

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.1.1 Spesifikasi Bahan Baku

a) Kalsium Karbonat

Rumus Molekul	: CaCO_3
Berat Molekul	: 100,09 gr/mol
Wujud	: Padat
Titik Lebur	: 825°C
pH	: 9,5-10,5
Spesific Gravity	: 2,711
Densitas	: 2719 kg/m ³
Kemurnian	: 99,38%
MgCO_3	: 0,40%
SiO_2	: 0,04%
Al_2O_3	: 0,02%
Na_2O	: 0,05%
H_2O	: 0,10%
Nama lain	: Batu kapur

Menurut (PT Pentawira Agraha Sakti, 2013), kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai bahan baku berasal dari hasil penambangan yang telah melalui proses penggilingan sehingga berbentuk serbuk halus dengan kadar air rendah. Spesifikasi bahan baku yang digunakan yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.1 Spesifikasi Kalsium Karbonat PT Pentawirya Agraha Sakti (PT Pentawirya Agraha Sakti, 2013)

No.	Item	Metode	Spesifikasi
1	CaO	Titrimetri	55,54
2	MgO	Titrimetri	0,16
3	SiO_2	Gravimetri	0,06
4	Al_2O_3	AAS	0,05
5	Fe_2O_3	AAS	0,04

b) Asam Sulfat

Berdasarkan data (MSDS, 2009) spesifikasi asam sulfat yaitu:

Rumus molekul	: H_2SO_4
Berat Molekul	: 98,079 gr/mol
Wujud	: Cairan
Titik Lebur	: $10,4^\circ\text{C}$
Titik didih	: 290°C
pH	: 1
Suhu Penguraian	: 340°C
Densitas	: $1,84 \text{ gr/cm}^3$
Kemurnian	: 95-98%
Tekanan Uap	: 0,0001 hPa pada 20°C
Nama Lain	: <i>Hydrogen sulphate</i>

Menurut PT. petrokimia Gresik dengan standar SNI 06-0030-1996 spesifikasi asam sulfat yaitu sebagai berikut:

Rumus molekul	: H_2SO_4
Berat Molekul	: 98,079 gr/mol
Wujud	: Cairan
Kemurnian	: minimal 98%
Chlorida (Cl)	: maksimal 10 ppm
Nitrat (NO_3)	: maksimal 5 ppm
Besi (Fe)	: maksimal 50 pm
Timbal (Pb)	: maksimal 50 ppm

c) Air

Berdasarkan data (MSDS, 2006) spesifikasi air yaitu:

Rumus Molekul	: H_2O
Berat Molekul	: 18 gr/mol
Warna	: Tidak berwarna

Wujud	: Cairan
Titik Didih	: 100°C
pH	: 1
Densitas	: 1 gr/ cm ³
Tekanan Uap	: 17,5 mmHg pada 20°C

2.1.2 Spesifikasi Produk Utama

a) Gypsum

Berdasarkan data (MSDS, 2018) spesifikasi gipsum yaitu:

Rumus Molekul	: CaSO ₄ .2H ₂ O
Berat Molekul	: 172,17 g/mol
Wujud	: Padatan
Titik Lebur	: 150°C
Densitas	: 2,32 gr/mol
pH	: 7
Kemurnian	: 91-92%
Kelarutan dalam air	: 0,21 g/l
Nama Lain	: Kalsium Sulfat Dihidrat

2.1.3 Spesifikasi Produk Samping

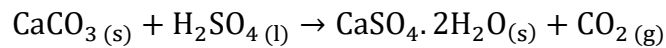
a) CO₂

Rumus Molekul	: CO ₂
Berat Molekul	: 44,01 g/mol
Densitas	: 1,562 g/mL (solid 1 atm)
	: 0,770 g/mL (liquid 56 atm)
	: 1977 g/L (gas 1 atm)
Titik Lebur	: -78°C
Titik Didih	: -57°C

2.2 Konsep Proses

2.2.1 Dasar Reaksi

Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) merupakan salah satu mineral yang umumnya berbentuk massa padat dengan dominan warna putih. Material ini sejak lama dimanfaatkan dalam berbagai sektor industri sebagai bahan baku. Secara kimiawi, komponen dalam gipsum memiliki kesamaan dengan komponen dengan kapur. Hal tersebut disebabkan oleh kalsium yang terkandung sebagai unsur pada kedua mineral tersebut. Akan tetapi, berbeda dengan kapur yang merupakan senyawa kalsium karbonat (CaCO_3), gipsum merupakan garam kalsium dengan struktur kimia kalsium sulfat dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Reaksi yang terjadi pada proses pembuatan gipsum sebagai berikut:



2.2.2 Mekanisme Reaksi

Proses sintesis gipsum dari batu kapur (CaCO_3) dan asam sulfat (H_2SO_4) yang termasuk dalam golongan senyawa anorganik, berlangsung melalui reaksi asidulasi. Reaksi asidulasi adalah suatu proses kimia yang memanfaatkan asam kuat seperti asam sulfat atau asam klorida sehingga mengubah senyawa fosfat yang terkandung dalam batuan fosfat menjadi bentuk yang lebih mudah larut (Sanjaya et al., 2023). Pada proses pembuatan gipsum, kalsium karbonat direaksikan dengan asam sulfat encer di dalam reaktor alir tangki berpengaduk dengan kondisi 93,3°C dan tekanan atmosfer. Reaksi ini mampu menghasilkan konversi pembentukan gypsum 90%. Rasio massa antara batu kapur dan asam sulfat yang dimasukkan ke reaktor adalah 1:2 (Key, 2003).

2.2.3 Fase Reaksi

Reaksi berlangsung dalam reaktor alir tangki berpengaduk pada fasa cair bersifat eksotermis atau menghasilkan panas ($\Delta H = \text{negatif}$).

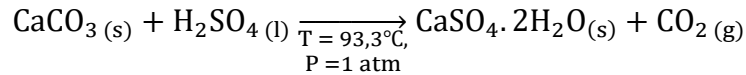
2.2.4 Kondisi Proses

Reaksi pembentukan gipsum dari batu kapur dan asam sulfat adalah reaksi padat dan cair dalam reaktor tangki alir berpengaduk (RATB) yang bersifat eksotermis pada kondisi operasi suhu 93,3°C atau 200°F dan tekanan 1 atmosfer.

