

II. DESKRIPSI PROSES

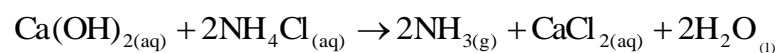
A. Macam - Macam Proses

Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dapat dihasilkan melalui beberapa proses sebagai berikut:

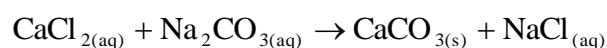
1. Proses *Calcium Chloride-Sodium Carbonate Double Decomposition*
(*Calcium Chloride Process*)
2. Proses Lime-Soda
3. Proses Karbonasi

1. Proses *Calcium Chloride-Sodium Carbonate Double Decomposition* (*Calcium Chloride Process*)

Pada proses *Calcium Chloride*, kalsium hidroksida direaksikan dengan amonium klorida membentuk gas amonia dan larutan kalsium klorida.



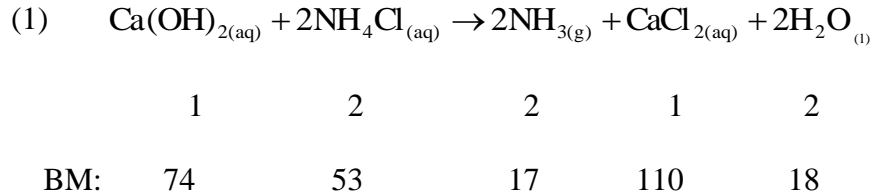
Setelah pemurnian, larutan ini direaksikan dengan sodium karbonat untuk menghasilkan endapan kalsium karbonat dan larutan sodium klorida.



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

kalsium hidroksida (aq) dimana kedua bahan baku ini harganya cukup mahal menjadikan proses ini tidak ekonomis.

Perhitungan ekonomi kasar dari proses ini dapat dilihat sebagai berikut.



Jika terbentuk CaCl_2 1 gr maka mol CaCl_2 yang terbentuk adalah:

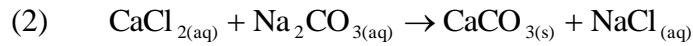
$$= 1 \text{ gr} \times \frac{1 \text{ mol CaCl}_2}{110 \text{ gr CaCl}_2}$$

$$= 0,009 \text{ mol}$$

Menurut perbandingan stoikiometri

- mol Ca(OH)_2 yang bereaksi = 0,009 mol
 massa Ca(OH)_2 yang bereaksi = $0,009 \times 74 = 0,66 \text{ gr}$
- mol NH_4Cl yang bereaksi = 0,018 mol
 massa NH_4Cl yang bereaksi = $0,018 \times 53 = 0,95 \text{ gr}$
- mol NH_3 yang terbentuk = 0,018 mol
 massa NH_3 yang terbentuk = $0,018 \times 17 = 0,31 \text{ gr}$
- mol H_2O yang terbentuk = 0,018 mol
 massa H_2O yang terbentuk = $0,018 \times 18 = 0,32 \text{ gr}$

Dari CaCl_2 yang dihasilkan sebanyak 0,009 mol ini digunakan sebagai bahan baku reaksi ke dua untuk menghasilkan CaCO_3 sehingga mol CaCl_2 dijadikan basis.



	1	1	1	1
BM	110	106	100	58

Menurut perbandingan stoikiometri

- mol Na_2CO_3 yang bereaksi = 0,009 mol
 massa Na_2CO_3 yang bereaksi = $0,009 \times 106 = 0,95$ gr
- mol NaCl yang terbentuk = 0,009 mol
 massa NaCl yang terbentuk = $0,009 \times 58 = 0,52$ gr
- mol CaCO_3 yang terbentuk = 0,009 mol
 CaCO_3 yang terbentuk = $0,009 \times 100 = 0,9$ gr

Harga bahan baku dan produk dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2.1. Perbandingan Harga Bahan Baku dan Produk pada *Calcium Chloride Process*

Bahan baku	Harga (per gram)	Produk	Harga (per gram)
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	0,00021 US\$	NH_3	0,000386 US\$
NH_4Cl	0,00031 US\$	CaCO_3	0,000343 US\$
CaCl_2	0,00016 US\$	NaCl	0,000767 US\$
Na_2CO_3	0,000105 US\$		

