

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES

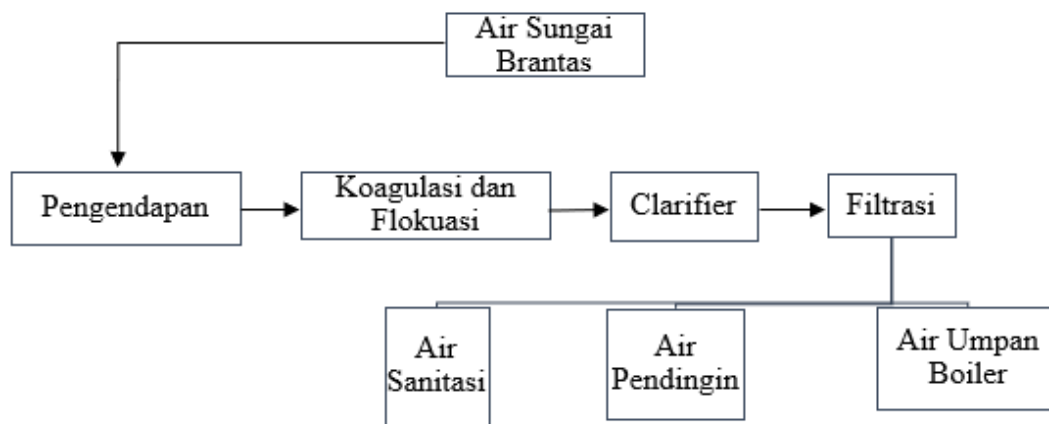
Unit pendukung proses atau disebut utilitas merupakan aspek unit krusial dalam sistem pabrik yang berfungsi untuk menunjang berlangsungnya proses dalam suatu pabrik. Fasilitas yang termasuk dalam unit utilitas meliputi unit penyedia air, unit penyedia listrik, supply bahan bakar, pengelolaan limbah, serta penyedia udara tekan. Adapun unit pendukung yang digunakan dalam pabrik gipsium antara lain:

1. Unit Pengolahan dan Penyedia Air (*Water Treatment System*)
2. Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)
3. Unit Pembangkit Uap (*Steam Generation System*)
4. Unit Laboratorium
5. Unit Pengolahan Limbah

4.1 Unit Pengolahan dan Penyediaan Air (Water Treatment System)

4.1.1 Unit Pengolahan Air

Pada pabrik ini memanfaatkan sumber air yang berasal dari sungai Brantas. Air tersebut dimanfaatkan sebagai air proses, air pendingin, air umpan boiler, air sanitasi, dan *air hydrant*. Air yang digunakan sebagai umpan pada sistem *cooling water* maupun kondensor dalam proses produksi gipsium harus melalui tahap demineralisasi terlebih dahulu. Hal tersebut bertujuan untuk menghilangkan kandungan mineral serta berbagai kontaminan yang dapat menimbulkan masalah seperti kerak (*scaling*) dan korosi pada peralatan. Berikut merupakan spesifikasi air yang berasal dari Sungai Brantas berdasarkan data dari Brantas. Adapun alur pengolahan air secara umum dapat dilihat seperti diagram alir berikut.



Gambar 4. 1 Diagram Alir Unit Pengolahan Air

Tabel 4.1 Karakteristik Sungai Brantas

Karakteristik	Hasil	Satuan
pH	7-8,3	-
Konduktivitas Elektrik	0,75	mS/cm
Fosfat	30	Mg/L
TSS	100	Mg/L
TDS	350	ppm
Oksigen terlarut	6,8	Mg/L
Turbidity	Maks. 3	NTU

a. Penampungan (*reservoir*)

Air yang diperoleh dari Sungai Brantas dialirkan dan ditampung dalam *reservoir* atau bak penampung. Pada pengendapan, air mengalami proses pengendapan awal terhadap partikel-partikel kotoran yang masih terbawa yang setelah melalui tahapan prasedimentasi atau penyaringan kasar. Proses pengendapan di dalam reservoir berlangsung secara alami tanpa memerlukan peralatan tambahan khusus karena partikel padatan akan turun ke dasar bak akibat pengaruh gaya gravitasi. Dengan demikian, kualitas air baku menjadi lebih jernih sebelum dialirkan menuju unit pengolahan berikutnya.

b. Koagulasi

Koagulasi merupakan tahap pengolahan air yang diawali dengan penambahan bahan kimia koagulan ke dalam aliran air. Tahapan ini bertujuan untuk mengendapkan partikel-partikel halus yang tersuspensi dalam air yang digumpalkan menjadi partikel lebih besar sehingga lebih mudah diendapkan. Proses ini membutuhkan penambahan

bahan koagulan berupa Alumunium Sulfat ($(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)$) atau tawas. koagulan ini merupakan garam yang terbentuk dari perpaduan antara basa lemah dan asam kuat. Alumunium Sulfat ($(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)$) adalah koagulan yang biasa digunakan untuk pengolahan limbah cair karena harganya yang ekonomis, dapat membentuk gumpalan partikel karena mudah mengalami hidrolisis, menurunkan kekeruhan dalam air dan warna pada limbah cair (Reno, 2017).