(US 6,613,141 B2)

2.2.5 Tinjauan Termodinamika

Berdasarkan tinjauan termodinamika melalui data entalpi pembentukan, suatu reaksi dapat ditentukan. Apabila reaksi yang berlangsung melepas panas maka bersifat eksotermis. Sedangkan reaksi yang memerlukan panas bersifat endotermis. Serta menentukan arah reaksi antara reaksi dapat berbalik (*reversible*) atau tidak dapat berbalik (*irreversible*) pada proses pembentukan gipsium terjadi reaksi sebagai berikut:



Hal tersebut dapat diketahui dengan data pada tabel sebagai berikut: (Lide, 1982)

Tabel 2. 1 Harga (ΔH°_f) masing-masing komponen

Komponen	Berat Molekul (kg/kmol)	ΔH°_{f298} (kJ/mol)	ΔH°_{f298} (kcal/mol)
CaCO ₃	100,09	-1206,92	-288,46
H ₂ SO ₄	98,08	-813,989	-194,55
H ₂ O	18,02	-285,830	-68,32
CaSO ₄ ·2H ₂ O	172,17	-2022,63	-483,42
CO ₂	44,01	-393,509	-94,051

(Lide, 1982)

$$\Delta H^\circ_R = \Delta H^\circ_{f \text{ produk}} - \Delta H^\circ_{f \text{ reaktan}}$$

$$\Delta H^\circ_R = (\Delta H^\circ_f \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \Delta H^\circ_f \text{CO}_2) - (\Delta H^\circ_f \text{CaCO}_3 + \Delta H^\circ_f \text{H}_2\text{SO}_4 + \Delta H^\circ_f \text{H}_2\text{O})$$

$$= [(-483,42 + (-94,051))] - [(-288,47) + (-194,55) + (-68,32)] \text{ kcal/mol}$$

$$= -26,147 \text{ kcal/mol} \times 0,239005736$$

$$= -109,4 \text{ kJ/mol}$$

Diperoleh perhitungan ΔH°_R pada reaksi di reaktor menunjukkan nilai negatif, sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi tersebut bersifat eksotermis atau melepaskan panas ke lingkungan. Selanjutnya untuk mengetahui reaksi *reversible* atau *irreversible* yaitu dapat ditentukan dengan menghitung nilai dari energi bebas *gibbs* dengan perhitungan dan data berikut.

Tabel 2. 3 (ΔG°_f) masing-masing komponen (Lide, 1982)

Komponen	Berat Molekul (kg/kmol)	ΔH°_{f298} (kJ/mol)	ΔH°_{f298} (kcal/mol)
CaCO ₃	100,09	-1128,79	-269,79
H ₂ SO ₄	98,08	-690,003	-164,91
H ₂ O	18,02	-237,129	-56,68
CaSO ₄ .2H ₂ O	172,17	-1797,28	-429,42
CO ₂	44,01	-394,359	-94,254

$$\Delta G^\circ = \Delta G^\circ_{f \text{ produk}} - \Delta G^\circ_{f \text{ reaktan}}$$

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ &= (\Delta G^\circ_f \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \Delta G^\circ_f \text{CO}_2) - (\Delta G^\circ_f \text{CaCO}_3 + \Delta G^\circ_f \text{H}_2\text{SO}_4 + \Delta G^\circ_f \text{H}_2\text{O}) \\ &= [(-429,42 + (-94,254))] - [(-269,79) + (-164,91) + (-56,68)] \text{ kcal/mol} \\ &= -32,437 \text{ kcal/mol} \times 0,239005736 \\ &= -135,717 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Dari perhitungan yang didapat, reaksi pembentukan CaSO₄. 2H₂O menunjukkan nilai negatif sehingga disimpulkan bahwa reaksi berlangsung secara spontan. Untuk mengetahui reaksi berjalan secara reversible atau irreversible yaitu dengan menghitung nilai konstanta kesetimbangan (K) pada suhu 298,15 K seperti berikut.

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}\ln K &= \frac{\Delta G}{-RT} \\ &= \frac{-135,717}{8,314 \times 298,15} \times (-1) \\ &= e^{0,044564} \\ &= 1,045573\end{aligned}$$

Diperoleh harga K>1 yang menunjukkan bahwa reaksi pembentukan gipsum bersifat *irreversible*. Selain itu kenaikan suhu menyebabkan konstanta kesetimbangan (K)

naik cukup signifikan yang mana reaksi pembentukan gipsium semakin bergeser ke arah produk pada suhu yang lebih tinggi.

2.2.6 Tinjauan Kinetika Reaksi (k)

Berdasarkan (Rendel et al., 2019) nilai yield diketahui seperti berikut

$$y = mx + c$$

$$y = 1,51x + 1,31$$

Dimana:

$$\ln k = y$$

$$\ln k = 1,51$$

$$\ln A = c$$

$$\ln A = 1,31$$

$$\frac{Ea}{R} = m$$

$$\frac{1}{T} = x$$

Keterangan:

$$K = \text{Kecepatan reaksi (m/s)}$$

$$A = \text{Frekuensi tumbukan (m/s)}$$

$$Ea = \text{Energi aktivasi (kJ/mol)}$$

$$R = \text{Konstanta gas (8,3144 J/K.mol)}$$

Sehingga,

$$y = mx + c$$

$$y = 1,51x + 1,31$$

$$\ln k = \ln A \cdot e^{\left(-\frac{Ea}{RT}\right)}$$

$$\ln A = 1,31$$

$$A = 3,706$$

$$k = 3,706 \times e^{\frac{-98,2}{(8,314 \times 366,16)}}$$

$$k = 3,588$$

Maka nilai k yang diperoleh lebih dari satu ($k > 1$). Hal tersebut menyatakan bahwa reaksi berlangsung secara cepat.

2.3 Langkah Proses

2.3.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

a. Batuan Kapur (CaCO_3)

Kalsium karbonat disimpan dalam gudang penyimpanan dengan kondisi operasi suhu 30°C dan tekanan 1 atm. Kalsium karbonat yang berwujud padatan akan ditransfer menggunakan belt conveyer yang berwujud padatan akan ditransfer menggunakan *belt conveyor* dari gudang menuju *crusher* sehingga didapatkan ukuran sebesar 3 cm. Setelah itu kalsium karbonat dihancurkan lagi dan masuk ke dalam *hammer mill* hingga berukuran 200 mesh. Lalu dibawa menuju ke *vibrating screen* untuk memisahkan antara produk yang ukurannya sudah sesuai atau *oversize*. Batu kapur yang belum sesuai akan kembali masuk ke *crusher* untuk dihancurkan kembali. Batu kapur atau kalsium karbonat yang ukurannya sudah sesuai dibawa menuju reaktor menggunakan *screw conveyor*.

b. Asam Sulfat (H_2SO_4)

Sedangkan pada bahan baku kedua yaitu asam sulfat dengan konsentrasi 98%. Asam sulfat disimpan dalam tangki pada kondisi operasi suhu 30°C dan tekanan 1 atm.