Untuk *overall process*, profit kasarnya adalah:

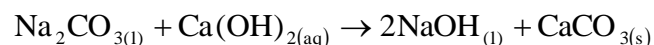
$$\begin{aligned}
 \text{Biaya bahan baku} &= (\text{harga } \text{Ca}(\text{OH})_2 \times \text{massa } \text{Ca}(\text{OH})_2) + (\text{harga } \text{NH}_4\text{Cl} \\
 &\quad \times \text{massa } \text{NH}_4\text{Cl}) + (\text{harga } \text{CaCl}_2 \times \text{massa } \text{CaCl}_2) \\
 &\quad + (\text{harga } \text{Na}_2\text{CO}_3 \times \text{massa } \text{Na}_2\text{CO}_3) \\
 &= (0,00021 \text{ US\$/gr} \times 0,66 \text{ gr}) + (0,00031 \text{ US\$/gr} \times 0,95 \text{ gr}) \\
 &\quad + (0,00016 \text{ US\$/gr} \times 1 \text{ gr}) + (0,000105 \text{ US\$/gr} \times 0,95 \text{ gr}) \\
 &= 0,000693 \text{ US\$}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Harga jual produk} &= (\text{harga CaCl}_2 \times \text{massa CaCl}_2) + (\text{harga NH}_3 \times \text{massa} \\
&\quad \text{NH}_3) + (\text{harga CaCO}_3 \times \text{massa CaCO}_3) + (\text{harga NaCl} \times \\
&\quad \text{massa NaCl}) \\
&= (0,00016 \text{ US\$/gr} \times 1 \text{ gr}) + (0,000386 \text{ US\$/gr} \times 0,31 \text{ gr}) \\
&\quad + (0,000343 \text{ US\$/gr} \times 0,9 \text{ gr}) + (0,000767 \text{ US\$/gr} \times \\
&\quad 0,52 \text{ gr}) \\
&= 0,000987 \text{ US\$}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Profit} &= \text{Harga jual produk} - \text{biaya bahan baku} \\
&= 0,000987 \text{ US\$} - 0,000693 \text{ US\$} \\
&= 0,000294 \text{ US\$} \\
&= 2,94 \times 10^{-5} \text{ US\$}
\end{aligned}$$

2. Proses *Lime-Soda*

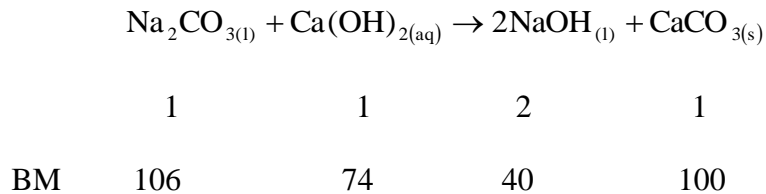
Proses *Lime-Soda*, disebut juga kaustisasi, merupakan metode klasik untuk menghasilkan soda kaustik (sodium hidroksida). Proses ini biasanya digunakan oleh pabrik alkali, dimana tujuan utamanya adalah *me-recovery* sodium hidroksida sedangkan *precipitated calcium carbonate* mentah hanya sebagai *by-product*. Pada proses ini, larutan sodium karbonat direaksikan dengan kalsium hidroksida berlebih untuk menghasilkan sodium hidroksida cair dan *by-product* berupa *precipitated calcium carbonate* (*PCC*). Proses berlangsung pada suhu 30-60° C dengan konversi rata-rata < 90 %.



Kualitas *PCC* yang dihasilkan dari proses ini kurang baik karena distribusi ukuran partikel *PCC* sangat beragam serta kandungan residu Ca(OH)_2 yang

berlebih. Selain itu, pembuatan kaustik soda dengan metode ini mulai digantikan dengan metode elektrolisis.

