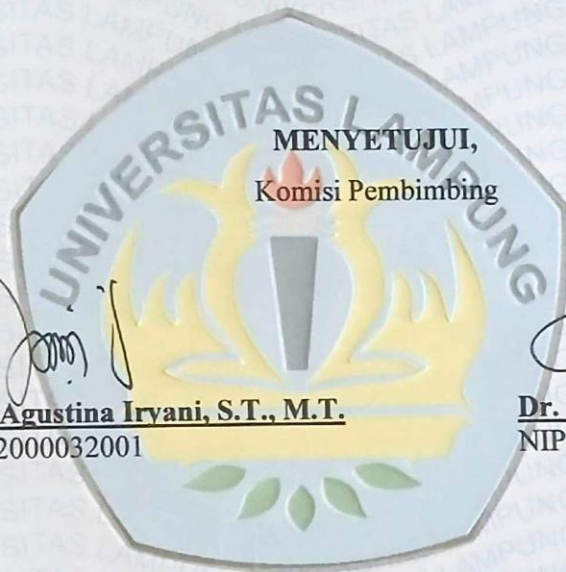
Judul Skripsi : **PRARANCANGAN PABRIK PRECIPITATED CALCIUM  
CARBONATE DENGAN PROSES KARBONASI  
KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN**  
(Tugas Khusus Perancangan *Rotary Kiln* (RK-101))

Nama Mahasiswa : **Nia Aulia**

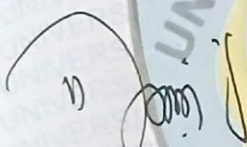
No. Pokok Mahasiswa : 2015041008


Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

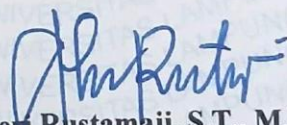


**MENYETUJUI,**  
Komisi Pembimbing

  
**Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T.**  
NIP. 197208252000032001

  
**Dr. Herti Utami, S.T., M.T.**  
NIP. 197112192000032001

Ketua Jurusan Teknik Kimia

  
**Dr. Heri Rustamaji, S.T., M.Eng.**  
NIP. 198011212006041002

**MENGESAHKAN**

Tim Penguji

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

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

Penguji

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

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

Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

**Dr. Ahmad Herson, S.T., M.T.**

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **21 Mei 2026**



## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan sebenarnya bahwa:

1. Skripsi yang berjudul prarancangan pabrik *precipitated calcium carbonate* dengan proses karbonasi kapasitas 90.000 ton/tahun. Skripsi ini berupa karya ilmiah yang tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain atau yang disebut dengan plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah tersebut diserahkan sepenuhnya kepada para dosen peneliti tersebut dan Universitas Lampung.

Atas pernyataan di atas, jika di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 21 Mei 2026

Pembuat Pernyataan



Nia Aulia

## RIWAYAT HIDUP



**Nia Aulia**, penulis dilahirkan di Giham Sukamaju pada tanggal 27 Januari 2002 sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Ahrim Azra'i dan Ibu Tismiyatun.

Penulis menyelesaikan Pendidikan pertamanya di TK Darma Wanita pada tahun 2008, Sekolah Dasar Negeri 1 Giham Sukamaju pada tahun 2014, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Sekincau pada tahun 2017, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 5 Bandar Lampung pada tahun 2020.

Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai mahasiswa jurusan Teknik Kimia, Fakultas teknik, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Pada tahun 2023, penulis melakukan Kerja Praktik di PT. Semen Baturaja dengan Tugas Khusus “Rekomposisi Bahan baku Pembuatan Semen Berdasarkan Pengaruh *Ash Coal* di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk”. Pada tahun 2024, penulis melakukan penelitian dengan judul “Optimasi Dan Kinetika Reaksi Proses Hidrolisis Pati Tapioka Menggunakan Glukoamilase Amobil Pada Silika Mcf Asal *Palm Oil Boiler Ash* (*Response Surface Methodology, Box-Behnken Design*)” di Laboratorium Bioproses dan Enzimatik Teknik Kimia FT Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Paduan Suara Mahasiswa pada periode (2020), Anggota departemen edukasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (2020-2021), Anggota Media Informasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (2021-2022) Selain itu, penulis aktif *volunteer* pada organisasi luar kampus menjadi staff divisi desain grafis pada *felicity language school*.

## **PERSEMBAHAN**

*Alhamdulillahhirabbilalamin, Kuucapkan Syukur atas Karunia-Mu dan Dengan Segala Kerendahan Hati meraih Ridho Illahi Robbi dan syafaat nabi Muhammad SAW, Kupersembahkan karya Kecilku ini untuk orang-orang yang aku sayangi*

**Ayah, Ibu, Kakak, dan Seluruh Keluargaku,**

*Terimakasih atas segala kasih sayang, dukungan, doa yang yang luar biasa, dukungan secara moril dan material. Terimakasih atas pengorbanan dan kerja keras kalian selama ini*

**Para Pengajar sebagai tanda hormatku,**

*Terimakasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini, baik itu berupa ilmu Teknik kimia, maupun ilmu kehidupan yang tentunya sangat berguna dan bermanfaat*

**Diri Sendiri,**

*Terimakasih telah memutuskan untuk tetap berjuang dan tidak menyerah, yakin dengan takdir Allah bahwa semua akan selesai pada waktunya.*

**Sahabat-sahabatku,**

*Terimakasih atas dukungan, bantuan dan waktu bersama selama ini.*

*Dan tak lupa kupersembahkan untuk*

*Almamaterku tercinta,*

*Universitas Lampung*

## MOTTO

*“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”*  
(Q.S. Al- Baqarah: 286)

*“Dan bahwasanya seorang manusia tiada memperoleh selain apa yang telah diusahakannya”*  
(Q.S. An-Najm: 39)

*“Jangan takut gagal, karena yang tidak pernah merasakan gagal adalah yang tidak pernah melangkah”*  
(Buya Hamka)

*“It will pass. It will pass. It may be heavy, but it will pass.  
The good, the bad, the unknown, everything, it all passes*

## SANWACANA

Atas berkat rahmat hidayat Allah S.W.T. dengan mengucapkan puja – puji syukur Alhamdulillah, penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Prarancangan Pabrik *Precipitated Calcium Carbonate* Dengan Proses Karbonasi Kapasitas 90.000 Ton/Tahun” sebagai salah satu syarat dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik Kimia di Universitas Lampung.

Pada penyusunan laporan, penulis mendapatkan banyak bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena dengan ridho-Nya lah saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan lancar.
2. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M, selaku Rektor Universitas Lampung.
3. Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T. , selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung
4. Dr. Heri Rustamaji, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
5. Ibu Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc. , selaku dosen pembimbing akademik dan selaku orang tua saya dikampus yang sudah memberikan motivasi, nasihat serta arahan selama masa perkuliahan.
6. Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T. , selaku Dosen Pembimbing pertama tugas akhir. Terimakasih sudah meluangkan banyak waktunya dalam memberikan ilmu, pengarahan, bimbingan, kritik dan saran selama penyelesaian tugas akhir. semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
7. Dr. Herti Utami, S,T., M.T. , selaku Dosen Pembimbing kedua tugas akhir. Terimakasih sudah meluangkan banyak waktunya dalam memberikan

bimbingan, cerita, kritik dan saran selama penyelesaian tugas akhir. semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.

8. Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M.Eng. , selaku dosen penguji utama yang telah memberikan masukan, kritik dan saran yang sangat bermanfaat baik dalam proses perkuliahan maupun dalam proses penyusunan skripsi ini.
9. Yuli Darni, S.T., M.T. , selaku dosen penguji pendamping yang telah memberikan masukan, kritik dan saran yang sangat bermanfaat baik dalam proses perkuliahan maupun dalam proses penyusunan skripsi ini.
10. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika Jurusan Teknik Kimia yang sudah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat dalam proses pembelajaran agar lebih baik kedepannya.
11. Kedua orang tuaku sayang, ayah, ibu, terimakasih karena selalu mengusahakan segala yang terbaik untuk penulis, terimakasih untuk segala doa yang tiada henti agar penulis dapat melangkah dengan mudah di jalan yang penulis lalui, terimakasih karena sudah menjadi alasan bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
12. Kepada kakak-kakakku, ngah nika, abang nanda, bang dedi, dan mba dewi, terimakasih karena selalu ada, menjadi garda terdepan untuk penulis, terimakasih banyak untuk segala hal baik yang telah diberikan kepada penulis baik materi maupun kasih sayang yang tulus.
13. Kepada elzyan nala rizki, keponakanku, terimakasih karena menjadi salah satu alasan penulis untuk selalu semangat dan tidak menyerah.
14. Kepada sahabatku Fetricia yulanda (cici), terimakasih sudah menjadi “rumah” untuk penulis, terimakasih karena sudah mendengarkan segala keluh kesah selama mengerjakan skripsi.
15. Kepada teman-teman remaja karkun, Adel, Chica, Dini, dan Willis. Terimakasih karena sudah kebersamai dari semester satu hingga di akhir perjuangan seminar komprehensif, terimakasih untuk segala bantuannya, terimakasih telah menemani perjalanan cerita di teknik kimia.
16. Kepada Silmi, Caca, Manda, Vidia, Diyas, Dilla, terimakasih telah menemani masa-masa kuliah hingga pengerjaan skripsi penulis.

17. Terimakasih kepada semua pihak yang membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini baik adik-adik maupaun kakak-kakak yang namanya tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan mereka terhadap penulis dan semoga skripsi ini berguna dikemudian hari.

Penulis menyadari bahwa laporan masih jauh dari kata sempurna, sehingga saran dan masukan membangun diperlukan oleh penulis agar laporan sempurna di kemudian hari. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna.