2.3.2 Tahap Penyimpanan Bahan Baku

Asam sulfat yang digunakan memiliki kadar 98%. Asam sulfat disimpan dalam tangki penyimpanan dengan kondisi operasi suhu 30°C dan tekanan 1 atm. Kemudian asam sulfat dipompa ke dalam mixer dan diencerkan dengan menambahkan air hingga mencapai kadar 50%.

2.3.3 Tahap Pembentukan Produk

Pada tahap ini, batu kapur yang telah melewati *screening* dimasukkan ke dalam reaktor. Sedangkan, asam sulfat dipanaskan menggunakan *heat exchanger* sampai

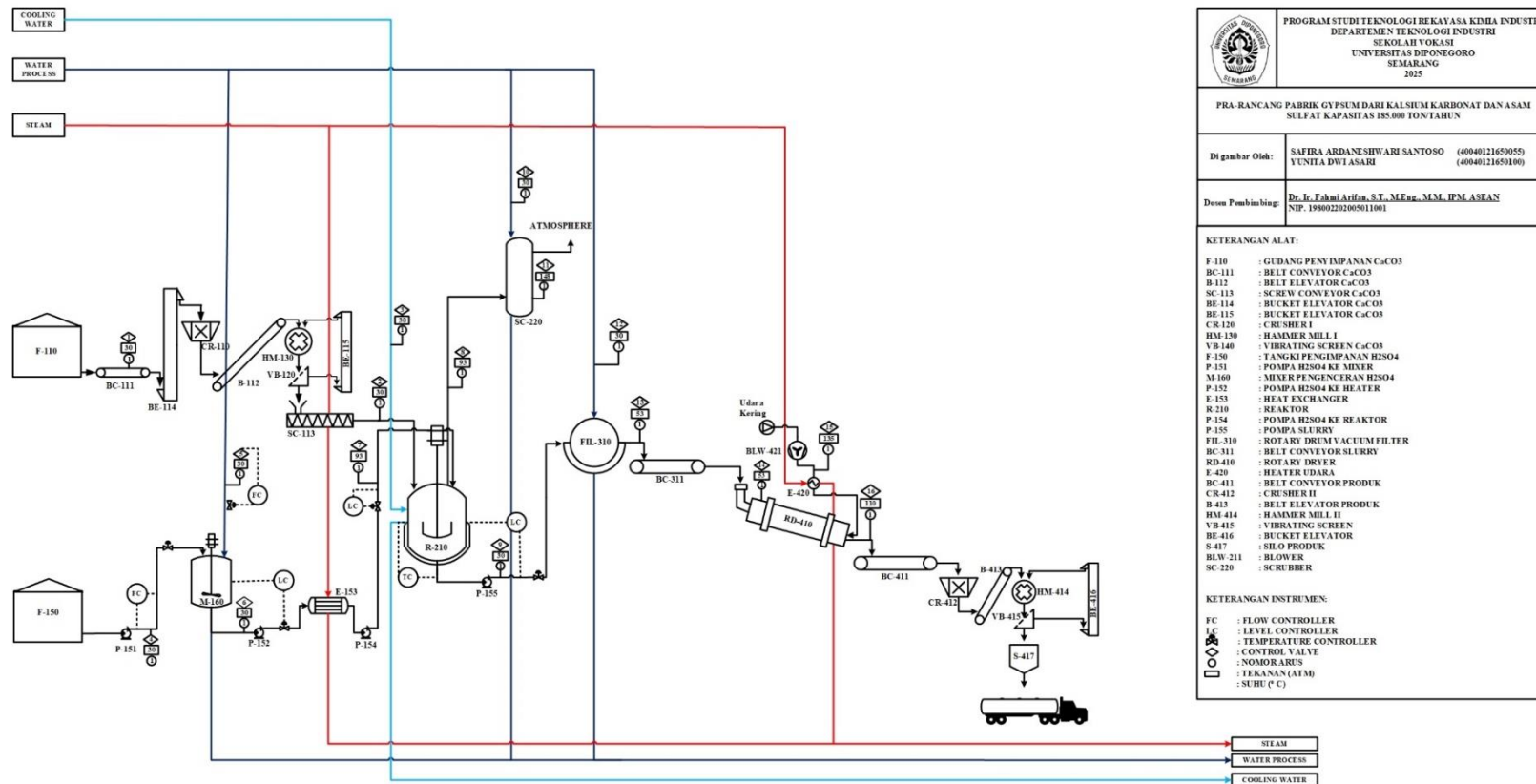
suhunya mencapai 93,33°C yang kemudian diteruskan ke reaktor. Reaktor yang digunakan yaitu Reaktor Tangki Alir Berpengaduk (RATB). Pada tekanan 1 atm, reaksi yang terjadi selama pembentukan produk berjalan secara eksotermis atau melepaskan panas dan suhu keluaran produk sebesar 93,33°C. Proses tersebut menghasilkan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan gas CO_2 (karbon dioksida). Karbon dioksida yang dihasilkan akan diserap oleh scrubber sebelum dibuang langsung ke lingkungan. Sementara itu, slurry yang dihasilkan akan dialirkan menuju *rotary drum vacuum filter*.