Perhitungan ekonomi kasar proses ini sebagai berikut :



Jika terbentuk CaCO_3 1 gr maka mol CaCO_3 yang terbentuk adalah:

$$= 1 \text{ gr} \times \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{100 \text{ gr CaCO}_3}$$

$$= 0,01 \text{ mol}$$

Tabel 2.2. Harga Bahan Baku dan Produk pada Proses *Lime-Soda*

Bahan baku	Harga (per gram)	Produk	Harga (per gram)
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	0,00021 US\$	NaOH	0,000114 US\$
Na_2CO_3	0,000105 US\$	CaCO_3	0,000343 US\$

Menurut perbandingan stoikiometri

- mol Na_2CO_3 yang bereaksi = 0,01 mol
- massa Na_2CO_3 yang bereaksi = 0,01 x 106 = 1,06 gr
- mol $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang bereaksi = 0,01 mol
- massa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang bereaksi = 0,01 x 74 = 0,74 gr
- mol NaOH yang terbentuk = 0,02 mol
- massa NaOH yang terbentuk = 0,02 x 40 = 0,8 gr

Biaya bahan baku = (harga Na_2CO_3 x massa Na_2CO_3) + (harga $\text{Ca}(\text{OH})_2$

x massa $\text{Ca}(\text{OH})_2$

$$= (0,000105 \text{ US\$/gr} \times 1,06 \text{ gr}) + (0,00021 \text{ US\$/gr} \times 0,74 \text{ gr})$$

$$= 0,0002667 \text{ US\$}$$

$$\text{Harga jual produk} = (\text{harga CaCO}_3 \times \text{massa CaCO}_3)$$

$$+ (\text{harga NaOH} \times \text{massa NaOH})$$

$$= (0,000343 \text{ US\$/gr} \times 1 \text{ gr}) + (0,000114 \text{ US\$/gr} \times 0,8 \text{ gr})$$

$$= 0,0004342 \text{ US\$}$$

$$\text{Profit} = \text{Harga jual produk} - \text{biaya bahan baku}$$

$$= 0,0004342 \text{ US\$} - 0,0002667 \text{ US\$}$$

$$= 0,0001675 \text{ US\$}$$

$$= 1,675 \times 10^{-5} \text{ US\$}$$

3. Proses Karbonasi

Metode karbonasi merupakan proses yang paling banyak digunakan karena menggunakan bahan baku yang murah. Pada proses ini, batu kapur (limestone) yang telah dihancurkan dibakar dalam *kiln* pada temperatur sekitar 1000°C untuk mendekomposisi batu kapur menjadi kalsium oksida dan karbon dioksida. Tahap ini disebut sebagai kalsinasi.

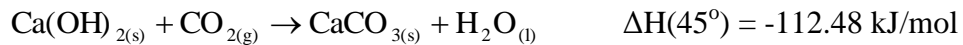


CaO kering kemudian dihidrasi (*slaking*) dengan air pada temperatur 30-50°C untuk menghasilkan *slurry* Ca(OH)₂.

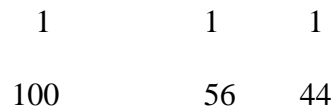
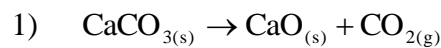


Slurry terdiri dari kalsium hidroksida tak terlarut, ion kalsium (Ca²⁺) dan ion hidroksida (OH⁻). Sebelum karbonasi, *slurry* disaring untuk memisahkan

pengotor yang berasal dari batu kapur. *Slurry* kemudian diumpankan pada reaktor tiga fasa tangki berpengaduk untuk direaksikan dengan gas CO₂. Reaktor ini dapat beroperasi secara atmosferis maupun bertekanan. Temperatur yang digunakan pada proses karbonasi 30-60 ° C dengan konversi > 90 %.



