

II. DESKRIPSI PROSES

A. Jenis-jenis Proses Pembuatan Gypsum

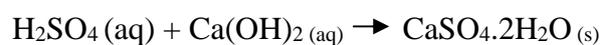
Untuk pembuatan gypsum terdiri dari tiga jenis proses, yaitu:

2.1 Pembuatan Gypsum dari *Gypsum Rock*

Proses pembuatan gypsum dari *rock* yaitu dengan cara menghancurkan batu-batuan gypsum yang telah diperoleh dari daerah pegunungan. Penghancuran batu-batuan ini dengan menggunakan alat *primary crusher* kemudian diayak agar diperoleh batuan yang halus. Setelah diayak sebagian masuk ke *sink float* untuk membersihkan batu-batuan dari kotoran, kemudian masuk dalam *secondary crusher* agar batu-batuan yang belum halus dapat dihancurkan lagi dan sebagian lagi masuk dalam *fine grinding* untuk digiling menjadi butiran yang halus. Setelah dari *fine grinding* butiran yang halus di *calcining* dan menghasilkan *board plaster*, dan sebagian setelah di *calcining* masuk ke *ball mill* dan menghasilkan *bagged plaster*.

(W.L. Faith dkk,1957)

2.2 Proses Netralisasi

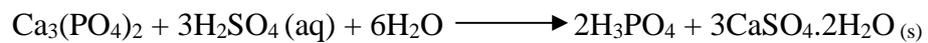


Proses pembuatan gypsum jenis ini, yaitu dengan cara $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dipompa ke dalam reaktor dan ditambahkan H_2SO_4 sehingga akan terjadi reaksi

netralisasi. Setelah itu produk dimasukkan dalam *thickener* untuk menghilangkan impuritas. Kemudian dimasukkan dalam *dryer* untuk mengurangi kadar air, untuk mendapatkan gipsum yang seragam ukurannya digunakan *ballmill*.

(Kirk-Othmer, 4ed, Vol 4,1978)

2.3 Proses Phosphogypsum



Batuan fosfat dimasukkan kedalam reaktor. Asam sulfat kemudian dipompakan ke reaktor untuk direaksikan dengan batuan fosfat. Selain asam sulfat dan batuan fosfat kedalam reaktor juga dimasukkan asam fosfat *recycle* yang berasal dari filter.

Reaksi yang terjadi dalam reaktor adalah reaksi eksotermis menghasilkan *slurry phosphogypsum* kemudian masuk ke filter. Keluaran dari filter merupakan produk asam fosfat yang memiliki kadar 29% P_2O_5 . Asam fosfat ini kemudian dipekatkan dengan menggunakan evaporator.

(George T. Austin, 1996)

Sebelum menentukan pilihan proses yang tepat perlu adanya studi perbandingan dari beberapa proses alternatif baik dari aspek teknis maupun ekonomis.

B. Pemilihan Proses

1. Perhitungan Ekonomi Kasar Berdasarkan Bahan Baku yang diperlukan

Harga-harga bahan baku dan produk untuk kedua proses dapat dilihat pada tabel berikut :

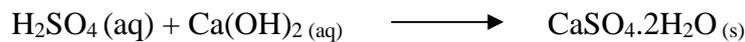
Tabel 2.1 Harga Bahan Baku dan Produk

No.	Bahan	BM (Kg/kmol)	Harga (\$/kg)
1	Kalsium Hidroksia (Ca(OH) ₂)	74,09	0,065
2	Asam Sulfat (H ₂ SO ₄)	98,08	0,094
3	Batu Pospat (Ca ₃ (PO ₄) ₂)	310,20	1,786
4	Asam Pospat (H ₃ PO ₄)	98	0,45
5	Gypsum (CaSO ₄ .2H ₂ O)	172,17	5,415

(Sumber : icispricing.com)

a. Proses Netralisasi

Reaksi :



Diketahui:

Kapasitas Produksi : 300.000.000 kg/tahun

Jika kapasitas produksi 300.000.000 kg/tahun, maka :

$$300.000.000 \text{ kg/tahun} = \frac{300.000.000 \text{ kg/tahun}}{172,17 \text{ kmol/tahun}} = 1.742.463 \text{ kmol/tahun}$$

Dari stoikiometri untuk memperoleh Gypsum sebanyak 1.742.463 kmol/tahun, dibutuhkan :