2.3.4 Tahap Pemisahan dan Pemurnian Produk

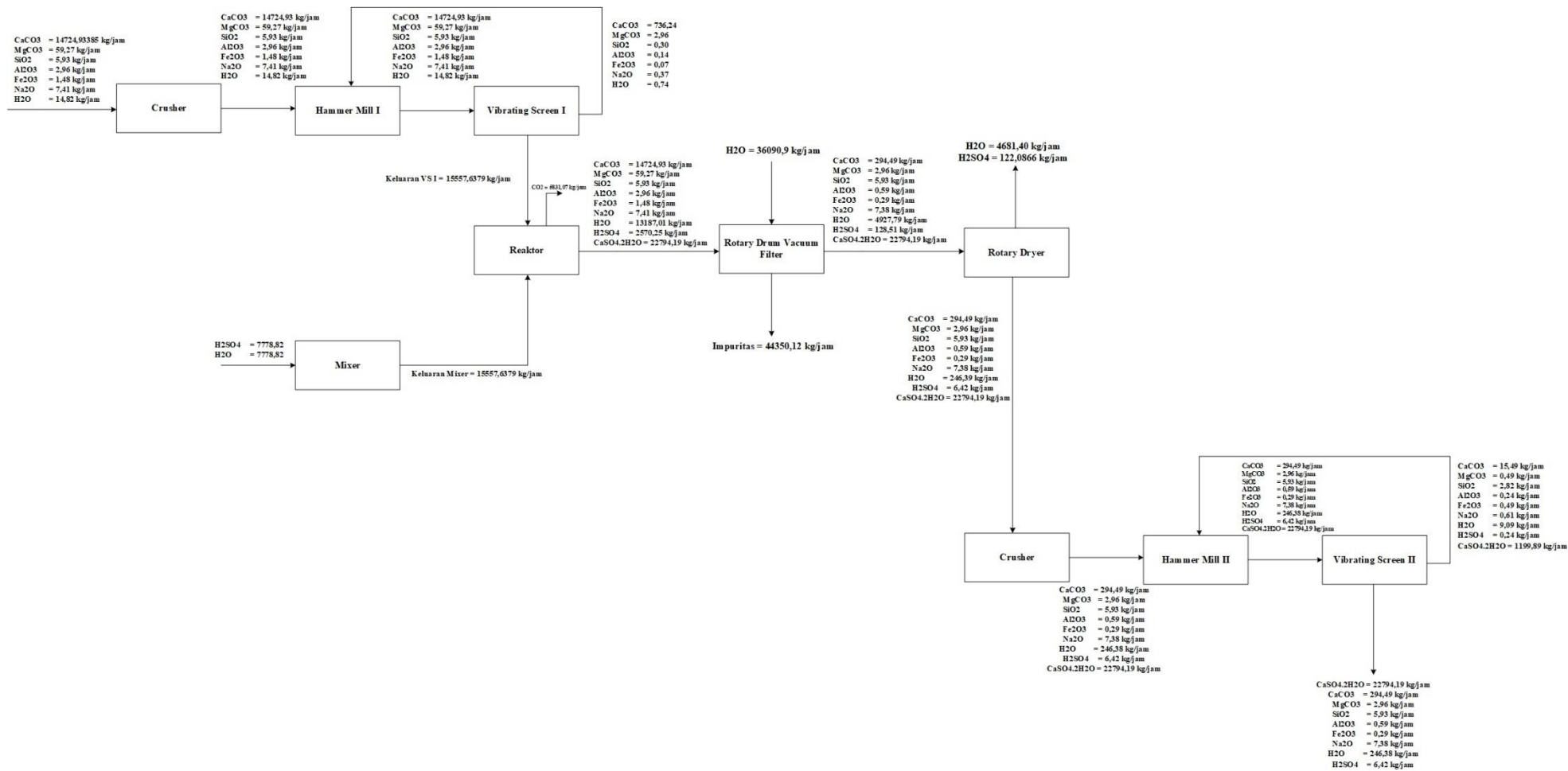
Slurry dialirkan menuju rotary drum vacuum filter untuk memisahkan cake dari filtrat yang masih mengandung air dan asam sulfat. *Cake* gipsum yang diperoleh akan dikeringkan menuju rotary dryer tipe direct counter current pada kondisi operasi suhu 105°C dan tekanan 1 atm. Produk keluaran rotary dryer memiliki kandungan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sebesar 92%. Kadar $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dipasaran adalah 91%. Produk gipsum kemudian dialirkan menuju crusher dan hammer mill kemudian di *screening* dengan sampai memperoleh ukuran yang sesuai yaitu 150-200 mesh. Produk keluar lalu disimpan pada gudang penyimpanan produk.

2.4 Proses Flow Diagram Gypsum

PRA-RANCANG PABRIK GYPSUM DARI KALSIUM KARBONAT DAN ASAM SULFAT KAPASITAS 185.000 TON/TAHUN



Gambar 2.1 Proses Flow Diagram Pabrik Gypsum



Gambar 2.2 Diagram Neraca Massa

2.5 Neraca Massa dan Neraca Panas

2.5.1 Neraca Massa Energi

Ditetapkan:

Kapasitas Pabrik = 185.000 ton/tahun
1 tahun produksi = 330 hari
Basis = 1 jam
Kapasitas = 560.606,0606 kg/hari
= 14724,93385 kg/jam

Tabel 2. 2 Komponen Batu Kapur

Komponen	Massa (%)
CaCO ₃	99,38%
MgCO ₃	0,40%
SiO ₂	0,04%
Al ₂ O ₃	0,02%
Fe ₂ O ₃	0,01%
Na ₂ O	0,05%
H ₂ O	0,10%
Total	100,00%

A. Neraca Massa Crusher

Tabel 2. 3 Neraca Massa Energi Crusher

Komponen	Massa (%)	INPUT F1	OUTPUT F2
CaCO ₃	99,38%	14724,93385	14724,93385
MgCO ₃	0,40%	59,267192	59,267192
SiO ₂	0,04%	5,9267192	5,9267192

Al ₂ O ₃	0,02%	2,9633596	2,9633596
Fe ₂ O ₃	0,01%	1,4816798	1,4816798
Na ₂ O	0,05%	7,408399	7,408399
H ₂ O	0,10%	14,816798	14,816798
Total	100,00%	14816,798	14816,798

B. Neraca Massa *Hammer Mill*

Tabel 2. 4 Neraca Massa Energi Hammer Mill

Komponen	Massa (%)	INPUT (JAW +RECYCLE)		OUTPUT
		F2	F4	F3
CaCO ₃	99,38%	14724,93385	736,2466926	15461,18055
MgCO ₃	0,40%	59,267192	2,9633596	62,2305516
SiO ₂	0,04%	5,9267192	0,29633596	6,22305516
Al ₂ O ₃	0,02%	2,9633596	0,14816798	3,11152758
Fe ₂ O ₃	0,01%	1,4816798	0,07408399	1,55576379
Na ₂ O	0,05%	7,408399	0,37041995	7,77881895
H ₂ O	0,10%	14,816798	0,7408399	15,5576379
Subtotal	100,00%	14816,798	740,8399	15557,6379
TOTAL		15557,6379		15557,6379

C. Neraca Massa Vibrating Screen

Tabel 2. 5 Neraca Massa Energi Vibrating Screen

Komponen	Massa (%)	INPUT	OUTPUT (recycle + reaktor)	
		F3	F4	F5
CaCO ₃	99,38%	15461,18055	736,2466926	14724,93385
MgCO ₃	0,40%	62,2305516	2,9633596	59,267192
SiO ₂	0,04%	6,22305516	0,29633596	5,9267192
Al ₂ O ₃	0,02%	3,11152758	0,14816798	2,9633596
Fe ₂ O ₃	0,01%	1,55576379	0,07408399	1,4816798

Na ₂ O	0,05%	7,77881895	0,37041995	7,408399
H ₂ O	0,10%	15,5576379	0,7408399	14,816798
Subtotal	100,00%	15557,6379	740,8399	14816,798
TOTAL		15557,6379	15557,6379	

D. Neraca Massa *Mixer* H₂SO₄

Fungsi : mengencerkan H₂SO₄ menjadi 50%

Feed : 2 × feed batu kapur

Tabel 2. 6 Neraca Massa Energi *Mixer* H₂SO₄

Komponen	INPUT		OUTPUT
	F6	F7	F8
H ₂ SO ₄	7778,81895	-	15557,6379
H ₂ O	-	7778,81895	-
TOTAL	15557,6379		15557,6379