Perhitungan ekonomi kasar dari proses ini :



Jika terbentuk CaO sebanyak 1 gr maka mol CaO yang terbentuk adalah:

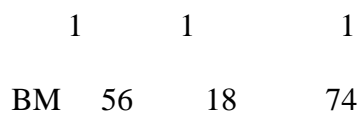
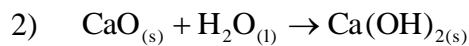
$$= 1 \text{ gr} \times \frac{1 \text{ mol CaO}}{56 \text{ gr CaO}}$$

$$= 0,018 \text{ mol}$$

Menurut perbandingan stoikiometri

- mol CaCO₃ yang bereaksi = 0,01 mol
- massa CaCO₃ yang bereaksi = 0,018 x 100 = 1,8 gr
- mol CO₂ yang terbentuk = 0,018 mol
- massa CO₂ yang terbentuk = 0,018 x 44 = 0,79 gr

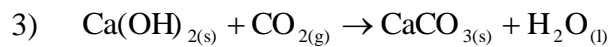
CaO yang dihasilkan digunakan digunakan untuk reaksi (2).



Dari reaksi (1) CaO yang dihasilkan adalah 0,018 mol maka menurut perbandingan stoikiometri:

- mol Ca(OH)₂ yang terbentuk = 0,018 mol
- massa Ca(OH)₂ yang terbentuk = 0,018 x 74 = 1,33 gr
- mol H₂O yang bereaksi = 0,018 mol
- massa H₂O yang bereaksi = 0,018 x 18 = 0,32 gr

Ca(OH)₂ yang terbentuk ini digunakan untuk reaksi (3).



	1	1	1	1
BM	74	44	100	18

Dari reaksi (2) dihasilkan 0,018 mol Ca(OH)₂ sehingga menurut perbandingan stoikiometri :

- mol CO₂ yang bereaksi = 0,018 mol
- massa CO₂ yang bereaksi = 0,018 x 44 = 0,79 gr
- mol H₂O yang terbentuk = 0,018 mol
- massa H₂O yang terbentuk = 0,01 x 18 = 0,32 gr
- mol CaCO₃ presipitat yang terbentuk = 0,018 mol
- massa CaCO₃ presipitat yang terbentuk = 0,018 x 100 = 1,8 gr

Tabel 2.3 Harga Bahan Baku dan Produk pada Proses Karbonasi

Bahan baku	Harga (per gram)	Produk	Harga (per gram)
CaCO ₃ natural	0,0000472 US\$	CaO	0,000114 US\$
CaO	0,000114 US\$	CO ₂	0,00021 US\$
CO ₂	0,00021 US\$	Ca(OH) ₂	0,00021 US\$
Ca(OH) ₂	0,00021 US\$	CaCO ₃ presipitat	0,000343 US\$

Sehingga dari *overall process*, profit kasarnya:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya bahan baku} &= (\text{harga CaCO}_3 \text{ natural} \times \text{massa CaCO}_3 \text{ natural}) + \\
 &\quad (\text{harga CaO} \times \text{massa CaO}) + (\text{harga Ca(OH)}_2 \times \\
 &\quad \text{massa Ca(OH)}_2) + (\text{harga CO}_2 \times \text{massa CO}_2) \\
 &= (0,0000472 \text{ US\$/gr} \times 1,8 \text{ gr}) + (0,000114 \text{ US\$/gr} \times 1 \text{ gr}) \\
 &\quad + (0,00021 \text{ US\$/gr} \times 1,33 \text{ gr}) + (0,00021 \text{ US\$/gr} \times 0,79 \text{ gr}) \\
 &= 0,000644 \text{ US\$}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Harga jual produk} &= (\text{harga CaO} \times \text{massa CaO}) + (\text{harga CO}_2 \times \text{massa CO}_2) \\
 &\quad + (\text{harga Ca(OH)}_2 \times \text{massa Ca(OH)}_2) \\
 &\quad + (\text{harga CaCO}_3 \text{ precipitated} \times \text{massa CaCO}_3 \text{ precipitated}) \\
 &= (0,000114 \text{ US\$/gr} \times 1 \text{ gr}) + (0,00021 \text{ US\$/gr} \times 0,79 \text{ gr}) \\
 &\quad + (0,00021 \text{ US\$/gr} \times 1,33 \text{ gr}) \\
 &\quad + (0,000343 \text{ US\$/gr} \times 1,8 \text{ gr}) \\
 &= 0,00118 \text{ US\$}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Profit} &= \text{Biaya bahan baku} - \text{Harga jual produk} \\
 &= 0,00118 \text{ US\$} - 0,000644 \text{ US\$} \\
 &= 0,0005326 \text{ US\$} \\
 &= 5,326 \times 10^{-5} \text{ US\$}
 \end{aligned}$$