Selain penambahan koagulan, umumnya ditambahkan juga kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ke dalam air. Penambahan kapur bertujuan untuk memaksimalkan proses flokulasi karena kapur bersifat alkalis dan mampu menetralkan kesadahan karbonat dalam air. Sifat basa dari kapur mendukung terbentuknya gumpalan yang lebih efektif sehingga proses pengendapan impuritas menjadi lebih optimal. Proses flokulasi bertujuan untuk mengendapkan partikel koloid dan impuritas yang tersuspensi dalam air melalui penggumpalan dengan koagulan. Agar koagulan dan kapur tercampur merata dalam air, dilakukan pengadukan intensif sehingga larutan koagulan dapat bereaksi secara menyeluruh dengan partikel yang ada. Dengan demikian, proses koagulasi dan flokulasi bekerja secara sinergis untuk meningkatkan kejernihan air sebelum masuk ke tahap penyaringan lebih.

c. Clarifier

Clarifier adalah proses dalam pengolahan air yang bertujuan untuk memisahkan partikel padat tersuspensi dari air sehingga air menjadi lebih jernih. Proses pengendapan flok-flok (gumpalan padatan berukuran besar) dilakukan menggunakan alat pulsator. Alat tersebut berfungsi untuk memisahkan partikel padat yang terbentuk selama tahap koagulasi dan flokulasi. Pada tahap ini, air yang telah bersih dari pengendapan dialirkan menuju proses filtrasi. Sementara itu, lumpur atau flok-flok yang mengendap di dasar bak dikumpulkan ke dalam bak penampung lumpur untuk diolah lebih lanjut. Air yang jernih dipermukaan kemudian ditampung dalam *reservoir* khusus sebelum dipompa ke *sand filter*. Pada *sand filter*, partikel halus yang masih tersuspensi akan disaring sehingga kualitas air meningkat dan mencapai kejernihan yang diharapkan. Kombinasi antara pengendapan melalui pulsator dan filtrasi menggunakan media pasir memastikan bahwa air yang keluar dari sistem sudah cukup bersih dan layak untuk tahap pengolahan selanjutnya

d. Filtrasi

Filtrasi adalah proses penyaringan air untuk memisahkan partikel padat tersuspensi atau kotoran halus yang masih tersis setelah proses pengendapan (klarifikasi). Penyaringan air dilakukan menggunakan rapid sand filter atau filter pasir cepat yang merupakan bak berisi pasir kwarsa. Filter tersebut berfungsi untuk menyaring flok halus dan partikel kotor lainnya yang masih lolos dari tahapan klarifikasi. Sebelum masuk ke sand filter, air biasanya telah ditambahkan klorin dan tawas untuk membantu proses desinfeksi dan flokulasi tambahan. Media penyaring filter dalam rapid sand filter biasanya terdiri dari lebih satu lapisan seperti pasir kwarsa dan batu dengan ukuran mesh tertentu sehingga aliran air dapat melalui berbagai tingkat filtrasi. Air mengalir dari atas ke bawah melalui media penyaring dan partikel padat yang tidak terlarut akan tertahan pada media, sedangkan air yang bersih terkumpul di bagian dasar. Air jernih tersebut kemudian dialirkan menuju reservoir penampung, sebelum dipompa ke tiga unit utama yaitu unit air sanitasi, unit air proses atau pending, dan unit air umpan boiler (Ma'ruf et al., 2021).

4.1.2 Unit Penyedia Air

a. Air Proses

Air proses adalah air yang digunakan untuk kegiatan proses yang ada di pabrik. Syarat buku mutu air proses yang dibutuhkan yaitu seperti sebagai berikut:

Tabel 4.2 Syarat Mutu Air Proses (Utilitas PT.Petrokimia Gresik)

Parameter	Satuan	Syarat Baku Mutu
pH	8,5-9,2	-
<i>Turbidity</i>	50	NTU
Cl ₂	<0,5	ppm
SiO ₂	Maks 0,3	ppm
TSS	Maks 100	Mg/L
Total Hardness (mg/l)	0,1	Ppm CaCO ₃
Konduktivitas	Maks 2	µs/cm

b. Air Pendingin

Air pendingin yang digunakan dalam *cooling tower* harus memenuhi standar tertentu agar layak untuk operasional heat exchanger salah satunya bebas dari korosi, kerak, jamur, dan bakteri. Air yang berasal dari sirkulasi proses berkisar suhu $\pm 40 - 45^{\circ}\text{C}$ yang masuk ke dalam menara pendingin melalui bagian atas. Air tersebut kemudian didistribusikan ke basin melalui distributor dan *splashing cup* sehingga jatuh dalam bentuk butiran hujan. Proses ini meningkatkan kontak air dengan udara sehingga membantu penurunan suhu. Udara luar masuk melalui sirip-sirip kayu dan terhisap oleh *fan* di puncak menara bersentuhan langsung dengan butiran air yang turun. Kontak antara air dan udara ini menyebabkan transfer panas sehingga suhu air menurun menjadi $\pm 28 - 30^{\circ}\text{C}$ saat terkumpul di basin. Spesifikasi air pendingin yang dibutuhkan yaitu seperti sebagai berikut