E. Neraca Massa Reaktor (CSTR)

Feed CaCO₃ = 14816,798 kg/jam

Feed H₂SO₄ = 15557,6379 kg/jam

Konversi gipsum: 90%

Tabel 2. 7 Neraca Massa Energi Reaktor (CSTR)

Komponen	INPUT		OUTPUT	
	F5	F8	F9	F10
CaCO ₃	14724,93385	-	1472,493385	-
MgCO ₃	59,267192	-	59,267192	-
SiO ₂	5,9267192	-	5,9267192	-
Al ₂ O ₃	2,9633596	-	2,9633596	-
Fe ₂ O ₃	1,4816798	-	1,4816798	-
Na ₂ O	7,408399	-	7,408399	-
H ₂ O	14,816798	15557,6379	13187,01541	-
H ₂ SO ₄	-	15557,6379	2570,246242	-

CaSO ₄ . 2H ₂ O	-	-	22794,1976	-
CO ₂	-	-	-	5831,073806
Subtotal	14816,798	31115,2758	40100,99999	5831,073806
TOTAL	45932,0738		45932,0738	

F. Neraca Massa *Rotary Drum Vacuum Filter*

Tabel 2. 8 Neraca Massa Energi Rotary Drum Vacuum Filter

Komponen	INPUT		OUTPUT	
	F9 (slurry)	F10 (Air)	F11	F12
CaCO ₃	1472,493385	-	294,498677	1177,994708
MgCO ₃	59,267192	-	2,9633596	56,3038324
SiO ₂	5,9267192	-	5,926126528	0,000592672
Al ₂ O ₃	2,9633596	-	0,59267192	2,37068768
Fe ₂ O ₃	1,4816798	-	0,29633596	1,18534384
Na ₂ O	7,408399	-	7,386173803	0,022225197
H ₂ O	13187,01541	36090,9	4927,791541	44350,12387
H ₂ SO ₄	2570,246242	-	128,5123121	2441,73393
CaSO ₄ . 2H ₂ O	22794,1976	-	22794,1976	-
Subtotal	40100,99999	36090,9	28162,1648	48029,73519
TOTAL	76191,89999		76191,89999	

G. Neraca Massa *Rotary Dryer*

Tabel 2. 9 Neraca Massa Energi Rotary Dryer

Komponen	INPUT		Output
	F11	F13	F14
CaCO ₃	294,498677	-	294,498677
MgCO ₃	2,9633596	-	2,9633596
SiO ₂	5,926126528	-	5,926126528
Al ₂ O ₃	0,59267192	-	0,59267192
Fe ₂ O ₃	0,29633596	-	0,29633596

Na ₂ O	7,386173803	-	7,386173803
H ₂ O	4927,791541	4681,401964	246,389577
H ₂ SO ₄	128,5123121	122,0866965	6,425615605
CaSO ₄ . 2H ₂ O	22794,1976	-	22794,1976
Subtotal	28162,1648	4803,48866	23358,67614
TOTAL	28162,1648	28162,1648	

H. Neraca Massa *Crusher* II

Tabel 2. 10 Neraca Massa Energi *Crusher* II

Komponen	INPUT	OUTPUT
	F14	F15
CaCO ₃	294,498677	294,498677
MgCO ₃	2,9633596	2,9633596
SiO ₂	5,926126528	5,926126528
Al ₂ O ₃	0,59267192	0,59267192
Fe ₂ O ₃	0,29633596	0,29633596
Na ₂ O	7,386173803	7,386173803
H ₂ O	246,389577	246,389577
H ₂ SO ₄	6,425615605	6,425615605
CaSO ₄ . 2H ₂ O	22794,1976	22794,1976
Subtotal	23358,67614	23358,67614
TOTAL	23358,67614	23358,67614

I. Neraca Massa *Hammer Mill* II

Tabel 2. 11 Neraca Massa Energi *Hammer Mill* II

Komponen	INPUT		OUTPUT
	F15 (Feed)	F17 (Recycle)	F16
CaCO ₃	294,498677	15,49049049	309,8098099
MgCO ₃	2,9633596	0,491761603	9,835232059
SiO ₂	5,926126528	2,827629217	56,55258434

Al ₂ O ₃	0,59267192	0,245880801	4,91761603
Fe ₂ O ₃	0,29633596	0,491761603	9,835232059
Na ₂ O	7,386173803	0,614702004	12,29404007
H ₂ O	246,389577	9,097589655	181,9517931
H ₂ SO ₄	6,425615605	0,245880801	4,91761603
CaSO ₄ ·2H ₂ O	22794,1976	1199,898311	23997,96622
Subtotal	23358,67614	1229,404007	24588,08015
TOTAL	24588,08015		24588,08015

J. Neraca Massa Vibrating Screen II

Tabel 2. 12 Neraca Massa Energi Vibrating Screen II

Komponen	INPUT		Output
	F16	F17 (Recycle)	F18
CaCO ₃	309,8098099	15,49049049	294,3193194
MgCO ₃	9,835232059	0,491761603	9,343470456
SiO ₂	56,55258434	2,827629217	53,72495512
Al ₂ O ₃	4,91761603	0,245880801	4,671735228
Fe ₂ O ₃	9,835232059	0,491761603	9,343470456
Na ₂ O	12,29404007	0,614702004	11,67933807
H ₂ O	181,9517931	9,097589655	172,8542034
H ₂ SO ₄	4,91761603	0,245880801	4,671735228
CaSO ₄ ·2H ₂ O	23997,96622	1199,898311	22798,06791
Subtotal	24588,08015	1229,404007	23358,67614
TOTAL	24588,08015	24588,08015	

K. Neraca Massa Scrubber

Tabel 2. 13 Neraca Massa Energi Scrubber

Komponen	INPUT		OUTPUT
	F10	F19	F20
CO ₂	5831,073806	-	524,797

H ₂ O	-	2500	329,250
H ₂ CO ₃	-	-	7477,027
TOTAL		8331,074	8331,074

2.5.2 Neraca Panas

Kapasitas Pabrik = 185.000 ton/tahun

Bahan Baku = batu kapur CaCO₃ dan asam sulfat H₂SO₄

1 tahun produksi = 330 hari

Basis = 1 jam

Kapasitas = 560.606,0606 kg/hari
= 14724,93385 kg/jam

A. Neraca Panas Mixer H₂SO₄

Tabel 2. 14 Neraca Panas Mixer H₂SO₄

Komponen	Input (kJ/jam)		Output (kJ/jam)
	F6	F7	F8
H ₂ SO ₄	111389,1737	-	111389,1737
H ₂ O	-	326266,4687	326266,4687
Sub Total	111389,1737	326266,4687	437655,6424
Total	437655,6424		437655,6424