Bandar Lampung, 21 Mei 2026  
Penulis,

**Nia Aulia**

# I. PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki kekayaan alam melimpah. Namun, akan sangat disayangkan bila kekayaan alam Indonesia tidak dapat dikelola dengan baik. Batu kapur atau *limestone* merupakan salah satu kekayaan alam melimpah yang ada di Indonesia. Cadangan total batu kapur di seluruh Indonesia diperkirakan sekitar 30 miliar ton yang tersebar di seluruh wilayah tanah air (Bappenas, 2010). Batu kapur atau *limestone* ialah istilah yang sering dipakai untuk kelompok batuan dengan kandungan paling sedikit 70% *calcium carbonate* dengan fraksi karbonat melebihi unsur non-karbonatnya. Ada dua sumber kalsium karbonat, yaitu *ground calcium carbonate* (GCC) dan *precipitated calcium carbonate* (PCC) di dunia (Kilic, 2015). *Ground calcium carbonate* (GCC) diperoleh melalui proses penambangan batu kapur yang kaya akan kalsium karbonat. Setelah ditambang, material tersebut digiling baik dalam kondisi kering atau basah tergantung pada persyaratan produk akhir (Kilic, 2015). Di sisi lain, *precipitated calcium carbonate* (PCC) dapat diperoleh dalam tiga *polimorf* kristal utama: kalsit (*rhombohedral*), aragonit (*ortorombik*), dan vaterit (*heksagonal*) tergantung pada kondisi reaksi dan kotoran dalam proses (Sezer, 2013). PCC memiliki spesifikasi unggul dibandingkan kalsium karbonat (GCC) Beberapa keunggulan tersebut yaitu berupa ukuran partikel yang kecil, homogen, serta tingkat kecerahan (*brighthness*) yang tinggi, sehingga penggunaan produk tersebut semakin luas dan menjadi pilihan alternatif bagi industri untuk meningkatkan kualitas produknya.

*Precipitated calcium carbonate* ini mempunyai fungsi yang sangat luas seperti sebagai bahan pengisi (Karakas dan Celik, 2012) atau *extender* yang paling banyak digunakan pada kertas (Lopez-Periago et al., 2010), cat, plastik, perekat, keramik, tekstil (karpet), kosmetik, dan obat-obatan (Erdogan, 2017). Pada industri kertas, PCC digunakan untuk meningkatkan kehalusan, kecerahan, dan opasitas kertas serta meningkatkan penerimaan tinta kertas. Spesifikasi produk untuk PCC adalah kemurnian  $> 99\%$ , kepadatan  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , ukuran partikel  $70\% < 2 \mu\text{m}$  untuk pigmen pengisi dan luas permukaan spesifik sekitar  $10 \text{ m}^2/\text{g}$  (Erdogan, 2017). Ukuran partikel memiliki efek yang signifikan pada kehalusan, kilap dan karakteristik pencetakan kertas .

Saat ini pemenuhan kebutuhan *Precipitated calcium carbonate* (PCC) di Indonesia sebagian masi bergantung pada impor dari luar negeri sehingga pengeluaran untuk keperluan produksi di industri menjadi lebih besar. Sementara itu, sektor industri merupakan salah satu sektor yang paling berpotensi dalam kemajuan ekonomi suatu negara. Laju pertumbuhan PDB Industri Manufaktur yang ada di Indonesia melalui data Badan Pusat Statistik (BPS) bahwa pada tahun 2017 berada di angka 4,29; tahun 2018 berada di angka 4,27, tahun 2019 berada di angka 3,8; tahun 2020 berada di angka -2,93, dan pada tahun 2021 berada di angka 3.39. Dapat terlihat bahwa terjadinya penurunan pada perkembangan industri manufaktur di Indonesia pada tahun 2019 dan 2020. Kemudian ditahun 2021 industri manufaktur Indonesia kembali meningkat, dan akan terus bertumbuh seiring berjalannya waktu (Syahrul et al., 2024) . Pertumbuhan sektor manufaktur tersebut akan mendorong peningkatan kebutuhan bahan baku penunjang industri, salah satunya *precipitated calcium carbonate* (PCC). PCC banyak digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) dan bahan aditif pada industri kertas, plastik, cat, karet, farmasi, serta berbagai produk manufaktur lainnya. Dengan meningkatnya aktivitas produksi pada sektor-sektor tersebut, permintaan PCC diperkirakan akan terus mengalami peningkatan.

Dengan mempertimbangkan potensi yang ada, pendirian pabrik *Precipitated Calcium Carbonate* diharapkan mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri, meningkatkan devisa negara melalui kegiatan ekspor PCC , serta dapat memperkuat stabilitas perekonomian negara.

## 1.2. Kegunaan Produk

Produk utama yang dihasilkan berupa precipitated calcium carbonat telah digunakan di berbagai industri, antara lain :

- a) Pada industri besi, PCC digunakan sebagai bahan penunjang proses peleburan untuk membantu mengikat pengotor dan membentuk terak (*slag*) dalam pembuatan besi dan baja.
- b) Pada industri *pulp* dan kertas, PCC digunakan untuk sifat optik, kehalusan, penyerapan tinta, daya tahan dan pembentukan lembaran.
- c) Pada industri Plastik, PCC digunakan sebagai *filler* untuk mengurangi *surface energy* dan opasitas dalam plastik.
- d) Pada industri Cat, PCC digunakan sebagai *filler* untuk menaikkan *surface gloss* dan memberikan warna berkilau pada cat.

## 1.3. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan untuk produksi *Precipitated Calcium Carbonate* yaitu Batu kapur. Kebutuhan bahan baku tersebut dapat diperoleh dari produsen-produsen dalam negeri. Data daerah penghasil batu kapur di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.1

**Tabel 1.1** Data Ketersediaan Bahan Baku Batu Kapur di Indonesia

| No | Daerah         | Ketersedian 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 :** Topmaterialindonesia

Distribusi geografis cadangan batu kapur di Indonesia menunjukkan potensi yang sangat besar dan tersebar di beberapa pulau besar. Melimpahnya daerah penghasil ini menunjukkan bahwa Indonesia memiliki kemandirian sumber daya alam yang sangat kuat untuk mendukung hilirisasi industri khususnya dalam hal ini berbasis kalsium karbonat, sehingga pemenuhan kebutuhan material mentah dapat dipasok sepenuhnya dari dalam negeri tanpa urgensi impor bahan baku.

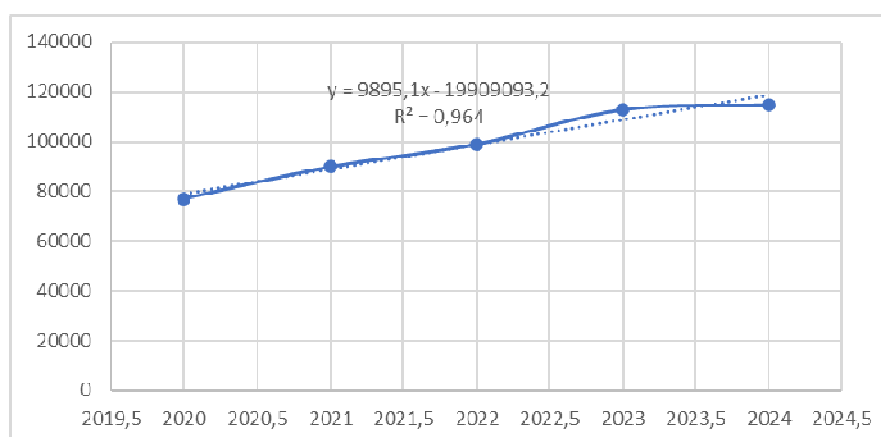
#### 1.4 Kapasitas Pabrik

Berikut ini adalah data impor *precipitated calcium carbonat* beberapa tahun terakhir yang disajikan dalam Tabel 1.2

**Tabel 1.2** Data Impor

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

Sumber : BPS,2025



**Gambar 1.1.** Impor *precipitated calcium carbonat* di Indonesia.

Impor *precipitated calcium carbonate* yang semakin besar menunjukkan kebutuhan produk semakin meningkat setiap tahunnya. Berdasarkan data impor *precipitated calcium carbonate* dari Gambar 1.1 diperoleh nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,964. Nilai  $R^2$  yang mendekati 1 menunjukkan bahwa peningkatan impor PCC memiliki hubungan linier yang sangat kuat terhadap waktu, dengan persamaan *regresi linear*  $y = 9.895,1x - 19909093,2$ . Apabila diproyeksikan pada tahun 2030 diperkirakan jumlah impor *precipitated calcium carbonate* sebesar:

$$\begin{aligned} (y) &= 9895,1x - 19909093,2 \\ &= (9895,1 * 2030) - 19909093,2 \\ &= 177.959,8 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan regresi linear pada tahun 2030 didapatkan nilai kebutuhan impor *precipitated calcium carbonate* yaitu sebesar 177.959,8 ton/tahun. Dalam prarancangan ini, kapasitas pabrik ditetapkan sebesar 50% dari kebutuhan tersebut, yaitu sekitar 88.980 ton/tahun yang kemudian dibulatkan menjadi 90.000 ton/tahun. Pemilihan kapasitas ini bertujuan untuk memenuhi sebagian kebutuhan pasar sekaligus menghindari terjadinya monopoli pasar. Dengan kapasitas produksi sebesar 90.000 ton/tahun diharapkan mampu memenuhi kebutuhan *precipitated calcium carbonate* di Indonesia sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap impor dari luar negeri.

### 1.5. Penentuan Lokasi Pabrik

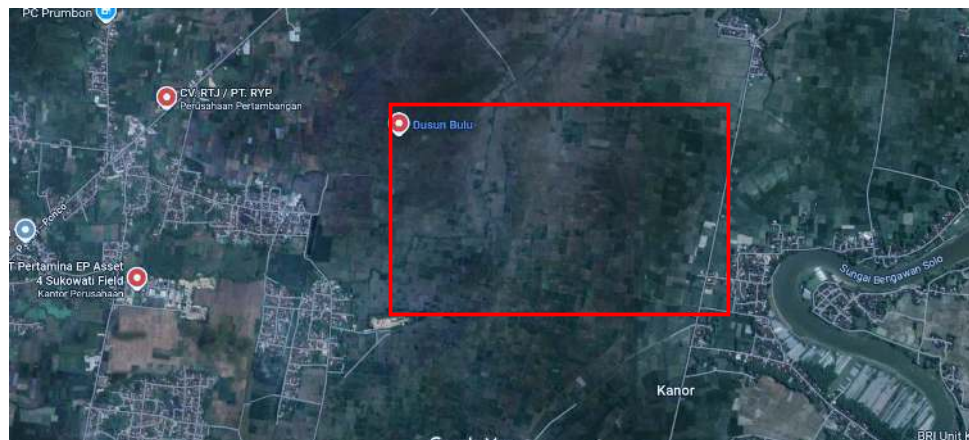
Dalam menentukan lokasi pembangunan pabrik produksi *precipitated calcium carbonate*, tentunya ada beberapa parameter pendukung yang memiliki pengaruh terhadap keberhasilan perusahaan. Berikut adalah perbandingan beberapa daerah penghasil batu kapur di Indonesia yang ditinjau dari beberapa aspek untuk dijadikan lokasi pembangunan pabrik *precipitated calcium carbonate*.