Tabel 4.3 Syarat Baku Mutu Cooling Tower (Utilitas PT.Petrokimia Gresik)

Parameter	Satuan	Syarat Baku Mutu
pH	7,3-7,8	-
Turbidity	16,6	ppm
Alkalinity M (metil jingga)	35-150	ppm
Cl^-	423	ppm
SiO_2	<150	ppm
Fe	<2	ppm
PO_4	5-7	ppm
Total Hardness	100-150	ppm CaCO_3
Mg-hardness	<700	ppm CaCO_3
Konduktivitas Elektrik	300	(mS/m)
Zinc	0,5	ppm Zn

Tabel 4.4 Spesifikasi Air dalam Cooling Tower

Parameter	Circulating water	Make Up Water	Transient Water
pH	6,5-8,2	6,0-8,0	6,8-8,0

Konduktivitas Elektrik (mS/m)	<80	<30	<40
Klorin (mg/l)	<200	<50	<50
Sulfat (mg/l)	<200	<50	<50
Alkali (mg/l)	<100	<50	<50
Total Hardness (mg/l)	<200	<70	<70
Ca ²⁺ (mg/l)	<150	<50	<50
Silica (mg/l)	<40	<30	<50

c. Air Umpan Boiler

Air umpan boiler (*boiler feed water*) adalah air yang digunakan untuk menghasilkan uap (stem) yang mendukung kelangsungan proses industri. Dalam proses penguapan di dalam boiler, uap yang terbentuk merupakan uap murni yaitu H₂O. sedangkan ion-ion yang terkandung dalam air boiler tidak ikut menguap. Akibatnya, konsentrasi ion dalam fase cair akan meningkat seiring berjalannya waktu sehingga dapat menimbulkan kerak, korosi, dan deposit. Dalam pra-rancang pabrik gipsum ini, steam digunakan sebagai media pemanas pada heat exchanger untuk memenuhi kebutuhan panas proses. Boiler menghasilkan saturated steam yang kemudian digunakan untuk pemanas pada rotary dryer. Agar air dapat berubah menjadi uap, air boiler dipanaskan sampai mencapai suhu di atas 100°C. Agar air boiler yang digunakan tetap aman, input air yang digunakan harus melalui tahap pengolahan seperti demineralisasi dan deaerasi. Demineralisasi yaitu penghilangan ion-ion yang menyebabkan korosi. Sedangkan deaerasi berfungsi untuk mengurangi kandungan gas terlarut seperti oksigen dan karbondioksida yang dapat mempercepat korosi. Beberapa hal penting yang harus diperhatikan agar boiler tetap aman dan tidak terjadi kerusakan yaitu

- Kandungan zat korosif yang dapat merusak logam
- Kandungan yang menyebabkan kerak (scale reforming) seperti kalsium dan magnesium
- Kandungan yang memicu pengotor (fouling) yang mengurangi efisiensi perpindahan panas dan memperpendek umur peralatan

Dengan pengolahan air yang tepat, boiler dapat menghasilkan uap yang bersih dan stabil sehingga meminimalisir risiko kerusakan pada sistem peralatan. Syarat-

syarat yang memenuhi umpan boiler tertera pada peraturan ASME tahun 2017 seperti berikut

Tabel 4.5 Syarat Umpan Boiler

Tekanan Boiler (Psig)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Total Hardness (ppm CaCO₃)	TDS (mg/l)	Padatan Tersuspensi (mg/l)	Silika (ppm)
0-300	0,1	0,05	0,3	3500	300	150
301-450	0,05	0,025	0,3	3000	250	90
451-600	0,03	0,2	0,2	2500	150	40
601-750	0,025	0,2	0,2	2000	100	20
751-900	0,2	0,15	0,1	1500	60	20
901-1000	0,2	0,15	0,05	1250	40	8
1001-1500	0,1	0,1	0	1000	20	2
1501-2000	0,1	0,1	0	750	10	1

Untuk mengendalikan konsentrasi ion dalam air boiler diperlukan proses *pre-treatment*. Proses ini bertujuan untuk menjaga agar kadar ion dalam air boiler tetap berada di bawah batas aman yang telah ditetapkan sehingga mencegah kerusakan pada peralatan dan menurunkan efisiensi operasional. Beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan air umpan boiler antara lain:

- **Zat-zat penyebab korosi**

Korosi merupakan proses oksidasi logam yang menyebabkan logam kembali ke bentuk senyawanya yang menimbulkan kerusakan. Adapun zat-zat yang berpotensi menyebabkan korosi adalah senyawa yang memiliki pH asam, air yang mengandung larutan asam, dan gas-gas terlarut seperti (O_2, CO_2, H_2S, NH_3), serta garam yang terlarut dan padatan tersuspensi. Korosi yang tidak terkendali menyebabkan kebocoran, kerusakan pipa, dan menurunkan umur umpan boiler.