B. Neraca Panas Heat Exchanger

Tabel 2. 15 Neraca Panas Heat Exchanger

Komponen	Input (kJ/jam)		Output (kJ/jam)
	F22	Q supply	
H ₂ SO ₄	111389,1737	-	1560153,9608
H ₂ O	326266,4687	5543318,7772	4420820,4588
Sub Total	437655,6424	5543318,7772	5980974,4196
Total	5980974,4196		5980974,4196

C. Neraca Panas Reaktor (CSTR)

Tabel 2. 16 Neraca Panas Reaktor (CSTR)

Komponen	Input (kJ/jam)			Output (kJ/jam)	
	F7	F8	Q supply	F9	F10
CaSO ₄ .2H ₂ O	-	-	-	1705005,98	-
H ₂ SO ₄	-	1560154	-	257749,9155	-
CaCO ₃	61425,06	-	-	83538,0837	-
MgCO ₃	270,2302	-	-	3675,1304	-
SiO ₂	21,4370	-	-	313,2961	-
Al ₂ O ₃	11,5639	-	-	168,6515	-
Fe ₂ O ₃	4,8259	-	-	65,6324	-
Na ₂ O	47,7663	-	-	649,6210	-
H ₂ O	310,7	4420820	120006825	3747190,15	-
CO ₂	-	-	-	-	355701,9
QR	-	-	-	120117817,0581	
Sub Total	62091,6	5980974	120006825	5798356,46	355701,9
Total	126049890,7930			126271875,3919	

D. Neraca Panas Rotary Drum Vacuum Filter

Tabel 2. 17 Neraca Panas Rotary Drum Vacuum Filter

Komponen	Input (kJ/jam)		Output (kJ/jam)	
	F9	F10	F11	F12
CaSO ₄ .2H ₂ O	1705005,98	-	695718,9504	-
H ₂ SO ₄	257749,9155	-	5165,4487	98143,5258
CaCO ₃	83538,0837	-	6817,4574	27269,8295
MgCO ₃	3675,1304	-	74,9809	1424,6372
SiO ₂	313,2961	-	122,2365	0,0122
Al ₂ O ₃	168,6515	-	13,1855	52,7420
Fe ₂ O ₃	65,6324	-	5,3562	21,4248
Na ₂ O	649,6210	-	264,2793	0,7952

H ₂ O	3747190,15	756879,07	572014,0671	5148126,60
Sub Total	5798356,46	756879,07	1280195,9620	5275039,57
Total	6555235,5330		6555235,5330	

E. Naraca Panas *Rotary Dryer*

Tabel 2. 18 Neraca Panas Rotary Dryer

Komponen	Input (kJ/jam)		Output (kJ/jam)	
	Arus 8	Arus 10	Arus 11	Arus 12
CaSO ₄ .2H ₂ O	695718,950	-	1880521,3023	-
H ₂ SO ₄	5165,449	-	712,7207	24784,5772
CaCO ₃	6817,457	-	18427,5185	-
MgCO ₃	74,981	-	202,6726	-
SiO ₂	122,236	-	348,0610	-
Al ₂ O ₃	13,186	-	37,4590	-
Fe ₂ O ₃	5,356	-	14,4777	-
Na ₂ O	264,279	-	714,3443	-
H ₂ O	572014,067	774033,1605	77243,6537	947680,1626
O ₂	-	5940768,13	-	3220455,50
N ₂	-	21843153,98	-	11893792,38
<i>Latent Heat</i>	-	9319817,064	-	21093033,48
Sub Total	1280195,962	37877772,34	1978222,2098	37179746,09
Total	39157968,3016		39157968,3016	

2.6 Tata Letak Pabrik

2.6.1 Lay Out Pabrik

Tata letak pabrik merupakan pengaturan menyeluruh terhadap fasilitas produksi, mulai dari proses mesin, peralatan menunjang, area kerja karyawan, serta ruang penyimpanan bahan baku. Tujuan utama dari penataan ini adalah menciptakan alur kerja yang efektif dan efisien dengan meminimalkan perpindahan antar fasilitas sehingga dapat terjaga keselamatan, kenyamanan, dan kelancaran proses produksi. Perencanaan tata letak yang baik berperan penting dalam meningkatkan produktivitas serta menentukan

keberhasilan operasional pabrik secara keseluruhan (Budi et al., 2014) . Untuk menentukan tata letak pabrik, terdapat beberapa aspek yang harus dipertimbangkan antara lain:

a. Perluasan Pabrik

Konsep perluasan pabrik perlu dipertimbangkan untuk mencegah terjadinya kendala atau permasalahan di masa mendatang. Oleh karena itu, area khusus untuk ekspansi perlu disiapkan secara strategis, baik untuk mengantisipasi peningkatan kapasitas produksi maupun untuk mendukung kemungkinan produksi bahan baku secara mandiri sebagai upaya meningkatkan efisiensi dan pendapatan perusahaan.

b. Harga Tanah

Harga tanah sangat mempengaruhi berdirinya suatu pabrik. Harga tanah merupakan aspek biaya produksi pokok yang menentukan total biaya investasi dan kelayakan ekonomi suatu pabrik. Umumnya, harga tanah mencerminkan nilai potensi suatu lokasi. Lahan dengan harga yang tinggi biasanya berada di Kawasan strategis yang memiliki keunggulan akses, strategis, serta dekat dengan pasar, begitupun sebaliknya. Pemanfaatan lahan harus disesuaikan dengan luas area yang tersedia.

c. Kualitas, Kuantitas, dan Letak Bangunan

Kualitas, kuantitas, dan letak bangunan harus sesuai dengan standar pabrik karena berpengaruh langsung terhadap efektivitas dan efisiensi proses produksi. Hal tersebut harus mencakup kekuatan fisik dan kelengkapan seperti instalasi, ventilasi, dan insulasi. Kualitas bangunan mampu menjamin keamanan serta melindungi peralatan dari kerusakan (*zero defect* atau *zero accident*). Kuantitas bangunan yang tepat dapat menyesuaikan fasilitas sesuai kebutuhan tanpa menimbulkan keterbatasan ruang. Letak bangunan yang sesuai standar dapat mendukung kelancaran alur material, meminimalisir pemborosan (*waste of motion*), dan meningkatkan efisiensi produktivitas (*layout efficiency*).

d. Faktor Keamanan

Keamanan merupakan salah satu bagian penting meminimalisir potensi kecelakaan kerja, mengurangi risiko kebakaran atau kerusakan alat, melindungi pekerja dan lingkungan sekitar sebagai bentuk dari preventif. Pengaturan fasilitas harus sesuai dengan standar seperti pemasangan hidran, penahan ledakan, asuransi pabrik. Selain itu,

perlu diterapkan rambu-rambu K3 dan lalu lintas untuk memberikan kesadaran terhadap pejalan kaki dan juga kendaraan yang sedang beraktivitas.

e. Fasilitas Jalan

Fasilitas jalan dalam area pabrik dibutuhkan untuk mendukung kelancaran arus transportasi, baik dalam mobilitas bahan baku sampai dengan produk setengah jadi atau produk akhir. Selain itu, fasilitas jalan juga mempermudah aktivitas pekerja dan kendaraan operasional.