Tabel 1.7. Perbandingan Lokasi Pendirian Pabrik

| Parameter Spesifik            | Tuban<br>(Jawa Timur)   | Padang<br>(Sumatera Barat)  | Padalarang/Bogor<br>(Jawa Barat)  |
|-------------------------------|---|---|---|
| Ketersediaan Bahan Baku       | ± 687.100.000<br>Ton  | ± 2.323.000.000<br>Ton  | ± 637.820.000<br>Ton  |
| Perusahaan Pemasok Bahan Baku | PT.Sinar Asia<br>Fortuna (20.000 ton/bulan)<br>(Zindu et al.,2020)  | PT. Bakapindo<br>(80 ton/hari)<br>(bakapindo.com)   | PT. Wangun sari<br>Pratama (450 ton/hari)<br>(pratamalimestone.com)   |
| Pemasaran                     | Sangat Strategis. Dekat dengan kluster konsumen terbesar RI, diantaranya, Industri kertas Jatim (Tjiwi Kimia, Pabrik Kertas Indonesia) & Industri cat Surabaya                                | Terbatas. Konsumen terbatas pada industri <i>pulp &amp; paper</i> di Riau (RAPP, Indah Kiat). Biaya kirim ke Jawa tinggi. | Strategis. Dekat dengan kluster manufaktur hilir di Jabodetabek, Karawang, dan Cikarang.(PT. Pindo Deli Pulp And Paper) |
| Transportasi & Logistik       | Akses Jalur Pantura, Tol Trans-Jawa, dan dekat dengan pelabuhan laut (Tanjung Perak, dekat denagan kawasan <i>Java Integrated Industrial and Port Estate</i> (JIIFE) & Terminal Sendang Tuwo) | Jalan Lintas Sumatra didominasi medan perbukitan (jalur darat lambat). Mengandalkan Pelabuhan Teluk Bayur                 | Jaringan tol lengkap (Purbaleunyi/Jagorawi), namun terkendala tingkat kemacetan ( <i>traffic congestion</i> ) tinggi.   |
| Utilitas                      | Suplai listrik melimpah dari koridor PLN  | Sumber air melimpah dari pegunungan.  | Suplai listrik melimpah dari koridor PLN Jawa-Bali. Air bawah tanah   |

|                           |   |   |   |
|---------------------------|---|---|---|
|                           | Jawa-Bali. Air industri dapat memanfaatkan aliran Bengawan Solo / Laut Jawa dan industri penyedia air bersih yang beroperasi di sekitar sungai Bengawan Solo. |   | dibatasi ketat oleh regulasi daerah. (Peraturan Daerah (Perda) Provinsi Jawa Barat Nomor 1 Tahun 2017 tentang Pengelolaan Air Tanah.) |
| Sosio-Ekonomi & Kebijakan | Kawasan peruntukan industri resmi (Kawasan Industri Tuban), sehingga minim risiko konflik sosial pemukiman  | Dominasi kepemilikan lahan berupa Tanah Ulayat (Adat) | Regulasi tata ruang dan lingkungan sangat ketat. Terjadi pergeseran dari zona industri ke zona residensial/wisata.                    |

Berdasarkan tinjauan dari beberapa faktor tersebut, maka lokasi pabrik yang dipilih ialah Tuban, Jawa Timur tepatnya di Dusun Bulu Kecamatan Rengel.



**Gambar 1.2.** Lokasi Pabrik

Berikut beberapa faktor yang menjadi acuan dalam mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik :

1. Bahan baku

Bahan baku utama *precipitated calcium carbonat* adalah Batu kapur  $\text{CaCO}_3$  yang diperoleh dari di PT. Sinar Asia Fortuna yang terletak di Kawasan Indusri 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 meminimalisir biaya pengiriman bahan baku menuju lokasi pabrik.

2. Pemasaran

Untuk pemasaran produk, perlu diperhatikan letak pabrik dengan pasar yang membutuhkan *precipitated calcium carbonat*. 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 dengan jarak 90 KM dari lokasi pendirian pabrik, 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 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, serta air proses. Selama pabrik beroperasi, kebutuhan air relatif cukup banyak, maka untuk memenuhi kebutuhan air diambil dari Perum Jasa Tirta, Perum Jasa Tirta merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) pengelola sumber daya air yang menyediakan layanan air baku berkualitas untuk berbagai industri. PJT mengelola daerah aliran sungai untuk memastikan keberlanjutan pasokan air, salah satunya sungai Bengawan Solo yang letaknya tidak jauh dari lokasi pabrik.

#### 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.
- Tenaga ahli yang berasal dari daerah sekitar pabrik dan luar daerah.

#### 6. Keadaan masyarakat

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

#### 7. Kondisi Iklim dan Cuaca

Seperti daerah lain di Indonesia, maka iklim di sekitar lokasi pabrik relatif stabil. Suhu udara beragam antara 20-35°C.

## BAB 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 ( $\text{CaCO}_3$ ) 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.

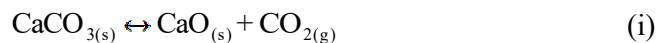
Terbentuknya kristal ini dipengaruhi oleh suhu, pH, derajat saturasi, kecepatan aliran  $\text{CO}_2$  bila menggunakan metode karbonasi, dan adanya bahan aditif. Pada

suhu 10°C–40°C, fase yang terbentuk berupa kalsit dan vaterit. Pada suhu 60°C–80°C dihasilkan aragonit dan kalsit. Jadi, fase vaterit hanya terbentuk pada rentang suhu tertentu dan mencapai fraksi optimum pada suhu 35°C (Waltham & Tony, 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 metode karbonasi, batu kapur (*limestone*) yang telah dihancurkan dibakar dalam *kiln* pada temperatur 900°C - 1200 °C untuk mendekomposisi batu kapur menjadi kalsium oksida dan karbon dioksida. Tahap ini disebut sebagai kalsinasi.



CaO kering kemudian dihidrasi (*slaking*) dengan air pada temperatur 40-90°C untuk menghasilkan *slurry* Ca(OH)<sub>2</sub>. *Slurry* Ca(OH)<sub>2</sub> diayak untuk memisahkan pengotor serta menghasilkan ukuran partikel yang seragam. Ca(OH)<sub>2</sub> yang telah melewati screening didispersi agar homogen dan partikel lebih halus. Setelah itu, Ca(OH)<sub>2</sub> diumpankan ke tangki berpengaduk untuk direaksikan dengan gas CO<sub>2</sub> melalui sparger (U.S Patent US005342600A, 1994).

Reaksi pada reaktor sebagai berikut:

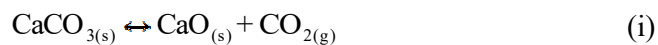


Reaktor ini dapat beroperasi secara atmosferis maupun bertekanan. Pada proses karbonasi konversi yang dihasilkan sebesar 90% (Mufrodi dkk., 2023).

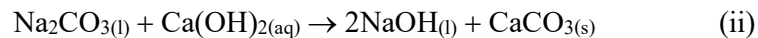
### 2.1.2 Proses Lime Soda

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.



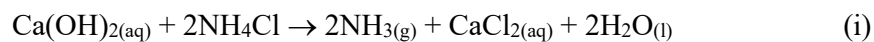
Pada proses ini, larutan sodium karbonat direaksikan dengan kalsium hidroksida berlebih untuk menghasilkan sodium hidroksida cair dan produk samping berupa *precipitated calcium carbonate* (PCC). Proses berlangsung pada suhu 30–60°C dengan konversi rata-rata < 90% (U.S Patent 2140375A, 1938). Reaksi proses *lime-soda* sebagai berikut:



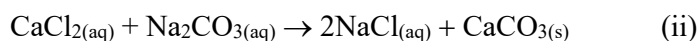
Kualitas PCC yang dihasilkan dari proses ini kurang baik karena distribusi ukuran partikel PCC sangat beragam serta kandungan residu  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang berlebih. Selain itu, pembuatan kaustik soda dengan metode ini mulai digantikan dengan metode elektrolisis. Proses ini tidak efektif dari segi biaya diproduksi karena menggunakan proses satu tahap yang masih konvensional (Islam & Quader, 2008)

### 2.1.3 Proses *Calcium Chloride*

Kalsium hidroksida direaksikan dengan amonium klorida membentuk gas amonia dan larutan kalsium klorida. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Setelah pemurnian, larutan ini direaksikan dengan sodium karbonat untuk menghasilkan endapan kalsium karbonat dan larutan sodium klorida. Konversi dari proses ini 80% (U.S Patent 2080616, 1937). Reaksi pembentukan PCC pada proses *calcium chloride* sebagai berikut:



Proses ini merupakan yang paling sederhana, namun penggunaan kalsium klorida yang diperoleh dengan reaksi antara amonium klorida dan kalsium

hidroksida dimana kedua bahan baku ini harganya cukup mahal menjadikan proses ini tidak ekonomis. (Zubairu dkk., 2020)

## 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:

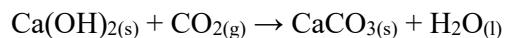
**Tabel 2.1** Harga Bahan Baku dan Produk Proses Karbonasi

| Bahan Baku                                       | Harga (\$/ton) | Harga (\$/kg) |
|--|----------------|---------------|
| Batu Kapur <sup>1</sup>                          | 65             | 0,065         |
| CaCO <sub>3(s)</sub> (precipitated) <sup>2</sup> | 400            | 0,400         |

(Sumber: <sup>1</sup> BuanaMitraKonstruksi(2025), <sup>2</sup>chemanalyst.com)

Untuk mengetahui bahan baku yang diperlukan maka dilakukan perhitungan mundur dari reaksi terakhir berdasarkan kapasitas produksi.