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{SO}_4 &= \frac{1}{1} \times 1.742.463 \text{ kmol/tahun} \\ &= 1.742.463 \text{ kmol/tahun} \\ &= 1.742.463 \text{ kmol/tahun} \times 98,08 \text{ kg/kmol} \\ &= 170.900.854 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Price/year} &= \$ 0,094 / \text{kg} \times 170.900.854 \text{ kg/tahun} \\ &= \$ 16.064.680 / \text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ca(OH)}_2 &= \frac{1}{1} \times 1.742.463 \text{ kmol/tahun} \\
 &= 1.742.463 \text{ kmol/tahun} \\
 &= 1.742.463 \text{ kmol/tahun} \times 74,09 \text{ kg/kmol} \\
 &= 129.104.374 \text{ kg/tahun} \\
 \text{Price/year} &= \$ 0,065 /\text{kg} \times 129.104.374 \text{ kg/tahun} \\
 &= \$ 8.391.784 /\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Total biaya bahan baku = \$ 24.456.465 /tahun

Harga Produksi Gypsum dengan proses netralisasi :

$$\text{Gypsum} = \frac{\$ 24.456.465 /\text{tahun}}{300.000.000 \text{ kg/tahun}} = \$ 0,0815 /\text{kg}$$

Jadi, harga produksi Gypsum = \$ 0,0815 /kg

b. Proses Phosphogypsum

Reaksi :



Diketahui:

Kapasitas Produksi : 300.000.000 kg/tahun

Jika kapasitas produksi 300.000.000 kg/tahun, maka :

$$300.000.000 \text{ kg/tahun} = \frac{300.000.000 \text{ kg/tahun}}{172,17 \text{ kmol/tahun}} = 1.742.463 \text{ kmol/tahun}$$

Dari stoikiometri untuk memperoleh Gypsum sebanyak 1.742.463

kmol/tahun, dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 \text{H}_2\text{SO}_4 &= \frac{3}{3} \times 1.742.463 \text{ kmol/tahun} \\
 &= 1.742.463 \text{ kmol/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.742.463 \text{ kmol/tahun} \times 98,08 \text{ kg/kmol} \\
 &= 170.900.854 \text{ kg/tahun} \\
 \text{Price/year} &= \$ 0,094 \text{ /kg} \times 170.900.854 \text{ kg/tahun} \\
 &= \$ 16.064.680 \text{ /tahun} \\
 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 &= \frac{1}{3} \times 1.742.463 \text{ kmol/tahun} \\
 &= 580.821 \text{ kmol/tahun} \\
 &= 580.821 \text{ kmol/tahun} \times 310,20 \text{ kg/kmol} \\
 &= 180.170.761 \text{ kg/tahun} \\
 \text{Price/year} &= \$ 1,786 \text{ /kg} \times 180.170.761 \text{ kg/tahun} \\
 &= \$ 321.784.980 \text{ /tahun}
 \end{aligned}$$

Total biaya bahan baku = \$ 337.849.660 /tahun

Harga Produksi Gypsum dengan proses netralisasi :

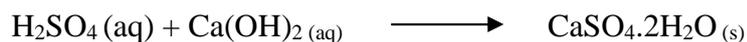
$$\text{Gypsum} = \frac{\$ 337.849.660 \text{ /tahun}}{300.000.000 \text{ kg/tahun}} = \$ 1,126 \text{ /kg}$$

Jadi, harga produksi Gypsum = \$ 1,126 /kg

2. Berdasarkan Perhitungan Ekonomi Kasar

a. Proses Netralisasi

Reaksi :



$$\text{Basis: } 1 \text{ kg CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ (s)} \text{ terbentuk} = \frac{1 \text{ kg}}{172,17 \text{ kg/kmol}} = 0,005808 \text{ kmol}$$

Diketahui : Konversi (X) = 0,95

$$\text{Mol produk} = \text{mol Ca(OH)}_2 \text{ yang bereaksi} = N_{\text{ao}} \cdot X$$

$$N_{\text{ao.X}} = 0,005808 \text{ kmol}$$

$$N_{\text{a}} = \frac{0,005808 \text{ kmol}}{0,95} = 0,00611 \text{ kmol}$$

$$M_{\text{a}} = 0,00611 \text{ kmol} \times 74,09 \text{ kg/kmol}$$

$$= 0,45 \text{ kg}$$

$$\text{Mol mula-mula } \text{H}_2\text{SO}_4 = \frac{1}{1} \times 0,00611 \text{ kmol} = 0,00611 \text{ kmol}$$

$$M_{\text{b}} = 0,00611 \text{ kmol} \times 98,08 \text{ kg/kmol}$$

$$= 0,60 \text{ kg}$$

Harga penjualan produk utama :

$$\text{Gypsum} = 1 \text{ kg} \times \$ 3,415 / \text{kg} = \$ 3,415$$

Harga pembelian bahan baku :

$$\text{Ca(OH)}_2 = 0,45 \text{ kg} \times \$ 0,065 / \text{kg} = \$ 0,029$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 = 0,60 \text{ kg} \times \$ 0,094 / \text{kg} = \$ 0,056$$

$$\text{Total harga pembelian bahan baku} = \$ 0,086$$

Profit / keuntungan = harga jual produk – harga bahan baku

$$= \$ 3,415 - \$ 0,086$$

$$= \$ 3,329$$

b. Proses Phosphogypsum

Reaksi :



$$\text{Basis: } 1 \text{ kg } \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \text{ terbentuk} = \frac{1 \text{ kg}}{172,17 \text{ kg/kmol}} = 0,005808 \text{ kmol}$$