B. Pemilihan Proses

Dari tiga proses pembuatan PCC, perbandingan proses dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.4. Perbandingan Proses Pembuatan PCC

Pembanding	Proses <i>Double Decomposition</i>	Proses <i>Lime Soda</i>	Proses Karbonasi
Temperatur reaksi	65°C	55°C	30-60° C
Tekanan operasi	atmosferis	atmosferis atau bertekanan	atmosferis atau 2-10 atm
Konversi	80%	< 90 %	95 %
Profit kasar	2,94x10 ⁻⁵ US\$	1,675x10 ⁻⁵ US\$	5,326x10 ⁻⁵ US\$
Bahan baku	CaCl ₂	Na ₂ CO ₃	CaCO ₃ (batu kapur)

Sehingga untuk pembuatan PCC proses yang dipilih adalah karbonasi. Dibandingkan dengan dua proses lainnya, karbonasi memiliki beberapa kelebihan yaitu:

1. Bahan baku murah dan banyak terdapat di Indonesia.
2. Produk yang dihasilkan memiliki kemurnian tinggi.
3. Diantara ketiga proses, memiliki profit yang jauh lebih besar.

C. Uraian Proses

Proses pembuatan PCC dengan metode karbonasi terdiri dari tiga tahap, yaitu kalsinasi, *slaking*, dan karbonasi.

1. Kalsinasi

Pada tahap kalsinasi, batu kapur yang telah dihancurkan dan diayak dibakar di dalam *lime kiln*. Di dalam *kiln* terjadi dekomposisi (kalsinasi)

batu kapur menjadi kalsium oksida dan karbon dioksida. Kalsinasi dapat berlangsung pada temperatur 825-1500°C.



Kiln yang digunakan pada tahap kalsinasi ini adalah jenis *rotary kiln*. *Rotary kiln* merupakan kiln yang paling umum, berbentuk silinder panjang, dimana di dalamnya *limestone* dan gas pembakar bertemu secara *counter current*.

Tahap kalsinasi ini berlangsung sekitar 2 jam. Selain untuk mendekomposisi batu kapur menjadi CaO dan CO₂, kalsinasi juga berfungsi untuk menghilangkan bahan organik yang terdapat dalam batu kapur.

2. *Slaking*

Kalsium oksida kering yang diperoleh dari proses kalsinasi kemudian dihidrasi (*slaking*) dengan air pada temperatur 70 °C untuk menghasilkan *slurry* Ca(OH)₂. Produksi *slurry* ini diawali dengan mengangkut *lime* (CaO) menuju sebuah *slaker tank* yang dilengkapi dengan *high shear mixing agitator* setelah ditambahkan air pada temperatur yang diinginkan sehingga diperoleh kandungan Ca(OH)₂ sebesar 5-70% berat. Reaksi yang terjadi:

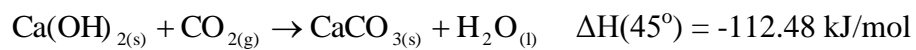


Slurry yang terbentuk terdiri dari kalsium hidroksida tak larut, ion kalsium (Ca²⁺) dan ion hidroksida (OH⁻). Konsentrasi ion kalsium dalam *slurry* bergantung pada batas kelarutan pelarut, yaitu menurun seiring kenaikan

temperatur. Sebelum memasuki tahap karbonasi, *slurry* disaring untuk menghilangkan pengotor yang berasal dari batu kapur.

3. Karbonasi

Slurry dari tahap *slaking* yang telah disaring kemudian diumpankan pada reaktor tiga fasa tangki berpengaduk. Reaktor ini dapat dioperasikan pada kondisi atmosferis maupun bertekanan. Di dalam reaktor ini kalsium hidroksida direaksikan dengan gas karbon dioksida.



Ukuran partikel, distribusi ukuran partikel, bentuk partikel dan perubahan sifat permukaan kalsium karbonat dapat diatur dengan mengendalikan temperatur reaksi, tekanan parsial karbon dioksida, laju alir karbon dioksida, konsentrasi *slurry* dan kecepatan agitator.