Reaksi:



Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Produksi} &= 90.000 \text{ ton/tahun} \\ &= 11.363,636 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Konversi} = 90\%$$

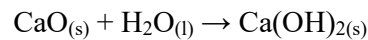
$$\text{BM CaCO}_3 \text{ (main product)} = 100 \text{ kg/kmol}$$

- Produk yang terbentuk

- Massa CaCO<sub>3</sub>(precipitated) = 11.363,64 kg/jam
- Mol CaCO<sub>3</sub>(precipitated) =  $\frac{\text{Massa CaCO}_3(\text{precipitated})}{\text{BM CaCO}_3(\text{precipitated})}$   
= 113,6364 kmol/jam
- Mol H<sub>2</sub>O = 113,636 kmol/jam

- Massa H<sub>2</sub>O = mol H<sub>2</sub>O × BM H<sub>2</sub>O  
= 2.045,455 kg/jam
- Mencari jumlah massa reaktan umpan sebagai berikut:
- Mol Ca(OH)<sub>2</sub> =  $\frac{113,6364 \text{ kmol/jam}}{\text{konversi}}$   
=  $\frac{113,6364 \text{ kmol/jam}}{0,95}$   
= 119,617 kmol/jam
- Mol CO<sub>2</sub> = 119,617 kmol/jam
- Massa Ca(OH)<sub>2</sub> = mol Ca(OH)<sub>2</sub> × BM Ca(OH)<sub>2</sub>  
= 119,617 kmol/jam × 74 kg/kmol  
= 8.851,675 kg/jam
- Massa CO<sub>2</sub> = mol CO<sub>2</sub> × BM CO<sub>2</sub>  
= 119,617 kmol/jam × 44 kg/kmol  
= 5.263,158 kg/jam

Reaksi:



- Produk yang terbentuk
- Massa Ca(OH)<sub>2</sub> = 8.851,675 kg
- Mol Ca(OH)<sub>2</sub> = 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<sub>2</sub>O = 122,058 kmol/jam
- Massa CaO = 122,058 kmol/jam × 56 kg/kmol  
= 6.835,27 kg/jam
- Massa H<sub>2</sub>O = 122,058 kmol/jam × 18 kg/kmol  
= 2.197,05 kg

Reaksi:



- Produk yang terbentuk
- Massa CaO = 6.835,27 kg/jam
- Mol CaO = 122,058 kmol/jam
- Mol CO<sub>2</sub> = 122,058 kmol/jam
- Massa CO<sub>2</sub> = mol CO<sub>2</sub> × BM CO<sub>2</sub>  
= 122,058 kmol/jam × 44 kg/kmol  
= 5.370,57 kg/jam
- Mencari jumlah massa reaktan umpan sebagai berikut:
- Mol CaCO<sub>3</sub> = 122,058/0,95  
= 128,483 kmol/jam
- Massa CaCO<sub>3</sub> = mol CaCO<sub>3</sub> × BM CaCO<sub>3</sub>  
= 128,483 kmol/jam × 100 kg/kmol  
= 12.848,3 kg/jam

Apabila kandungan CaCO<sub>3</sub> pada batu kapur adalah 98% (Santika & Mulyadi,2017) maka jumlah bahan baku batu kapur yang digunakan adalah

$$\begin{aligned} \text{Batu kapur} &= 12.848,3 \text{ kg/jam} : 98\% \\ &= 13110,5 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Untuk menghitung perolehan keuntungan kasar dapat digunakan persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{Harga Produk} &= \text{harga CaCO}_3(\text{precipitated}) \\ &= (11.363,636 \text{ kg/jam} \times 0,4 \$) \\ &= 4.545,45 \$ \text{ kg/jam} \\ &= 36.000 \$ \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga BB} &= \text{harga batu kapur} \\ &= 13110,5 \text{ kg/jam} \times 0,065 \$ \\ &= 852,179 \$ \text{ kg/jam} \\ &= 6.749,265 \$ \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Estimated Profit} &= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan baku} \\ &= (36.000 \$ \text{ ton/tahun} - 6.749,265 \$ \text{ ton/tahun}) \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{kapasitas produksi} \\
 & = 29.250,734 \text{ \$ ton/tahun} \times 90.000 \text{ ton/tahun} \\
 & = 2.632.566.116,842 \text{ \$}
 \end{aligned}$$

## 2. Proses *Lime Soda*

Untuk harga bahan baku dan produk pada proses *lime soda* ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

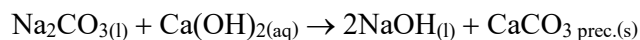
**Tabel 2.2** Harga Bahan Baku dan Produk Proses *Lime Soda*

| Bahan                               | Harga (\$/ton) | Harga (\$/kg) |
|-------------------------------------|----------------|---------------|
| 1. Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 380            | 0,380         |
| 2. Batu Kapur                       | 65             | 0,065         |
| 3. NaOH                             | 500            | 0,500         |
| 4. CaCO <sub>3</sub> (precipitated) | 400            | 0,400         |

(Sumber: chemanalyst.com)

Perhitungan dilakukan sama seperti reaksi karbonasi

Reaksi:



Diketahui:

Kapasitas Produksi = 90.000 ton/tahun

Waktu Produksi = 330 hari

Konversi = < 90 %

BM CaCO<sub>3</sub>(precipitated) = 100 kg/kmol

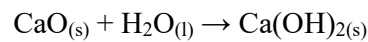
- Produk yang terbentuk

- Massa CaCO<sub>3</sub>(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 CaCO<sub>3</sub>(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:

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

Reaksi:



- Produk yang terbentuk

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

Reaksi:



- Produk yang terbentuk

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

- Mol CO<sub>2</sub> = 140,292 kmol/jam
- Massa CO<sub>2</sub> = mol CO<sub>2</sub> × BM CO<sub>2</sub>  
= 140,292 kmol/jam × 44 kg/kmol  
= 6.172,84 kg/jam

- Mencari jumlah massa reaktan umpan sebagai berikut:

- Mol CaCO<sub>3</sub> = 140,292 / 0,9  
= 155,879 kmol/jam
- Massa CaCO<sub>3</sub> = mol CaCO<sub>3</sub> × BM CaCO<sub>3</sub>  
= 155,879 kmol/jam × 100 kg/kmol  
= 15.587,9 kg/jam

Apabila kandungan CaCO<sub>3</sub> pada batu kapur adalah 98% (Santika & Mulyadi,2017) maka jumlah bahan baku batu kapur yang digunakan adalah

$$\begin{aligned} \text{Batu kapur} &= 15.587,9 \text{ kg/jam} : 98\% \\ &= 15906,1 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga Produk} &= \text{harga CaCO}_3(\text{precipitated}) + \text{harga NaOH} \\ &= (11.363,636 \text{ kg/jam} \times 0,4 \text{ \$}) + (9.090,909 \\ &\text{kg/jam} \\ &\quad \times 0,5 \text{ \$}) \\ &= 9.090,91 \text{ \$ kg/jam} \\ &= 72.000 \text{ \$ ton/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga BB} &= \text{harga Na}_2\text{CO}_3 + \text{harga Batu kapur} \\ &= (13.383,838 \text{ kg/jam} \times 0,43 \text{ \$}) + (15906,1 \text{ kg/jam} \times \\ &\quad 0,065 \text{ \$}) \\ &= 7.056,624 \text{ \$ kg/jam} \\ &= 55.888,46 \text{ \$ ton/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Estimated Profit} &= \text{harga produk} - \text{harga bahan baku} \\ &= (72.000 \text{ \$ ton/tahun} - 55.888,46 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \$\text{ton/tahun}) \times \text{kapasitas produksi} \\
 & = 16.111,539 \$ \text{ ton/tahun} \times 90.000 \\
 & = 1.450.038.548,75 \$
 \end{aligned}$$

### 3. Proses *Calcium Chloride*

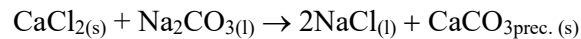
Untuk harga bahan baku dan produk pada proses *Calcium Chloride* ditunjukkan pada Tabel 2.3 sebagai berikut:

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

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

(Sumber: chemanalyst.com)

Reaksi:



Diketahui:

Kapasitas Produksi = 90.000 ton/tahun

Waktu Produksi = 330 hari

Konversi = 80 %

BM CaCO<sub>3</sub>(precipitated) = 100 g/mol

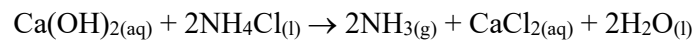
- Produk yang terbentuk

- Massa CaCO<sub>3</sub>(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 CaCO<sub>3</sub>(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  $\text{CaCl}_2$  =  $\frac{113,636 \text{ kmol/jam}}{0,8}$   
= 142,045 kmol/jam
- Massa  $\text{CaCl}_2$  = mol  $\text{CaCl}_2$   $\times$  BM  $\text{CaCl}_2$   
= 142,045 kmol/jam  $\times$  110,98 kg/kmol  
= 15.764,2 kg/jam
- Mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  = mol  $\text{CaCl}_2$   
= 142,045 kmol/jam
- Massa  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  = mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$   $\times$  BM  $\text{Na}_2\text{CO}_3$   
= 142,045 kmol/jam  $\times$  106 kg/kmol  
= 15.056,82 kg/jam

Reaksi:



- Produk yang terbentuk

- Massa  $\text{CaCl}_2$  = 15.764,2 kg/jam
- Mol  $\text{CaCl}_2$  = 142,045 kmol/jam
- Mol  $\text{NH}_3$  = 2  $\times$  142,045 kmol/jam  
= 284,091 kmol/jam
- Massa  $\text{NH}_3$  = mol  $\text{NH}_3$   $\times$  BM  $\text{NH}_3$   
= 284,091 kmol/jam  $\times$  17 kg/kmol  
= 4.829,545 kg/jam
- Mol  $\text{H}_2\text{O}$  = 2  $\times$  142,045 kmol/jam  
= 284,091 kmol/jam
- Massa  $\text{H}_2\text{O}$  = mol  $\text{H}_2\text{O}$   $\times$  BM  $\text{H}_2\text{O}$   
= 284,091 kmol/jam  $\times$  18 kg/kmol  
= 5.113,636 kg/jam

- Mencari jumlah massa reaktan umpan sebagai berikut:

- Mol  $\text{Ca(OH)}_2$  = 142,045 / 0,8  
= 177,557 kmol/jam

- Massa  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  = mol  $\text{Ca}(\text{OH})_2 \times \text{BM } \text{Ca}(\text{OH})_2$   
 =  $177,557 \text{ kmol/jam} \times 74 \text{ kg/kmol}$   
 =  $13.139,2 \text{ kg/jam}$
- Mol  $\text{NH}_4\text{Cl}$  =  $2 \times 177,557$   
 =  $355,114 \text{ kmol/jam}$
- Massa  $\text{NH}_4\text{Cl}$  = mol  $\text{NH}_4\text{Cl} \times \text{BM } \text{NH}_4\text{Cl}$   
 =  $355,114 \text{ kmol/jam} \times 53,5 \text{ kg/kmol}$   
 =  $18.995,03 \text{ kg/jam}$

$$\begin{aligned} \text{Harga Produk} &= \text{harga } \text{CaCO}_3(\text{precipitated}) + \text{harga NaCl} \\ &= 11.363,636 \text{ kg/jam} \times 0,4 \text{ \$} + (13.295,45 \text{ kg/jam} \\ &\quad \times 0,22 \text{ \$}) \\ &= 7.470,45 \text{ \$ kg/jam} \\ &= 59.165,99 \text{ \$ ton/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga BB} &= \text{harga } \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{harga } \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{harga } \text{NH}_4\text{Cl} \\ &= (13.139,2 \text{ kg/jam} \times 0,08 \text{ \$}) + (15.056,82 \text{ kg/jam} \\ &\quad \times 0,43 \text{ \$}) + (18.995,03 \times 0,25 \text{ \$}) \\ &= 9.078,91 \text{ \$ kg/jam} \\ &= 71.905 \text{ \$ ton/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Estimated Profit} &= \text{harga produk} - \text{harga bahan baku} \\ &= 59.165,99 \text{ \$ton/tahun} - 71.905 \text{ \$ton/tahun} \\ &\quad \times \text{kapasitas produksi} \\ &= -12.739 \text{ \$ ton/tahun} \times 90.000 \\ &= -1.146.510.423,43 \text{ \$} \end{aligned}$$

### 2.2.2 Tinjauan Termodinamika

Perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) menunjukkan panas reaksi yang dihasilkan ataupun panas reaksi yang dibutuhkan selama proses berlangsungnya reaksi kimia. Besar atau kecil nilai  $\Delta H$  tersebut menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan maupun dihasilkan.  $\Delta H$  bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut membutuhkan panas agar berlangsungnya reaksi sehingga semakin besar  $\Delta H$  maka semakin besar

juga energi yang dibutuhkan. Sedangkan  $\Delta H$  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  $\Delta H^\circ$  pada suhu tertentu menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

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

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

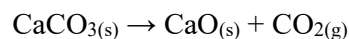
Maka nilai  $\Delta H^\circ$  adalah :

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

(Smith 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  $\Delta H_f^\circ$  Pada Suhu 25°C (298,15 K)

| Komponen          | $\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol) |
|-------------------|-----------------------------|
| CaCO <sub>3</sub> | -1.206,92                   |
| CaO               | -635,090                    |
| CO <sub>2</sub>   | -393,509                    |

Sumber: Smith dkk., 2001

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

Untuk mencari nilai  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  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 <sub>3</sub> | 1 | 12,572 | 0,002637  | - | 312.000 |
| CaO               | 1 | 6,104  | 0,000443  | - | 104.700 |
| CO <sub>2</sub>   | 1 | 5,457  | 0,001045  | - | 115.700 |
| $\Delta$          | - | -1,011 | -0,001149 | - | 91.600  |

(Smith dkk., 2001)

Diketahui:

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

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

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

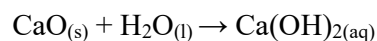
Selanjutnya, nilai  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  disubstitusi pada rumus sebagai berikut

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

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

Karena nilai  $\Delta H^{\circ}$  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  $\Delta H^\circ_f$  Pada Suhu 25°C (298,15 K)

| Komponen                        | $\Delta H^\circ_f$ (kJ/mol) |
|---------------------------------|-----------------------------|
| CaO                             | -635,090                    |
| H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub> | -285,830                    |
| Ca(OH) <sub>2(s)</sub>          | -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  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  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 <sub>(s)</sub>              | 1 | 6,104 | 0,000443 | -                       | -104.700 |
| H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub> | 1 | 8,712 | 0,00125  | -1,8 x 10 <sup>-7</sup> |          |
| Ca(OH) <sub>2(s)</sub>          | 1 | 9,597 | 0,005435 | -                       | -        |
| $\Delta$                        | - | -5,22 | 0,00374  | 1,8 x 10 <sup>-7</sup>  | 104.700  |

(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  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  disubstitusikan pada rumus sebagai berikut:

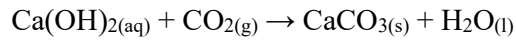
$$\Delta H^\circ =$$

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

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

Diperoleh nilai  $\Delta H^\circ$  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  $\Delta H^\circ_f$  Pada Suhu 25°C (298,15 K)

| Komponen               | $\Delta H^\circ_f$ (kJ/mol) |
|------------------------|-----------------------------|
| Ca(OH) <sub>2(s)</sub> | -986,09                     |
| CO <sub>2(g)</sub>     | -393,509                    |
| CaCO <sub>3(s)</sub>   | -1.206,92                   |
| H <sub>2O(l)</sub>     | -285,830                    |

(Sumber: Smith dkk., 2001)

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

Untuk mencari nilai  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  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 <sub>3</sub>   | 12,572 | 0,00264  | -                       | -312.000 |
| CO <sub>2</sub>     | 5,457  | 0,00105  | -                       | -115.700 |
| Ca(OH) <sub>2</sub> | 9,597  | 0,00544  | -                       | -        |
| H <sub>2O</sub>     | 8,712  | 0,00125  | -1,8 x 10 <sup>-7</sup> | -        |
| $\Delta$            | 6,23   | -0,00259 | -1,8 x 10 <sup>-7</sup> | -196.300 |

(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  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  disubstitusi pada rumus sebagai berikut:

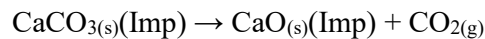
$$\Delta H^\circ = -113,151 + 8,314[0,988 (318,15 - 298,15) + \frac{-2,393 \times 10^{-2}}{2} (318,15^2 - 298,15^2) + \frac{-1,8 \times 10^{-8}}{3} (318,15^3 - 298,15^3) + -196.300 \left( \frac{318,15 - 298,15}{318,15 \times 298,15} \right)]$$

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

Diperoleh nilai  $\Delta H^\circ$  suhu operasi proses ini sebesar -1.066,88 kJ/mol yang menunjukkan reaksi bersifat eksotermis.

## 2. Proses *Lime Soda*

Reaksi (1):



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

**Tabel 2.8** Nilai  $\Delta H_F$  (298K) Pada Suhu 25°C (298,15 K)

| Komponen          | $\Delta H_F$ (kJ/mol) |
|-------------------|-----------------------|
| CaCO <sub>3</sub> | -1.206,92             |
| CaO               | -635,090              |
| CO <sub>2</sub>   | -393,509              |

(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  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  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)

| Formula           | n | A      | B         | C | D       |
|-------------------|---|--------|-----------|---|---------|
| CaCO <sub>3</sub> | 1 | 12,572 | 0,002637  | - | 312.000 |
| CaO               | 1 | 6,104  | 0,000443  | - | 104.700 |
| CO <sub>2</sub>   | 1 | 5,457  | 0,001045  | - | 115.700 |
| $\Delta$          | - | -1,011 | -0,001149 | - | 91.600  |

(Smith dkk., 2001)

Diketahui:

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

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

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

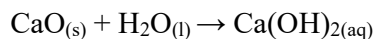
Selanjutnya, nilai  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  disubstitusi pada rumus sebagai berikut

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

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

Karena nilai  $\Delta H^\circ$  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  $\Delta H^\circ_f$  Pada Suhu 25°C (298,15 K)

| Komponen                        | $\Delta H^\circ_f$ (kJ/mol) |
|---------------------------------|-----------------------------|
| CaO                             | -635,090                    |
| H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub> | -285,830                    |
| Ca(OH) <sub>2(s)</sub>          | -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  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  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 <sub>(s)</sub>              | 1 | 6,104 | 0,000443 | -                     | -104.700 |
| H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub> | 1 | 8,712 | 0,00125  | $-1,8 \times 10^{-7}$ | -        |
| Ca(OH) <sub>2(s)</sub>          | 1 | 9,597 | 0,005435 | -                     | -        |
| $\Delta$                        | - | -5,22 | 0,00374  | $1,8 \times 10^{-7}$  | 104.700  |

(Smith dkk., 2001)

Diketahui:

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

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

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

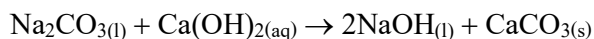
Selanjutnya, nilai  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  disubstitusi pada rumus sebagai berikut:

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

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

Diperoleh nilai  $\Delta H^\circ$  suhu operasi proses ini sebesar -1.431 kJ/mol yang menunjukkan reaksi bersifat eksotermis.

Reaksi (3):



Nilai  $\Delta H^\circ_f$  masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.10 berikut:

**Tabel 2.10** Nilai  $\Delta H^\circ_F$  pada suhu 25°C (298,15 K)

| Komponen                       | $\Delta H^\circ_F$ (kJ/mol) |
|--------------------------------|-----------------------------|
| $\text{Na}_2\text{CO}_{3(l)}$  | -1.130,935                  |
| $\text{Ca}(\text{OH})_{2(aq)}$ | -986,09                     |
| $\text{NaOH}_{(l)}$            | -416,893                    |
| $\text{CaCO}_{3(s)}$           | 1.206,92                    |

(Smith dkk., 2001)

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

$$\begin{aligned} &= [ \Delta H^\circ_f \text{NaOH}_{(l)} + \Delta H^\circ_f \text{CaCO}_{3(s)} ] - [ \Delta H^\circ_f \text{Ca}(\text{OH})_{2(aq)} + \Delta H^\circ_f \\ &\quad \text{Na}_2\text{CO}_{3(l)} ] \\ &= [ (-416,893) + 1.206,92 ] - [ (-986,09) + (-1.130,935) ] \text{ kJ/mol} \\ &= 493,212 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  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                     |
|--------------------------------|---|----------|-------------------------|----------|-----------------------|
| $\text{Na}_2\text{CO}_{3(l)}$  | 1 | 175,201  | $-348 \times 10^{-3}$   | 743,072  | $-305,55 \times 10^5$ |
| $\text{Ca}(\text{OH})_{2(aq)}$ | 1 | 9,597    | $5,435 \times 10^{-3}$  | -        | -                     |
| $\text{NaOH}_{(l)}$            | 2 | 0,121    | $16,316 \times 10^{-3}$ | -        | $19,48 \times 10^5$   |
| $\text{CaCO}_{3(s)}$           | 1 | 12,572   | $2,637 \times 10^{-3}$  | -        | $-3,12 \times 10^5$   |
| $\Delta$                       |   | -172,105 | -0,362                  | -743,072 | $304,378 \times 10^5$ |