Diketahui : Konversi (X) = 0,60

$$\text{Mol produk} = \text{mol H}_2\text{SO}_4 \text{ yang bereaksi} = N_{\text{ao}} \cdot X$$

$$N_{\text{ao}} \cdot X = 0,005808 \text{ kmol}$$

$$N_{\text{a}} = \frac{0,005808 \text{ kmol}}{0,6} = 0,00968 \text{ kmol}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{a}} &= 0,00968 \text{ kmol} \times 98,08 \text{ kg/kmol} \\ &= 0,95 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Mol mula-mula Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = \frac{1}{3} \times 0,00968 \text{ kmol} = 0,00322 \text{ kmol}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{b}} &= 0,00322 \text{ kmol} \times 310,20 \text{ kg/kmol} \\ &= 1 \text{ kg} \end{aligned}$$

Harga penjualan produk utama :

$$\text{Gypsum} = 1 \text{ kg} \times \$ 3,415 / \text{kg} = \$ 3,415$$

Harga pembelian bahan baku :

$$\text{H}_2\text{SO}_4 = 0,95 \text{ kg} \times \$ 0,094 / \text{kg} = \$ 0,089$$

$$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 1 \text{ kg} \times \$ 1,786 / \text{kg} = \$ 1,788$$

$$\text{Total harga pembelian bahan baku} = \$ 1,877$$

Profit / keuntungan = harga jual produk – harga bahan baku

$$= \$ 3,415 - \$ 1,877$$

$$= \$ 3,538$$

3. Berdasarkan Perhitungan Entalpi dan Energi Bebas Gibbs:

Diketahui data-data sebagai berikut

Bahan	\overline{H}^{of} (kkal/mol)	\overline{G}^{of} (kkal/mol)
Ca(OH) ₂	-239,2	-207,9
Ca ₃ (PO ₄) ₂	-984,9	-928,5
H ₂ SO ₄	-193,69	-164,93
H ₂ O	-68,3174	-56,689

H ₃ PO ₄	-309,32	-270
CaSO ₄ .2H ₂ O	-479,33	-425,47

$$\Delta H_r = \Delta H^{\circ}_f \text{ produk} - \Delta H^{\circ}_f \text{ reaktan}$$

$$\Delta G_r = \Delta G^{\circ}_f \text{ produk} - \Delta G^{\circ}_f \text{ reaktan}$$

Keterangan:

$$\Delta H^{\circ}_f = \text{Entalpi pembentukan standar}$$

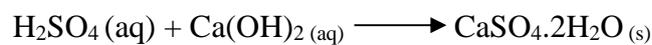
$$\Delta H_r = \text{Entalpi reaksi}$$

$$\Delta G^{\circ}_f = \text{Energi bebas Gibbs standar}$$

$$\Delta G_r = \text{Energi bebas Gibbs}$$

a. Proses Netralisasi

Reaksi :



$$\Delta H_r = \Delta H^{\circ}_f \text{ Produk} - \Delta H^{\circ}_f \text{ Reaktan}$$

$$= \Delta H^{\circ}_f \text{ CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \Delta H^{\circ}_f (\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2)$$

$$= -479,33 - (-193,69 - 239,2)$$

$$= -46,44 \text{ kkal/mol}$$

$$\Delta G_r = \Delta G^{\circ}_f \text{ Produk} - \Delta G^{\circ}_f \text{ Reaktan}$$

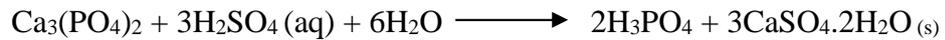
$$= \Delta G^{\circ}_f \text{ CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \Delta G^{\circ}_f (\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2)$$

$$= -425,47 - (-164,93 - 207,9)$$

$$= -52,64 \text{ kkal/mol}$$

b. Proses Phosphogypsum

Reaksi :



$$\begin{aligned} \Delta H_r &= \Delta H^{\text{of}} \text{ Produk} - \Delta H^{\text{of}} \text{ Reaktan} \\ &= \Delta H^{\text{of}} ((2x\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + (2x\text{H}_3\text{PO}_4)) - \Delta H^{\text{of}} (\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \\ &\quad (3x\text{H}_2\text{SO}_4)) \\ &= ((2x-479,33) + (2x-309,32)) - (-984,9 + (3x-193,69)) \\ &= -2056,63 - (-1975,8744) \\ &= -80,7556 \text{ kkal/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G_r &= \Delta G^{\text{of}} \text{ Produk} - \Delta G^{\text{of}} \text{ Reaktan} \\ &= \Delta G^{\text{of}} ((2x\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + (2x\text{H}_3\text{PO}_4)) - \Delta G^{\text{of}} (\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \\ &\quad (3x\text{H}_2\text{SO}_4)) \\ &= ((2x-425,47) + (2x-270)) - (-928,5 + (3x-164,93)) \\ &= -1816,41 - (-1763,424) \\ &= -52,986 \text{ kkal/mol} \end{aligned}$$