- **Zat yang menyebabkan kerak**

Kerak terbentuk pada permukaan boiler akibat suhu tinggi dan kesadahan air yang mengandung ion kalsium dan magnesium. Jenis kerak yang umum ditemukan berupa

garam karbonat dan silika. Kehadiran kerak dapat menurunkan efisiensi transfer panas, meningkatkan konsumsi bahan bakar, dan mempercepat kerusakan pada permukaan boiler. Untuk mencegah pembentukan kerak, umumnya dilakukan penambahan bahan kimia seperti fosfat yang bereaksi dengan ion kalsium dan magnesium sehingga membentuk endapan yang lebih mudah dibuang melalui *blowdown*.

- **Zat yang menyebabkan *foaming* dan *priming***

Foaming atau pembentukan busa adalah munculnya gelembung-gelembung udara di permukaan air dalam boiler yang keluar bersama steam. Fenomena ini biasanya terjadi akibat kontaminasi air boiler oleh zat-zat organik atau bahan kimia yang tidak terkontrol dengan baik.

Priming adalah fenomena ketika air dari boiler terbawa bersama uap yang keluar. Uap yang seharusnya dalam kondisi kering justru mengandung air dan partikel padat yang terbawa bersamanya.

d. Air Konsumsi Umum dan Sanitasi

Air sanitasi adalah air yang disediakan untuk memenuhi kebutuhan kebersihan dan sanitasi di lingkungan industri. Umumnya, air ini digunakan untuk mek (mandi dan cuci kaki), toilet, pembersihan lantai, dinding, dan peralatan, pencucian alat. Air sanitasi harus memenuhi standar yang telah diterapkan pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 yang dapat dilihat pada data berikut.

Tabel 4.4 Standar Baku Mutu Air Domestik

Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
Parameter Fisika Air Sanitas		
Kekeruhan	NTU	25
Warna	TCU	50
Zat padat terlarut (<i>Total Dissolved Solid</i>)	mg/l	1000
Suhu	°C	suhu udara ± 3
Rasa		tidak berasa
Bau		tidak berbau

Parameter Kimia Air Sanitasi		
pH	mg/l	6,5 - 8,5
Besi	mg/l	1
Fluorida	mg/l	1,5
Kesadahan (CaCO ₃)	mg/l	500
Mangan	mg/l	0,5
Nitrat, sebagai N	mg/l	10
Nitrit, sebagai N	mg/l	1
Sianida	mg/l	0,1
Deterjen	mg/l	0,05
Pestisida total	mg/l	0,1
Nitrit, sebagai N	mg/l	1
Sianida	mg/l	0,1
Air raksa	mg/l	0,001
Arsen	mg/l	0,05
Kadmium	mg/l	0,005
Kromium (valensi 6)	mg/l	0,05
Selenium	mg/l	0,01
Seng	mg/l	15
Sulfat	mg/l	400
Timbal	mg/l	0,05
Parameter Biologi Air Sanitasi		
Total coliform	CFU/100ml	50
E. coli	CFU/100ml	0

e. Air Pemadam Kebakaran (*Hydrant*)

Air pemadam kebakaran atau *hydrant* adalah fasilitas penyedia air yang biasanya digunakan untuk memadamkan api atau keperluan darurat lainnya. Air *hydrant* merupakan hal yang wajib di setiap pabrik sebagai bagian dari sistem keselamatan. Berdasarkan proses penggunaannya jenis air ini berbeda dengan air yang lain karena air ini hanya digunakan apabila terjadi kebakaran di area pabrik. Peraturan pengaplikasian air hydrant pada tiap industry tercantum pada Peraturan Pemerintah

dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Permen PUPR) No. 26/PRT/M/2008 terkait persyaratan teknik sistem proteksi kebakaran pada bangunan gedung dan lingkungan. Selain itu, dalam SNI 03-1375-2003 mengatur tata cara perencanaan akses bangunan dan lingkungan untuk mencegah bahaya kebakaran.