(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  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  disubstitusi pada rumus sebagai berikut

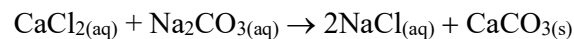
$$\Delta H^\circ = 493,212 + 8,314[-172,105(328,15 - 298,15) + \frac{-0,362}{2}(328,15^2 - 298,15^2) + \frac{-743,072}{3}(328,15^3 - 298,15^3) + 304,378 \times 10^5 \left( \frac{328,15 - 298,15}{328,15 \times 298,15} \right)]$$

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

Karena nilai  $\Delta H^\circ$  negatif, maka reaksi bersifat eksotermis

### 3. Proses *Calcium Chloride*

Reaksi yang terjadi :



Nilai  $\Delta H^\circ_f$  masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.12 berikut:

**Tabel 2.12** Nilai  $\Delta H^\circ_f$  pada suhu  $25^\circ\text{C}$  (298,15 K)

| Komponen                              | $\Delta H^\circ_f$ 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                          |

(Smith dkk., 2001)

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{298} &= \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} \\ &= [2\Delta H^\circ_f \text{NaCl}_{(\text{aq})} + \Delta H^\circ_f \text{CaCO}_{3(\text{s})}] - [\Delta H^\circ_f \text{CaCl}_{2(\text{aq})} + \Delta H^\circ_f \text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}] \\ &= [2(-407,27) + 1.206,92] - [(-774,04) + (-1.130,935)] \\ &= 290,785 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  harus diketahui nilai konstanta  $C_p$  masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.13 berikut:

**Tabel 2.13** Nilai Konstanta Cp (kJ/mol.K)

| Formula                             | n | A        | B                        | C                        | D                         |
|-------------------------------------|---|----------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| CaCl <sub>2(aq)</sub>               | 1 | 8,646    | 1,53 x 10 <sup>-3</sup>  | -                        | -3,02 x 10 <sup>5</sup>   |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3(aq)</sub> | 1 | 175,201  | -348 x 10 <sup>-3</sup>  | 743,072                  | -305,55 x 10 <sup>5</sup> |
| NaCl <sub>(aq)</sub>                | 2 | 5,526    | 1,963 x 10 <sup>-3</sup> | -                        | -                         |
| CaCO <sub>3(s)</sub>                | 1 | 8,712    | 1,25 x 10 <sup>-3</sup>  | -0,18 x 10 <sup>-6</sup> | -1,86 x 10 <sup>5</sup>   |
| <b>Δ</b>                            |   | -165,749 | 0,351                    | -743,072                 | -302,73 x 10 <sup>5</sup> |

(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  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  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  $\Delta H$  negatif, maka reaksi bersifat eksotermis

### Tinjauan Termodinamika Berdasarkan Energi Gibbs ( $\Delta G^\circ$ )

Energi Gibbs standar menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia.  $\Delta G^\circ$  bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga dibutuhkan energi tambahan dari luar. Sedangkan  $\Delta G^\circ$  bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan dan hanya sedikit membutuhkan energi. Oleh karena itu, semakin kecil atau negatif  $\Delta G^\circ$  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:

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

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

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

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

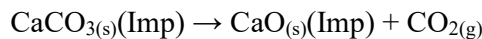
$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} = \Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[ \Delta B + \left( \Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 + T^2} \right) + \frac{(T + T_0)}{2} \right] (T - T_0)$$

Maka nilai  $\Delta G^\circ$  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  $\Delta G^\circ_f$  masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat

Tabel 2.14 sebagai berikut :

**Tabel 2.14 Nilai  $\Delta G^\circ_f$  masing-masing Komponen**

| Komponen             | $\Delta G^\circ_f$ (kJ/mol) |
|----------------------|-----------------------------|
| CaCO <sub>3(s)</sub> | -1.128,797                  |
| CaO <sub>(s)</sub>   | -603,542                    |
| CO <sub>2(g)</sub>   | -394,384                    |

(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  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  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)

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

(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  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  pada rumus  $\Delta G^{\circ}$ , sehingga didapatkan:

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

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

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

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ &= \Delta G_R^\circ + \Delta G_P^\circ \\ &= 2.360,24 + (-8.373,582) \\ &= -6.013,342 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

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 :

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

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

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

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

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

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  $\Delta A$ , didapatkan nilai  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  sebagai berikut:

$$\Delta B = 0,003542$$

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

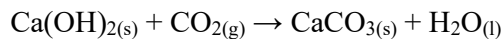
$$\Delta D = 104.700$$

Selanjutnya, substitusikan nilai  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  pada rumus  $\Delta G^\circ$ , sehingga didapatkan:

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

Diperoleh nilai  $\Delta G^\circ$  suhu reaksi pada reaksi proses ini sebesar -54,008. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa reaksi berlangsung secara spontan.

Reaksi 3:



Nilai  $\Delta G^\circ_f$  masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat Tabel 2.16 sebagai berikut :

**Tabel 2.16** Nilai  $\Delta G_{298}$  Proses Karbonasi 25°C (298,15 K)

| Komponen                   | $\Delta G_f$ (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              |

(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  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  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)

| Komponen                           | A      | B                       | C                     | D                    |
|------------------------------------|--------|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| $\text{CaCO}_3(\text{s})$          | 12,572 | $2637 \times 10^{-3}$   | -                     | $-3,12 \times 10^5$  |
| $\text{CO}_2(\text{g})$            | 5,457  | $1045 \times 10^{-3}$   | -                     | $-1,157 \times 10^5$ |
| $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s})$ | 9,597  | $5435 \times 10^{-3}$   | -                     | -                    |
| $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$     | 3,47   | $1450 \times 10^{-3}$   | $-1,8 \times 10^{-8}$ | -                    |
| $\Delta$                           | 0,988  | $-2,393 \times 10^{-3}$ | $-1,8 \times 10^{-8}$ | -196.300             |

(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  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  pada rumus  $\Delta G^\circ$ , sehingga didapatkan:

$$\Delta G^\circ$$

$$= -113,151 - \frac{318,15}{298,15} (-113,151 - (-73,07))$$

$$+ 8,314 \left[ \frac{0,988 + \frac{-2,393 \times 10^{-3}}{2} (318,15 + 298,15) + \frac{-1,8 \times 10^{-8}}{3} (318,15^2 + 298,15^2) + \frac{-196.300}{318,15 \times 298,15}}{(318,15 - 298,15)} - 8,314 \right]$$

$$(318,15 - 298,15) - 8,314$$

$$\times 318 \left[ 0,988 \ln \frac{318,15}{298,15} \right]$$

$$+ \left[ \frac{-2,393 \times 10^{-3} + \left( -1,8 \times 10^{-8} + \frac{-196.300}{298,15^2 + 318,15^2} \right)}{(318,15 + 298,15)} + \right] (318,15$$

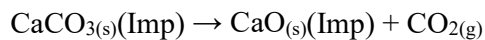
$$- 298,15)$$

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

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

## 2. Proses *Lime Soda*

Reaksi (1):



Nilai  $\Delta G^\circ_f$  masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat

Tabel 2.18 sebagai berikut :

**Tabel 2.18 Nilai  $\Delta G^\circ_f$  masing-masing Komponen**

| Komponen                  | $\Delta G^\circ_f$ (kJ/mol) |
|---------------------------|-----------------------------|
| $\text{CaCO}_3(\text{s})$ | -1.128,797                  |
| $\text{CaO}(\text{s})$    | -603,542                    |
| $\text{CO}_2(\text{g})$   | -394,384                    |

(Smith dkk., 2001)

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

$$= [\Delta G^\circ_f \text{CaO}(\text{s}) + \Delta G^\circ_f \text{CO}_2(\text{g})] - [\Delta G^\circ_f \text{CaCO}_3(\text{s})]$$

$$= [(-603,542) + (-394,384)] - [-1.128,797]$$

$$= 130,871 \text{ kJ/mol}$$

Untuk mencari nilai  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  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                    |
|---------------------------|--------|-------------------------|---|----------------------|
| $\text{CaCO}_3(\text{s})$ | 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  | $1,045 \times 10^{-3}$  | - | $-1,157 \times 10^5$ |
| $\Delta$                  | -1,011 | $-1,149 \times 10^{-3}$ | - | 91.600               |

(Smith dkk., 2001)

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 R &= 8,314 \text{ J/mol.K} \\
 T &= 1000^\circ\text{C} = 1273,15 \text{ K} \\
 T_0 &= 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K} \\
 \Delta H^\circ_{298} = \Delta H_0 &= 178,321 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, substitusikan nilai  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  pada rumus  $\Delta G^\circ$ , sehingga didapatkan:

$$\Delta G^\circ =$$

$$\begin{aligned}
 &178,321 - \frac{1273,15}{298,15} (178,321 - 130,871) + \\
 &8,314 \left[ -1,011 + \frac{-1,149 \times 10^{-3}}{2} (1273,15 + 298,15) + \right. \\
 &\left. \frac{0}{3} (1273,15^2 + 298,15^2) + \frac{91.600}{1273,15 \times 298,15} \right] (1273,15 - \\
 &298,15) - 8,314 \times 298,15 \left[ 1,011 \ln \frac{1273,15}{298,15} + \right. \\
 &\left. \left[ \frac{-1,149 \times 10^{-3}}{2} + \left( 0 + \frac{91.600}{298,15^2 + 1273,15^2} \right) + \right] (1273,15 - 298,15) \right]
 \end{aligned}$$

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

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

Reaksi (2):

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

Apabila 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:

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

$$= 0,023$$

Dengan cara yang sama untuk menentukan  $\Delta A$ , didapatkan nilai  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ ,

dan  $\Delta D$  sebagai berikut:

$$\Delta B = 0,003742$$

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

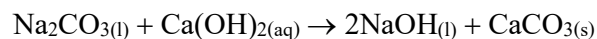
$$\Delta D = 104.700$$

Selanjutnya, substitusikan nilai  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  pada rumus  $\Delta G^\circ$ , sehingga didapatkan:

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

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

Reaksi (3):



Nilai  $\Delta G^\circ_f$  masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat Tabel 2.20 sebagai berikut :