Tabel 2.3. Perbandingan proses produksi Gypsum

No	Uraian	Proses 1	Proses 2	Proses 3
1	Bahan baku	<i>Gypsum rock</i>	Ca(OH) ₂ , H ₂ SO ₄	Batu pospat, H ₂ SO ₄
2	Kondisi Operasi	-	40 °C, 1 atm	95 °C, 1 atm
3	Konversi		95%	60%

4	ΔH°_f * (kkal/mol)	-	- 46,44	-80,7556
5	Energi Gibbs * (kkal/mol)	-	- 52,64	-52,986
6	Harga Produksi (\$/kg) *	-	0,0815	1,126
7	Profit * (\$)	-	5,329	3,538
8	Produk	CaSO ₄ .2H ₂ O	CaSO ₄ .2H ₂ O	CaSO ₄ , H ₃ PO ₄

* Perhitungan

Proses yang dipilih dalam prarancangan pendirian pabrik Kalsium Sulfat Dihydrate ini adalah proses 2 yaitu Proses Pembuatan dengan Ca(OH)₂ dan H₂SO₄ dengan pertimbangan bahan baku mudah didapat, kondisi operasi rendah serta keuntungan lebih besar dari proses phosphogypsum.

C. Uraian Proses

Proses Pembuatan CaSO₄.2H₂O (Gypsum) dengan proses pembuatan dari Ca(OH)₂ dan H₂SO₄ atau disebut juga dengan proses netralisasi , dapat dibagi dalam beberapa tahap berikut :

1. Reaksi

Asam Sulfat dipompakan oleh pompa dari tangki ke Reaktor. Reaksi yang berlangsung dalam Reaktor adalah sebagai berikut:



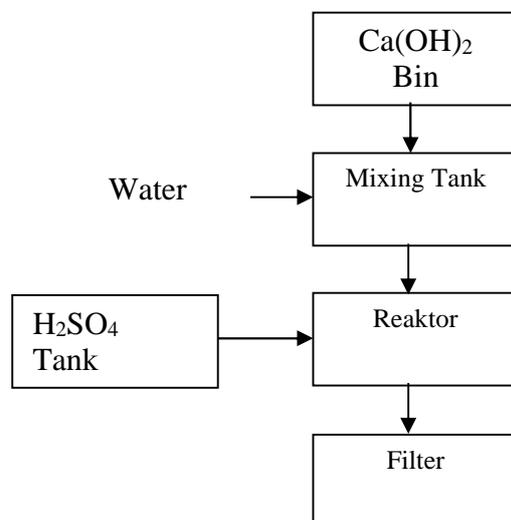
Kondisi operasi didalam reaktor adalah pada suhu 40°C dan tekanan 1 atm dan tanpa menggunakan katalis. Slurry yang terbentuk pada reaktor dialirkan ke Filter .

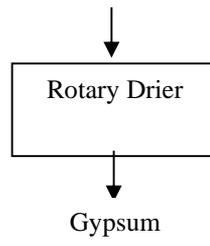
2. Penyaringan

Slurry yang keluar dari reaktor merupakan campuran antara kristal *Calcium Sulfate Dihydrate* (Gypsum) dengan larutannya, yang kemudian dipisahkan dengan menggunakan Filter. Material padatan yang dihasilkan dari filter dibawa oleh screw conveyor ke Rotary Drier untuk dikeringkan, sedangkan fiitratnya (liquid) akan diteruskan ke proses utilitas.

3. Pengeringan dan Penghalusan

Untuk mengeringkan produk Gypsum sehingga memiliki kadar air 3% berat, digunakan flow Rotary Drier. Pengeringan dilakukan pada suhu 110°C , Produk yang keluar dan Rotary Drier diangkut oleh Screw Conveyor ke Grinder untuk dihaluskan dengan ukuran artikel rata-rata 42 mesh. Produk hasil penggilingan diangkut oleh Bucket Elevator ke Storage Tank sebagai produk akhir dan siap untuk dipasarkan.





Gambar 2.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Gypsum dari Kalsium Hidroksida