Sumber gas CO₂ untuk tahap karbonasi biasanya berasal dari pembangkit energi, *recovery kiln*, atau *lime kiln*. Gas tersebut didinginkan dan di-*scrub* sebelum dikompres ke dalam reaktor karbonasi. Selama penggelembungan melewati *slurry*, gas CO₂ terlarut dalam air. Di dalam reaktor, mula-mula *slurry* memiliki pH 12 atau lebih, tetapi kemudian menurun selama reaksi berlangsung, terus menurun sehingga berada pada kesetimbangan pH 8 ± 1. Dengan menggunakan reaktor bertekanan, laju reaksi keseluruhan lebih besar bila dibandingkan dengan reaktor atmosferis karena kelarutan karbon dioksida lebih tinggi bila tekanan dinaikkan. Tekanan yang disarankan untuk reaktor karbonasi adalah 2-3 bar.

D. Pemilihan lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi suatu pabrik sangat dipengaruhi kegiatan industri yang akan dijalani, hal ini yang sangat erat kaitannya adalah mengenai kegiatan produksi dan distribusi. Perencanaan penentuan lokasi pabrik yang baik akan dapat menekan biaya produksi dan biaya distribusi ke titik minimum.

Atas dasar tersebut, pabrik pembuatan PCC ini direncanakan berlokasi di daerah Baturaja, Palembang. Adapun pertimbangan dalam penentuan lokasi ini adalah sebagai berikut:

1. Persediaan bahan baku

Bahan baku yang digunakan pada pabrik pembuatan sodium karbonat adalah berupa garam yang diimpor dari Australia. Batu kapur dapat diperoleh dari gunung kapur Baturaja, Palembang dan gas CO₂ diperoleh dari kalsinasi batu kapur pada proses ini. Pemilihan lokasi ini sangat cocok karena dekat dengan bahan baku.

2. Pemasaran hasil produksi

Hasil produksi digunakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri yaitu untuk bahan baku pembuatan kaca/*glass*, deterjen dan sabun, *metals* dan *mining*, kertas dan pulp, serta bahan kimia.

3. Utilitas

Kebutuhan air untuk proses dan keperluan lainnya cukup tersedia karena lokasi pabrik berada di dekat sungai Ogan dan Komering yang merupakan salah satu anak sungai besar Musi.

4. Tenaga Kerja

Tenaga kerja tersedia cukup banyak dari daerah sekitar lokasi, sedangkan tenaga ahli diperoleh dari perguruan tinggi. Hal ini dikarenakan daerah ini adalah zona industri, dan mudah untuk mencari tenaga kerja karena banyak pendatang pencari kerja juga terdapat banyak tenaga lokal yang cukup memadai.

5. Letak Geografis

Lokasi pabrik berada di daerah yang cukup stabil dengan temperatur udara sekeliling berkisar 26 °C - 32 °C. Bencana alam seperti gempa bumi, tanah longsor maupun banjir jarang terjadi sehingga memungkinkan operasi berjalan lancar.

6. Transportasi

Sarana transportasi untuk pengangkutan hasil produksi dapat melalui angkutan darat, karena pabrik dekat dengan jalan raya dan kereta api. Pengangkutan juga dapat melewati jalur laut, karena pada daerah dibangunnya pabrik ini ada pelabuhan Palembang yang merupakan pelabuhan sungai. Dengan demikian akan menjamin lancarnya proses pemasaran karena tersedianya sarana transportasi yang memadai.

7. Limbah Industri

Limbah hasil produksi PCC terdiri dari 3 jenis yaitu limbah gas, limbah cair, dan limbah padat. Limbah gas berupa gas karbondioksida yang tidak terpakai dalam reaksi. Gas karbondioksida berasal dari hasil reaksi kalsinasi. Untuk limbah cair berasal dari *sludge* keluaran *Screen* dan *Venturi Scrubber* yang merupakan campuran impuritis dalam proses berupa Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 serta MgO . Limbah yang dihasilkan tersebut akan diproses dalam unit utilitas.