4.1.3 Kebutuhan Air

Umumnya penyediaan kebutuhan air baik untuk air pendingin, air domestic, dan air hydrant pada perancangan pabrik gipsum diperkirakan sebagai berikut:

- **Kebutuhan air proses**

Kebutuhan mixer	= 7.778,819 kg/jam
Rotary Drum Vacuum Filter	= 36.090,90 kg/jam
Scrubber	= 2500,00 kg/jam
Total kebutuhan air proses	= 5.100.669,084 kg/jam

- **Kebutuhan air pendingin**

Kebutuhan air pendingin	= 2.294.609,082 kg/jam
Jumlah air menguap	= 29.256,2658 kg/jam
Drift Loss (Wd)	= 458,9218164 kg/jam

- **Kebutuhan air sanitasi atau domestik**

Berikut jumlah kebutuhan air sanitasi yang dibutuhkan:

a) Air untuk karyawan kantor

Menurut standar WHO, kebutuhan air tiap orang adalah 40 L/hari

Jumlah karyawan sebanyak 169 orang

Sehingga air yang diperlukan sebanyak

$$\begin{aligned}
 &= 169 \text{ orang} \times 40 \text{ L/hari} \\
 &= \frac{40 \text{ L}}{24 \text{ jam/orang}} \\
 &= 93,888889 \text{ L/jam} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \\
 &= 2253,333333 \text{ L/hari} = 2,253333333 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

b) Air untuk Laboratorium

= 400 L/hari

= 16,66666667 L/jam

c) Air Pembersihan dan Lain-lain

= 50 x 100 L/orang/hari

$$= 5000 \text{ L/hari}$$

- *Kebutuhan Air Hydrant*

Berdasarkan SNI 03-1375-2000 tangki penyimpanan *air hydrant* mempunyai kapasitas penyimpanan efektif yang mampu memasok air pada $< 1.000 \text{ m}^2$ menggunakan 2 buah hydrant dengan pasokan air tidak kurang dari 38 L/detik yang pertama dan kedua 19L/detik pada 3,5 bar kedua hydrant. Jika lebih $> 1.000 \text{ m}^2$ maka ditambahkan 1 hydrant setiap penambahan 1.000 m^2 dengan pasokan air 1.200 L/menit atau 20 L/detik dan waktu waktu pasokan air simpanan 45 menit. waktu tidak kurang dari 30 menit. Maka volume tangki penyimpanan minimum adalah:

$$\text{Luas} = 12.479 \text{ m}^2$$

$$1.000 \text{ m}^2 \text{ pertama ada 2 hydrant} = 38+19= 57 \text{ L/detik}$$

$$\text{Sisa luas} = 11.479 \text{ m}^2 = 12 \text{ hydrant}$$

$$V = 57+(12 \times 20) = 287 \text{ L/detik}$$

$$= 287 \times 2.700 (45 \text{ menit}) = 7.749 \text{ L}$$

4.2 Unit Pengadaan Listrik

Umumnya kebutuhan listrik didapatkan dari PT. PLN. Karena pabrik gipsum berjalan secara kontinyu, untuk mencegah terjadinya gangguan listrik oleh PLN, pabrik ini menggunakan generator sebagai sumber listrik cadangan. Generator yang digunakan berjenis generator bolak-balik (AC). Adapun kebutuhan listrik adalah sebagai berikut.

a. Kebutuhan listrik untuk alat proses

Tabel 4.5 Kebutuhan Listrik Untuk Alat

Alat	HP	Jumlah	Total HP
Pompa H_2SO_4	1	1	1
Pompa mixer H_2SO_4	1	1	1
Pompa reaktor	1	1	1
Pompa RDVF	1	1	1
Belt Conveyor	4	2	8
Bucket Elevator	2	2	4

Screw Conveyor	7	2	14
Reaktor	32	1	32
Mixer H ₂ SO ₄	35	1	35
Rotary Drum	3,2	1	3,2
Vacuum Filter			
Rotary Dryer	37	1	7
Jumlah			107,2

b. Kebutuhan listrik untuk utilitas

Tabel 4. 6 Kebutuhan Listrik untuk Utilitas

Alat	HP	Jumlah	Total HP
Pompa air sanitasi	2	1	2
Pompa air pendingin	2	1	2
Pompa unit demineralisasi	2	1	2
Pompa unit hydrant	1	6	6
Jumlah			12

Kebutuhan listrik pengolahan = kebutuhan proses + kebutuhan utilitas
 = 42 HP + 12 HP
 = 54 HP
 = 50,2678 kW

c. Kebutuhan listrik untuk penerangan

- d. Perhitungan estimasi kebutuhan tenaga listrik untuk sistem penerangan dilakukan dengan pendekatan konsep *Luminous Efficacy*. Konsep tersebut menjelaskan perbandingan antara daya listrik yang dikonsumsi lampu dengan jumlah radiasi Cahaya yang dihasilkan dalam satuan lumen. Sehingga dapat ditentukan besarnya energi yang diperlukan untuk memenuhi standar

penerangan pada suatu ruangan. Kebutuhan pencahayaan per luas area dapat ditentukan berikut:

- e. Lumen = Area $\times$ Lux
- f. Area = luas daerah yang membuat pencahayaan (m^2)
- g. Lux = kebutuhan energi cahaya per satuan luas (lumen/m^2)
- h. Tingkat pencahayaan dalam satuan lu bervariasi sesuai dengan fungsi dan jenis area yang memerlukan penerangan. Dalam perancangan ini, nilai *lux* acuan ditetapkan berdasarkan standar yang tercantum dalam *Lighting Handbook* oleh Zumtobel Lighting GmbH serta mengacu pada standar AUS (Laura et al., 2018).