Setelah aspek-aspek tersebut ditetapkan, penyusunan tata letak pabrik dan peralatan harus disesuaikan sebelum masuk ke tahap perancangan sistem perpipaan, struktur, dan kelistrikan. Perencanaan tata letak pabrik meliputi perencanaan area penyimpanan, area proses, dan area penanganan. Adapun elemen penyusun dari area pabrik, meliputi:

a. Pos keamanan

Pos keamanan ditempatkan dekat dengan pintu masuk utama atau area keluar masuk kendaraan dan pekerja di pabrik. Hal tersebut untuk memudahkan proses pemeriksaan dan pengawasan terhadap mobilitas pabrik sehingga keselamatan dan keamanan pabrik terjamin secara optimal.

b. Area Utilitas

Area utilitas berada didekat proses utama karena mudah diakses dan jalur bahan utilitas ke peralatan proses lebih pendek.

c. Bengkel (*Maintenance Area*)

Maintenance area diletakkan dekat dengan area utilitas dan proses utama agar memudahkan pemeliharaan, pengawasan, dan perbaikan alat-alat.

d. Ruang Generator

Ruang generator ditempatkan pada bagian belakang pabrik untuk meminimalisir terjadinya kebisingan sehingga dapat mengganggu aktivitas dan kenyamanan pekerja.

e. Ruang Ibadah (Musholla)

Ruang ibadah perlu disediakan dalam area pabrik karena mayoritas penghuni dan karyawan pabrik Adalah umat muslim.

f. Taman dan Toilet

Taman dan toilet tersebar di sekitar pabrik agar meningkatkan kenyamanan karyawan dan pengunjung. Taman berfungsi sebagai buffer zone atau salah satu penyangga atau pengendalian dampak lingkungan.

g. Area Parkir

Area parkir yang memadai perlu disiapkan untuk menampung kendaraan karyawan, pengunjung, serta alat transportasi khusus pabrik.

h. Jalan

Jalur transportasi di dalam pabrik sebaiknya dirancang satu arah dengan pemisahan antara kendaraan ringan seperti mobil atau motor dan kendaraan berat seperti truk sehingga proses pengawasan dan pengendalian lalu lintas internal dapat dilakukan dengan lebih mudah.

i. Penerangan dan Ventilasi

Fasilitas penerangan dan ventilasi yang cukup perlu disediakan guna mendukung kelancaran proses produksi.

Tata letak pabrik yang dirancang secara optimal dapat meningkatkan efisiensi operasional, menjamin keselamatan kerja, serta memberikan dukungan terhadap potensi pengembangan pabrik di masa depan. Berikut merupakan gambar rancangan *layout* pabrik gipsum yang disesuaikan dengan kebutuhan produksi. Secara keseluruhan, *lay out* dapat dikelompokkan ke beberapa bagian utama, antara lain:

1. *Main office* meliputi area perkantoran, laboratorium dan ruang control yang menunjang kelancaran operasional pabrik. Bagian administrasi atau perkantoran berperan untuk mengelola kegiatan perencanaan, manajerial, dan koordinasi agar seluruh aktivitas produksi berjalan secara efektif. Laboratorium dan ruang control berperan sebagai pusat pengendalian produksi
2. Area proses merupakan area yang digunakan untuk menempatkan peralatan produksi serta menjalankan seluruh tahapan proses
3. Area penyimpanan bahan baku dan produk merupakan area khusus yang digunakan untuk tangki bahan baku dan produk. Penataan tangka dan bahan baku mempertimbangkan efisiensi distribusi sehingga proses hingga penyaluran produk akhir dapat berjalan dengan lancar.
4. Area gudang, garasi, dan bengkel diletakkan dekat dengan utilitas agar memudahkan penampungan keperluan bahan-bahan dan pemeliharaan alat-alat proses
5. Area utilitas diletakkan dekat dengan proses utama untuk memudahkan kegiatan penyediaan pendukung proses.

2.6.2 Lay Out Peralatan Proses

Dalam merancang lay out peralatan proses perlu beberapa aspek yang diperhatikan, antara lain:

a. Aliran bahan baku

Penataan aliran bahan baku dan produk yang tepat akan memberikan keuntungan ekonomi yang besar serta menjaga keselamatan dan kelancaran proses produksi. Pipa yang dipasang di atas tanah dianjurkan berada pada ketinggian 3 sehingga tidak mengganggu aktivitas operasional. Sementara itu, pipa yang ditempatkan di permukaan tanah harus diatur secara tepat sehingga tidak menimbulkan gangguan terhadap mobilitas pekerja.

b. Aliran udara

Sirkulasi udara yang lancar di area proses perlu dijaga dan diperhatikan agar tidak terjadi penumpukan udara pada titik tertentu. Apabila terjadi stagnasi, terdapat risiko akumulasi uap dan bahan kimia berbahaya yang berpotensi bahaya bagi pekerja maupun lingkungan kerja.

c. Cahaya

Sistem pencahayaan pabrik perlu diperhatikan agar memadai di setiap area kerja. Khusus pada bagian proses yang berbahaya atau memiliki risiko tinggi, diperlukan pencahayaan tambahan untuk meningkatkan keamanan, memperjelas pandangan pekerja, serta meminimalisir terjadinya kecelakaan.