**Tabel 2.20** Nilai  $\Delta G^\circ_f$  masing-masing komponen

| Komponen                            | $\Delta G^\circ_f$ (kJ/mol) |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{l})$  | -1.047,674                  |
| $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq})$ | -898,49                     |
| $\text{NaOH}(\text{l})$             | -374,133                    |
| $\text{CaCO}_3(\text{s})$           | -1.128,797                  |

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

$$\Delta G^\circ_0 = \Delta G^\circ_f \text{ produk} - \Delta G^\circ_f \text{ reaktan}$$

$$= [ 2\Delta G^\circ_f \text{NaOH}(\text{l}) + \Delta G^\circ_f \text{CaCO}_3(\text{s}) ] - [ \Delta G^\circ_f \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{l}) + \Delta G^\circ_f \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq}) ]$$

$$= [ (-374,133) + (-1.128,797) ] - [ (-1.047,674) + -898,49 ]$$

$$= 443,241 \text{ kJ/mol}$$

Untuk mencari nilai  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  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)

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

(Smith, et al., (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:

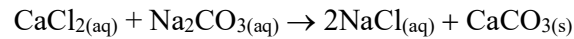
$$\begin{aligned} \Delta G^\circ &= -113,151 - \frac{328}{298}(-113,151 - 443,241) \\ &+ 8,314 \left[ \frac{-172,105 + \frac{-0,362}{2}(328 + 298) + \frac{-743,072}{3}(328^2 + 298^2) + \frac{304,378 \times 10^5}{328 \times 298}}{(328 - 298)} \right] \\ &- 8,314 \left[ -172,105 \ln \frac{328}{298} \right]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

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

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

### 3. Proses Calcium Chloride

Reaksi yang terjadi :



Nilai  $\Delta G^\circ_f$  masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat Tabel 2.22 sebagai berikut :

**Tabel 2.22** Nilai  $\Delta G^\circ_f$  masing-masing komponen

| Komponen                              | $\Delta G^\circ_f$ (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                  |

(Smith, *et al.*, (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  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  harus diketahui nilai konstanta Cp masing-masing senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.23 berikut:

**Tabel 2.23** Nilai Konstanta Cp (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  | $-348 \times 10^{-3}$  | 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    | $1,25 \times 10^{-3}$  | $-0,18 \times 10^{-6}$ | $-1,86 \times 10^5$   |
| $\Delta$                              |   | -165,749 | 0,351                  | -743,072               | $-302,73 \times 10^5$ |

(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  $\Delta A$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta C$ , dan  $\Delta D$  pada rumus  $\Delta G^\circ$ , sehingga didapatkan:

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

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

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 2.24** Matrik Pemilihan Proses

| No | Parameter  | Karbonasi  | Lime-soda  | Calcium Chloride  |
|----|------------|--|--|---|
| 1  | Bahan baku | CaCO <sub>3(s)</sub><br>CO <sub>2(g)</sub>           | Na <sub>2</sub> CO <sub>3(g)</sub><br>CaCO <sub>3(s)</sub> | NH <sub>4</sub> Cl <sub>(g)</sub><br>Na <sub>2</sub> CO <sub>3(g)</sub><br>Ca(OH) <sub>2(g)</sub> |
| 2  | Suhu       | Reaksi 1:<br>950°C<br>Reaksi 2:<br>80°C<br>Reaksi 3: | Reaksi 1:<br>1000°C<br>Reaksi 2:<br>80°C<br>Reaksi 3:      | 65 °C   |

|                    | 45°C  | 55°C  |                           |
|--------------------|---|---|---------------------------|
| 3 Tekanan          | 1 atm   | 1 atm   | 1 atm                     |
| 4 Konversi         | 90%   | 90%   | 80%                       |
| 5 Keuntungan       | 2.498.185.942,56 \$   | 877.807.540,37 \$   | -1.146.510.423,43 \$      |
| 6 $\Delta H^\circ$ | Reaksi 1:<br>-12.386,41 kJ/mol<br>Reaksi 2: -1.431<br>kJ/mol<br><br>Reaksi 3: -1.066,88<br>kJ/mol | Reaksi 1:<br>-13.378,39 kJ/mol<br>Reaksi 2: -1.431<br>kJ/mol<br><br>Reaksi 3:<br>-1.817.112<br>kJ/mol | -25.022.227.397<br>kJ/mol |
| 7 $\Delta G^\circ$ | Reaksi 1:<br>-6.241,13 kJ/mol<br>Reaksi 2: 1.167,18<br>kJ/mol<br>Reaksi 3: -79,913<br>kJ/mol      | Reaksi 1:<br>-6.013,34 kJ/mol<br>Reaksi 2: 1.167,18<br>kJ/mol<br>Reaksi 3: 3.316,9<br>kJ/mol          | 5.049,795 kJ/mol          |
| 8 Produk samping   | -   | NaOH  | NaCl                      |

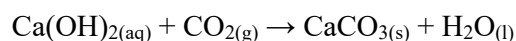
Berdasarkan matrik di atas, proses produksi *Precipitated Calcium Carbonate* yang dipilih adalah proses karbonasi. Adapun keunggulan proses karbonasi dibanding proses lainnya yaitu:

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.

### 2.2.3 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  $\text{CO}_2$  terlarut dan larutan jenuh  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pada fasa cair didekati dengan persamaan laju reaksi sebagai berikut (Doraiswamy, 1984):

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

Dengan:

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

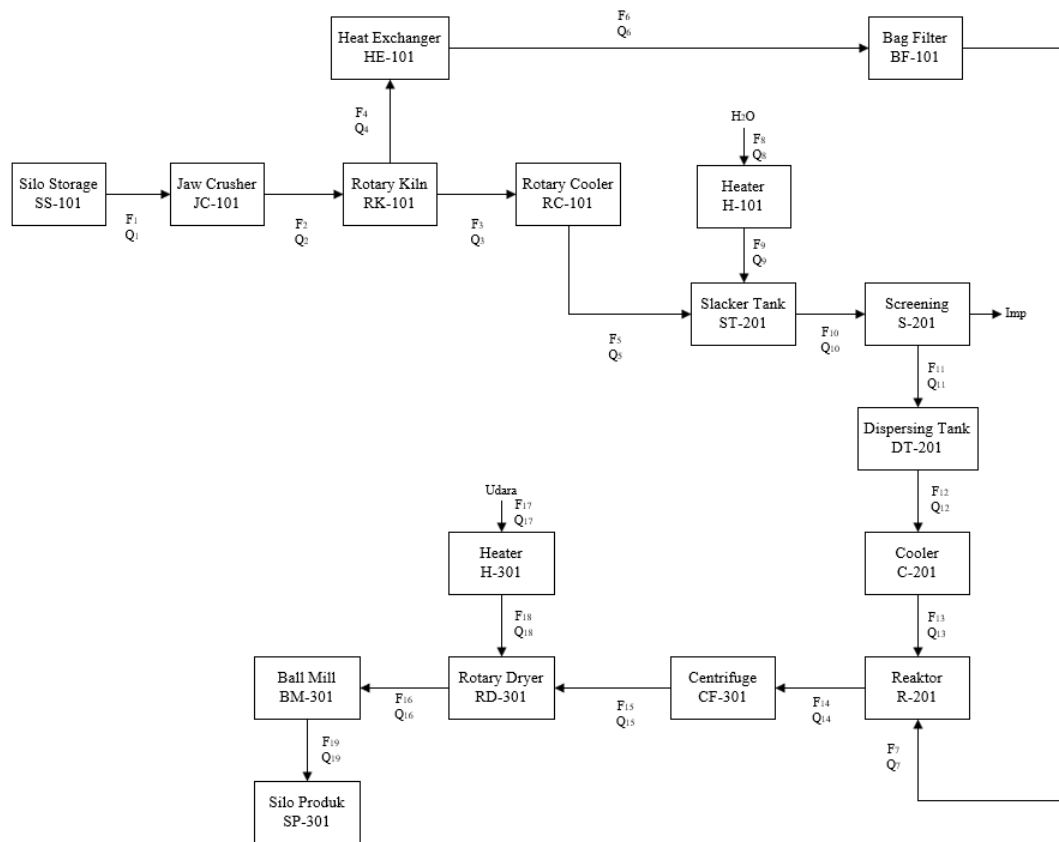
$C_A$  = konsentrasi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ( $\text{kmol}/\text{m}^3$ )

$C_B$  = konsentrasi  $\text{CO}_2$  ( $\text{kmol}/\text{m}^3$ )

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

(Mufrodi dkk., 2023)

### 2.3 Deskripsi Proses



**Gambar 2.1** Diagram Alir Proses Produksi PCC

Proses karbonasi pembuatan PCC dilakukan dalam 3 tahapan yaitu:

1. Tahap penyediaan bahan baku
2. Tahap pembentukan PCC
3. Tahap pengeringan produk

Berikut tahapan pembuatan *Precipitated Calcium Carbonate*

### **2.3.1 Tahap Penyediaan Bahan Baku**

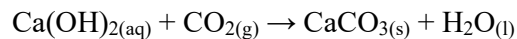
Batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) atau *Ground Calcium Carbonate* yang diperoleh dari tambang dibawa ke Silo Storage (SS-101) kemudian diumpankan ke *Jaw Crusher* (JC-101) menggunakan *Belt Conveyor* (BC-101) hingga diperoleh ukuran partikel 12–50 mm. Batu kapur ini diangkut menggunakan *Belt Conveyor* (BC-102) menuju *Rotary Kiln* (RK-101). Dalam *Rotary Kiln* terjadi proses kalsinasi pada suhu  $950^\circ\text{C}$  dimana kalsium karbonat terurai menjadi  $\text{CaO}$  dan  $\text{CO}_2$ . Kalsium oksida didinginkan dalam *Rotary Cooler* (RC-101) hingga suhu  $80^\circ\text{C}$ . Gas  $\text{CO}_2$  diperoleh dari hasil kalsinasi didinginkan melewati Heat Exchanger (HE-101) kemudian masuk ke Bag Filter (BF-101) untuk memisahkan dari padatan halus (Doyle B.W., 2003; Erdogan & Eken, 2015).

### **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  $\text{CaO}$  dilakukan pada suhu  $80^\circ\text{C}$ , tekanan 1 atm, dan konversi sebesar 98%. Slurry  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang telah terbentuk diumpankan ke Screening (S-201) untuk memisahkan *impurities* dan mengontrol ukuran partikel. Selanjutnya, larutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  jenuh diumpankan ke *Dispersing Tank* (DT-201) agar larutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  terdispersi halus. Setelah itu, larutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  diumpankan ke *Cooler* (C-201) hingga suhu mencapai  $45^\circ\text{C}$ .

Larutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  diumpankan ke Reaktor (R-201) untuk direaksikan dengan  $\text{CO}_2$  pada suhu  $45^\circ\text{C}$ , tekanan 1 atm, dan konversi sebesar 90% (Mufrodi dkk., 2023). Gas  $\text{CO}_2$  diperoleh dari proses kalsinasi. Larutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  jenuh masuk pada bagian atas reaktor sedangkan gas karbon dioksida masuk di bagian bawah reaktor melewati *sparger ring* yang berguna untuk

mengelembungkan gas CO<sub>2</sub> ke dalam larutan Ca(OH)<sub>2</sub>. 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)<sub>2</sub> sisa reaksi menuju tahap selanjutnya sedangkan gas CO<sub>2</sub> 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 98,5%, kandungan air 0,97%. Produk PCC keluaran RD-301 diangkut dengan *screw conveyor* (SC-303) 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) (Erdogan, 2016).

## BAB III

### SPESIFIKASI BAHAN BAKU & PRODUK

#### 3.1 Bahan Baku

##### 3.1.1 Kalsium Karbonat

Sifat Fisik Bahan:

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Rumus Molekul                 | : $\text{CaCO}_3$                          |
| Berat Molekul                 | : 100,09 gr/mol                            |
| Fasa                          | : Padat                                    |
| Ukuran Partikel               | : 6 $\mu\text{meter}$                      |
| Densitas (30°C)               | : 1,350 gr/mL                              |
| <i>Specific Gravity</i>       | : 2.60 – 2.75 gr/cm <sup>3</sup>           |
| Kemurnian                     | : 98,5%                                    |
| Suhu Dekomposisi              | : 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 <sub>2</sub> O (18°C) |
| <i>Solubility, hot water</i>  | : 0,0019kg/100 kg H <sub>2</sub> O (100°C) |

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

Sifat Kimia Bahan:

1. Kalsium karbonat umumnya memiliki tiga bentuk struktur kristal, yaitu: *calcite*, *aragonite*, dan terkadang *vaterite*.
2. Kalsium karbonat mulanya terbentuk dari proses kalsinasi batu kapur yang kemudian membentuk CaO (kalsium oksida) dan CO<sub>2</sub> (kalsium dioksida).

3. Hasil dari proses kalsinasi  $\text{CaCO}_3$  menjadi  $\text{CaO}$  saat melewati proses hidrasi atau *slaking* dengan air akan membentuk  $\text{Ca(OH)}_2$  (kalsium hidroksida).
4. Kalsium karbonat dapat terbentuk kembali melalui proses karbonasi dengan mereaksikan  $\text{Ca(OH)}_2$  (kalsium hidroksida) dengan  $\text{CO}_2$  (udara) yang ditandai oleh mengeringnya  $\text{Ca(OH)}_2$  ataupun pengukuran nilai pH.
5. Kalsium karbonat dapat direaksikan dengan amonium klorida membentuk *precipitated calcium carbonate*.  
(Sumber: Orthmer., (1991)).

### 3.1.2 Karbon Dioksida

|                         |                                    |
|-------------------------|------------------------------------|
| Rumus Molekul           | : $\text{CO}_2$                    |
| Berat Molekul           | : 44,01 kg/kmol                    |
| Fase                    | : Gas                              |
| Warna                   | : Tidak berwarna                   |
| <i>Specific gravity</i> | : 1,56                             |
| Densitas                | : 1,98 g/L                         |
| Melting point           | : $-56,6^\circ\text{C}$            |
| Boiling point           | : $-78,5^\circ\text{C}$            |
| Entalpi pembentukan     | : -393,509 kkal/mol                |
| Kapasitas panas (Cp)    | : $10,34 + 0,00274T - 195.500/T^2$ |

(Perry & Green, 2008)

## 3.2 Produk

### 3.2.2 *Precipitated Calcium Carbonat*

Sifat Fisik Bahan:

|                  |   |
|------------------|---|
| Rumus Molekul    | : $\text{CaCO}_3$ ( <i>presipitated</i> ) |
| Berat Molekul    | : 100,1 gr/mol                            |
| Fasa             | : Padat                                   |
| Ukuran partikel  | : $< 5 \mu\text{m}$                       |
| <i>Whiteness</i> | : 95-99 %                                 |

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Densitas                | : 2,71 gr/cm <sup>3</sup>                             |
| <i>Specific Gravity</i> | : 2,57  |
| Kemurnian               | : > 98%   |
| pH                      | : 9,4-9,6   |
| <i>Humidity</i>         | : < 0,5%  |
| Suhu Dekomposisi        | : 825°C   |
| Kapasitas Panas         | : 19,68 + 0,01189 T -307.600/T <sup>2</sup>           |
| 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:

1. *Precipitated Calcium Carbonate* merupakan produk pengolahan material alam yang mengandung kalsium karbonat.
2. *Precipitated Calcium Carbonate* dihasilkan dari proses presipitasi dengan kemurnian yang tinggi mencapai 99%.
3. *Precipitated Calcium Carbonate* dapat memiliki berbagai bentuk kristal seperti kalsit, aragonit, dan vaterit.
4. PCC dapat diklasifikasikan sebagai aditif multifungsi.
5. 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 Carbonat* 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 Carbonat* 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 35,03% dan setelah pajak yaitu 28,02 % sudah memenuhi standar.
  - b. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak yaitu 1,95 tahun dan 2,33 tahun setelah pajak.
  - c. *Break Even Point* (BEP) sebesar 35,10%, dimana rentang BEP standar antara 30 – 60%. Nilai *Shut Down Point* (SDP) sebesar 16,48%, yaitu dengan batasan kapasitas produksi tersebut pabrik harus berhenti berproduksi karena jika beroperasi dibawah nilai SDP maka pabrik akan mengalami kerugian
  - d. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 36,56%, 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 Carbonat* dengan kapasitas 90.000 ton/tahun

sebaiknya dikaji lebih lanjut, baik dari segi proses maupun dari segi ekonominya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2010). *Buku II Memperkuat Sinergi Antar Bidang Pembangunan*. Jakarta: PPRI.
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Data Impor Precipitated Calcium Carbonat*. [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id). Diakses pada 20 Maret 2025 pukul 15.00 WIB.
- Bank Indonesia. (2025). *Nilai Kurs*. Diakses melalui [www.bi.go.id](http://www.bi.go.id). pada 21 Oktober 2025.
- Brown, G. George. (1950). *Unit Operations*. New Delhi: CBS Publishers & Distributors.
- Brownell, L. E. and Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design 3<sup>rd</sup> Edition*. John Wiley & Sons, New York.
- Chemanalyst.com. (2025). *ChemAnalyst: Commodity price benchmarking, news & forecast*.
- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. (2005). *Chemical Engineering, Volume 2, Fifth Edition*. London: Butterworth-Heinemann.
- CV. Buana Mitra Konstruksi. (2026). *Batu Limestone dan Kegunaannya*. Diakses 18 Mei 2026
- Doraiswamy, L. K., & Sharma, M. M. (1984). *Heterogeneous reactions: Analysis, examples, and reactor design* (Vol. 1). New York, NY: John Wiley & Sons.
- Doyle, B. W. (2003). *Combustion source evaluation: Student manual* (3rd ed., APTI Course 427). Research Triangle Park, NC: United States Environmental Protection Agency.

- Erdogan, N., & Eken, H. A. (2017). *Precipitated calcium carbonate production, synthesis and properties*. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 53(1), 57–68.
- Himmelblau, D. M. (1997). *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*. Prentice-Hall International.
- Islam, M. S., & Quader, A. K. M. A. (2008). *Laboratory-scale production of commercial grade calcium carbonate from lime-soda process*. *Chemical Engineering Research Bulletin*, 12, 1–6.
- Karakas, F., & Celik, M. S. (2012). *Effect of quantity and size distribution of calcite filler on the quality of water borne paints*. *Progress in Organic Coatings*, 74(3), 555–563.
- Kilic, S. (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., et al. (2010). A breakthrough technique for the preparation of high-yield precipitated calcium carbonate. *J.Supercrit. Fluids* 52, 298–305.
- Mufrodi, Z. et al. (2023) 'Reaction of Carbon Dioxide Gas Absorption with Suspension of Calcium Hydroxide in Slurry Reactor', 7(2), pp. 328–338.
- Othmer, K. (2007). *Encyclopedia of chemical technology* (5th ed.). Wiley.
- Perry, R.H. and D. W. Green. (2008). *Perry's Chemical Engineering Handbooks, 8<sup>th</sup> edition*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1999). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. Boston: McGraw-Hill.
- Santika, A. W., & Mulyadi, D. (2017). *Geochemistry Of Limestone From Montong Area, Tuban, East Java*. *Ris.Geo.Tam* 27(2), 227-238
- Sezer, R. (2013). *Production Of Precipitated Calcium Carbonate From Marble Wastes*. Ankara, Turkey.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2018). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics (8th ed.)*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.

Minerals Technologies Inc. (n.d.). Specialty minerals. Diakses 19 Mei 2026, dari <https://www.mineralstech.com/specialty-minerals>

Syaharul, et al. (2024). *Perkembangan Sektor Industri Manufaktur Terhadap Globalisasi*. Jurnal Riset Dan Publikasi Ilmu Ekonomi 2(1), 101-112

TopMaterial.id. (2023). *Topmaterial.id distributor penjualan kebutuhan material*. Retrieved Maret 20, 2025, from <https://topmaterial.id/>

Turton, R. (2018). *Analysis, synthesis, and design of chemical processes*. Pearson Education. New Jersey.

Allen, E.M., et al. (1938). *Method Of Producing Finely Divided Calcium Carbonate Which Does Not Agglomerate*. U.S Patent 2140375A. United States Patent

Bleakley, I.S., dan Jones, T.R. (1994). *Precipitated Calcium Carbonate*. US Patent No. 5,342,600. United States Patent.

Ulrich, G. D. (1984). *A Guide To Chemical Engineering process Design and Economics*. New York: John Wiley & Sons Inc.

World Bank. (2024). Indonesia country profile 2024. World Integrated Trade Solution (WITS). Retrieved Maret 19, 2025