Tabel 4. 7 Kebutuhan Lumen Penerangan Pabrik

No	Indoor	Luas (m^2)	Lux (Lumen/m^2)	Lumen
1	Pos keamanan	32	100	3.200
2	Gedung Kantor Utama	500	300	150.000
3	Kantin	180	200	36.000
4	Laboratorium	204	500	102.000
5	Unit Pemadam Kebakaran	200	150	30.000
6	Gudang	200	100	20.000
7	K3 & Fire Safety	150	300	45.000
8	Bengkel	250	300	75.000
9	CCR (Ruang Kontrol)	230	500	115.000
10	Musholla	168	200	33.600
11	Ruang Timbang <i>Truck</i>	500	150	75.000
12	Poliklinik	120	300	36.000
Jumlah				720.800

Tabel 4. 8 Kebutuhan Lumen Penerangan Pabrik

No	Outdoor	Luas (m^2)	Lux (Lumen/m^2)	Lumen
----	---------	-----------------------	--------------------------------------	-------

1	Unit Penyimpanan	800	150	120.000
	Bahan Baku			
2	Unit Penyimpanan Produk	800	150	120.000
3	Unit Proses	2500	60	150.000
4	Unit Utilitas	1200	200	240.000
5	Unit Pengolahan Limbah	900	20	18.000
6	Lapangan Parkir	375	50	18.750
7	Jalan & Taman	650	60	39.000
8	Area Parkir	220	40	8.800
9	Ruang Timbang <i>Truck</i>	500	60	30.000
10	Daerah Perluasan	2300	60	138.000
Jumlah				882.550

Lampu yang akan digunakan direncanakan berasal dari *merk* Philips dengan tipe LED berdaya 14 Watt untuk penerangan di dalam ruangan (*indoor*) dan 18 Watt untuk penerangan diluar ruangan (*outdoor*). Masing-masing lampu memiliki intensitas cahaya sebesar 1400 lumen dan 2100 lumen. Berdasarkan data tersebut, dapat dihitung jumlah lampu yang digunakan dan total daya penerangan lampu, sebagai berikut:

- Jumlah lampu di ruangan *indoor*

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah lampu di ruangan } indoor &= \frac{\text{jumlah lumen ruangan } indoor}{\text{intensitas cahaya}} \\
 &= \frac{720.800}{1.400} \\
 &= 514,86 = 515 \text{ buah lampu}
 \end{aligned}$$

- Jumlah daya lampu yang digunakan ruangan (*indoor*)

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah daya lampu} &= \text{jumlah lampu} \times \text{daya} \\
 &= 515 \times 14 \text{ Watt} \\
 &= 7208 \text{ Watt} \\
 &= 7,208 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

- Jumlah lumen di ruangan *outdoor*

$$\text{Jumlah lampu di ruangan } outdoor = \frac{\text{jumlah lumen ruangan } indoor}{\text{intensitas cahaya}}$$

$$= \frac{882.550}{2.100}$$

$$= 420,26 = 420 \text{ buah lampu}$$

- Jumlah daya yang digunakan (*outdoor*)

$$\begin{aligned} \text{Jumlah daya lampu} &= \text{jumlah lampu} \times \text{daya} \\ &= 420 \times 20 \text{ Watt} \\ &= 8405,24 \text{ Watt} \\ &= 8,40524 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Total daya penerangan

$$\begin{aligned} \text{Total daya penerangan} &= 7,208 \text{ kW} + 8,40524 \text{ kW} \\ &= 15,613 \text{ kW} \end{aligned}$$

i. Kebutuhan listrik untuk pendingin udara

Tabel 4.9 Kebutuhan Listrik untuk Pendingin Udara

No	Bangunan	Luas (m ²)
1	CCR (Ruang control)	230
2	K3 & Fire Safety	150
3	Gedung Kantor Utama	500
4	Poliklinik	120
5	Laboratorium	204
6	Unit Pemadam Kebakaran	200
7	Kantin	180
8	Musholla	168
Jumlah		1752