d. Lalu lintas manusia

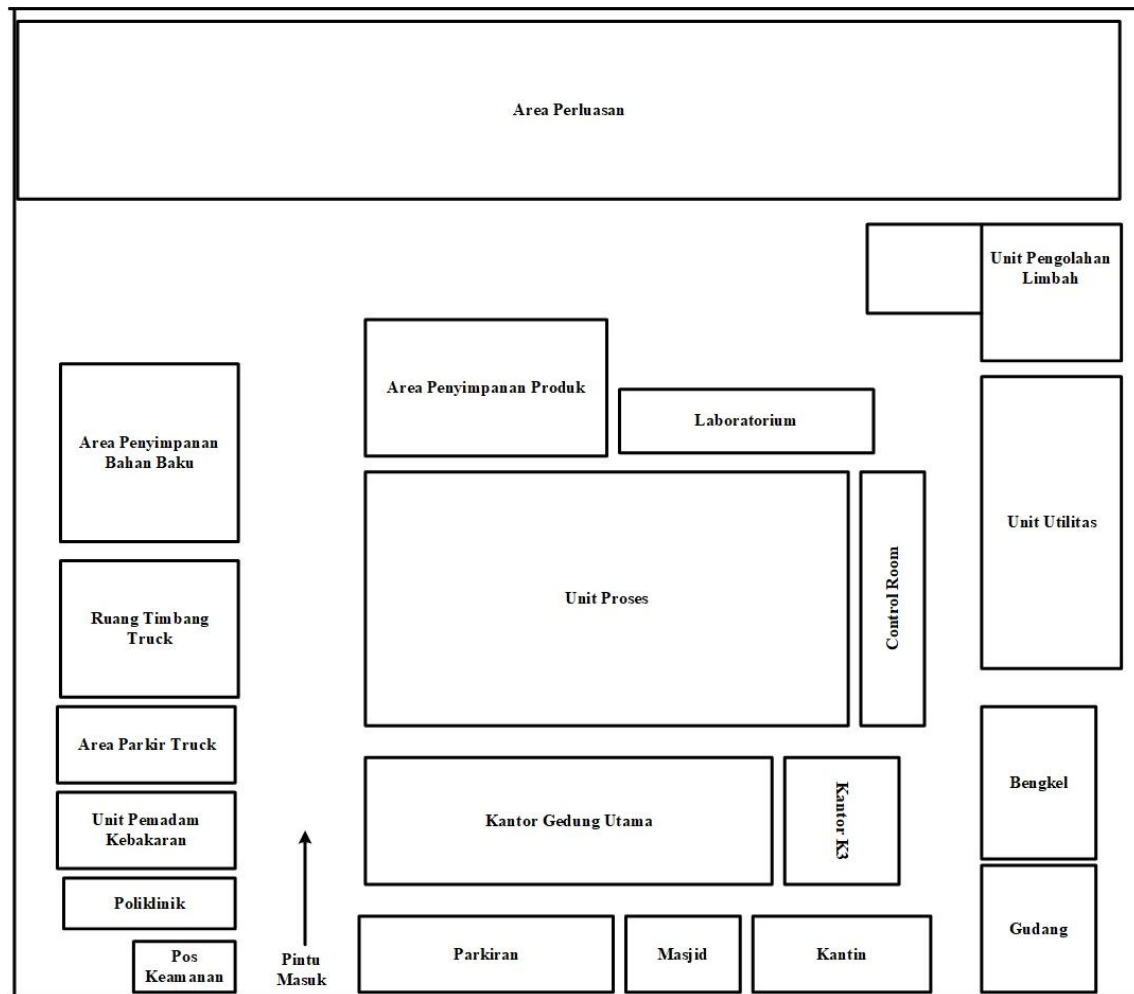
Tata letak alat dalam pabrik perlu diperhatikan sedemikian rupa agar setiap pekerja dapat mengakses dan menjangkau seluruh peralatan proses dengan cepat dan mudah. Hal tersebut bertujuan untuk mempercepat penanganan apabila terjadi gangguan atau kerusakan pada peralatan sehingga meminimalisir terhambatnya proses produksi.

e. Penempatan alat proses

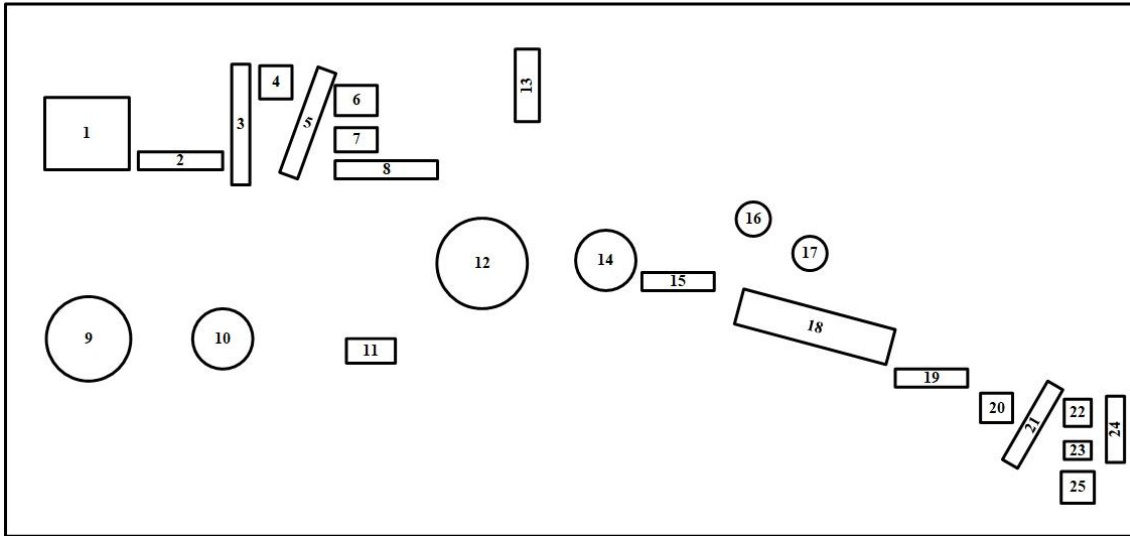
Peralatan proses harus ditempatkan sesuai dengan efisiensi aliran material sampai dengan kemudahan pemeliharaan. Dengan penataan yang tepat maka dapat menekan biaya operasional dan menjaga kelancaran produksi sehingga keuntungan ekonomi pabrik dapat dimaksimalkan.

f. Jarak antar proses

Peralatan yang beroperasi pada kondisi suhu dan tekanan tinggi ditempatkan secara terpisah dengan peralatan lainnya. Pengaturan ini dilakukan sebagai Langkah preventif untuk meminimalisir risiko bahaya yang timbul seperti ledakan atau kebakaran sehingga tidak menyebabkan kerusakan pada unit proses sekitarnya. Adapun susunan peralatan pada pabrik gipsum dapat dilihat pada layout berikut.



Gambar 2.2 Lay Out Pabrik



Gambar 2.3 Lay Out Alat

Tabel 2.1 Keterangan Lay Out Alat

No	Nama Alat	Kode
1	Gudang CaCO_3	1
2	Belt conveyor	2
3	Bucket elevator	3
4	Crusher	4
5	Belt elevator	5
6	Hammer mill	6
7	Vibrating screen	7
8	Screw conveyor	8
9	Tanki H_2SO_4	9
10	Mixer	10
11	Heater	11
12	Reaktor	12
13	Scrubber	13
14	Rotary drum vacuum filter	14
15	Belt conveyor	15
16	Blower	16
17	Heater	17
18	Rotary dryer	18
19	Belt conveyor	19
20	Crusher	20
21	Belt elevator	21
22	Hammer mill	22
23	Vibrating screen	23
24	Bucket elevator	24
25	Silo	25