Sistem pendingin udara yang direncanakan menggunakan tipe AC dengan tipe AC LG Hybrid Maxima Series E13CMW. Untuk kapasitas 1,5 PK dengan kebutuhan daya listrik yang diperlukan sekitar 1.095 watt. Luas area yang memerlukan AC adalah 1752 m². Sebuah AC diperkirakan cukup untuk memenuhi kebutuhan ruangan seluas 7 × 7 m². Sehingga diperoleh kebutuhan AC sebanyak 36 buah dengan perhitungan:

- Kebutuhan AC

$$\text{Kebutuhan AC} = \frac{\text{Luas area}}{\text{Luas ruangan}}$$

$$= \frac{1752}{49}$$

= 36 buah AC

- Kebutuhan listrik untuk AC

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan listrik untuk AC} &= 36 \times 1.095 \text{ Watt} \\ &= 39420 \text{ Watt} \\ &= 39,42 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Kebutuhan total listrik

$$\text{Kebutuhan total listrik} = 55,03 \text{ kW}$$

j. Kebutuhan listrik untuk generator

Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut di atas diperoleh dari generator yang merupakan cadangan jika listrik dari PLN mengalami gangguan. Generator yang beroperasi memiliki efisiensi 80%.

$$\text{Input generator} = 99,623 / 0,80 = 124,53 \text{ kW}$$

Ditetapkan output generator sebesar 200 kW

Spesifikasi generator:

- Tipe = AC Generator
- Kapasitas = 200 kW
- Tegangan = 220/360 Volt
- Efisiensi = 80%
- Frekuensi = 50 Hz
- Phase = 3 phase
- Jumlah = 1 buah
- Bahan bakar = Solar

4.3 Unit Pengadaan Steam

Unit ini bertujuan untuk mencukupi kebutuhan steam pada proses produksi, yang dengan menyediakan ketel uap (boiler) dengan spesifikasi:

Kapasitas : 13.342 kg/jam

Jenis : Water Tube Boiler

Jumlah : 1 buah

Boiler tersebut dilengkapi dengan sebuah unit *economizer safety valve* sistem dan pengaman yang bekerja secara otomatis. Air dari water treatment plant yang akan digunakan sebagai umpan boiler terlebih dahulu diatur kadar silika, O₂, Ca dan Mg yang mungkin masih terikut dengan jalan menambahkan bahan-bahan kimia ke dalam boiler feed water tank. Selain itu juga perlu diatur pH nya yaitu sekitar 10,5-11,5 karena pada pH yang terlalu tinggi korosivitasnya tinggi. Sebelum masuk ke boiler, umpan dimasukkan dahulu ke dalam economizer, yaitu alat penukar panas yang memanfaatkan panas dari gas sisa pembakaran minyak residu yang keluar dari boiler.

Di dalam alat ini air dinaikkan temperaturnya hingga 153°C, kemudian diumpankan ke boiler. Di dalam boiler, api yang keluar dari alat pembakaran (*burner*) bertugas untuk memanaskan lorong api dan pipa-pipa api. Gas sisa pembakaran ini masuk ke economizer sebelum dibuang melalui cerobong asap, sehingga air di dalam boiler menyerap panas dari dinding-dinding dan pipa-pipa api maka air menjadi mendidih. Uap air yang terbentuk terkumpul sampai mencapai tekanan 10 bar, baru kemudian dialirkan ke steam header untuk didistribusikan ke area-area proses.

4.4 Unit Pengadaan Bahan Bakar

Bahan bakar generator:

- Jenis bahan bakar = Solar
- Heating value (hv) = 19440 Btu/lb
- Efisiensi bahan bakar = 80%
- Densitas = 54,26 lb/ft³
- Specific gravity (sg) = 0,8691
- Kapasitas generator = 200 kW
= 682.428 Btu/jam
- Kebutuhan solar = kapasitas generator / (efisiensi × sg × hv)
= 682.428 / (0,8 × 0,8691 × 19440)
= 50,49 lb/jam
- Volume Solar = kebutuhan solar/densitas
= 50,49 lb/jam / 54,26 lb/ft³
= 0,93052 ft³/jam
= 26,34 L/jam

4.5 Unit Pengadaan Udara Tekan

Udara tekan memiliki fungsi utama sebagai media konversi energi dengan cara memampatkan udara di sekitarnya melalui penggunaan peralatan *pneumatic*. Dalam penggunaannya sebagai udara instrumentasi, udara tekan sangat bermanfaat untuk mengoperasikan katup atau peralatan lain yang berada di area berbahaya seperti lingkungan dengan suhu tinggi, paparan bahan kimia berbahaya, dan Lokasi yang berdekatan dengan tegangan listrik tinggi. Pemanfaatan udara tekan juga memberikan keuntungan berupa pengurangan beban kerja manusia serta mempercepat proses pengerjaan dibandingkan dengan cara manual.

Untuk menghasilkan udara tekan sesuai kebutuhan operasional pabrik, perlu peralatan khusus berupa kompresor. Kompresor berfungsi mengatur besar atau kecilnya tekanan udara yang dihasilkan sehingga sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan. Dibandingkan dengan sumber energi lain seperti tenaga listrik atau sistem hidrolik, udara tekan yang dihasilkan kompresor memiliki sejumlah keunggulan seperti proses perawatan dan pemeriksaan lebih mudah, harga peralatan yang ekonomis dan udara yang tidak menimbulkan bahaya serius bila terjadi kebocoran. Sistem penyediaan udara tekan di pabrik umumnya terdiri dari beberapa komponen utama yang saling mendukung. Pengadaan sistem udara tekan terdiri dari komponen sebagai berikut:

1. Filter Udara Masuk (FI)

Mencegah debu yang dapat menyebabkan lengketnya *valve* masuk kompresor.

2. Pendingin Antar Tahap (C)

Menggunakan air pendingin untuk menurunkan suhu udara sebelum masuk ke tahap berikutnya untuk meringankan kerja alat kompresor.

3. *After-Cooler* (AC)

Menurunkan suhu dalam alat penukar panas sehingga kadar air dalam udara dapat berkurang.

4. Pengering Udara (D)

Memanfaatkan adsorben seperti silika, karbon aktif, pengering refrigerant, atau panas dari pengering kompresor itu sendiri untuk menghilangkan sisa kadar air setelah after-cooler karena udara tekan untuk keperluan instrument dan peralatan *pneumatic* harus bebas dari kadar air.

5. *Traps* Pengeluaran Kadar Air (T)

Trap pengeluaran kadar air digunakan untuk membuang kadar air dalam udara tekan.

4.6 Unit Pengadaan Laboratorium

Unit pengadaan laboratorium berperan sangat krusial dalam suatu pabrik untuk mendukung kelancaran operasional laboratorium seperti aktivitas riset, pengendalian mutu (*quality control*), dan juga pengawasan terhadap bahan baku dan produk akhir. Umumnya, laboratorium digunakan untuk memastikan bahwa setiap bahan yang masuk dan perolehan produk sudah sesuai dengan standar mutu yang ditetapkan perusahaan.

a. Pengendalian Mutu (*Quality Control*)

Pengendalian mutu merupakan suatu kegiatan yang dilakukan secara terpadu mencakup pengawasan terhadap standar-standar seperti kualitas bahan baku, proses produksi, produk akhir, sampai standar pengiriman terhadap konsumen. Adapun tujuan hal tersebut yaitu untuk memastikan barang atau jasa sesuai dengan spesifikasi mutu yang telah direncanakan. Pada tahap uji bahan baku, dilakukan pengujian untuk memastikan kesesuaian bahan dengan spesifikasi yang dibutuhkan pabrik. Selanjutnya, uji produk setengah jadi, salah satu parameter yang dianalisis yaitu kadar CaO dengan batas maksimum 32%. Sedangkan pada uji produk akhir, beberapa parameter seperti kadar air bebas (free H_2O) maksimal 20%, kadar air kristal ($C-H_2O$) maksimal 11% serta kadar P_2O_5 dengan batas maksimum 1%. Kadar P_2O_5 perlu diminimalkan karena berpengaruh untuk *setting time* dan kuat tekan pada semen. Semakin rendah kadar P_2O_5 maka *setting time* akan lebih lambat dan kuat tekan pada semen semakin tinggi.

b. Pengendalian Mutu Lingkungan

Program pengendalian mutu lingkungan dilaksanakan dengan cara melakukan serangkaian analisis terhadap berbagai jenis limbah yang ditimbulkan selama proses berlangsung. Adapun limbah yang dihasilkan meliputi limbah cair dan limbah gas yang dapat berpotensi menimbulkan pencemaran apabila tidak ditangani dengan baik. Pengujian yang dilakukan terhadap limbah sudah melalui unit pengolahan khusus sebelum dilepaskan ke lingkungan agar memenuhi standar baku mutu lingkungan yang berlaku. Selain itu, pengendalian mutu juga diterapkan pada pembuangan air pendingin (*cooling water*) yang digunakan pada peralatan proses. Hal ini bertujuan agar pembuangan air ke lingkungan tidak menimbulkan dampak negatif.

c. Penelitian dan Pengembangan (*Research and Development*)

Penelitian dan pengembangan memiliki peran penting untuk mengatasi berbagai permasalahan terkait dengan kualitas material yang digunakan selama proses produksi. Dalam penelitian dan pengembangan, pabrik dapat meningkatkan mutu dan kuantitas produk yang dihasilkan dengan menyelaraskan kebutuhan pasar yang terus berkembang.

4.7 Unit Pengadaan Udara Tekan

4.7.1 Limbah Gas

Limbah gas yang dihasilkan pada pabrik gipsum salah satunya adalah gas CO_2 yang berasal dari proses reaksi dalam reaktor. Hasil gas CO_2 nantinya akan melalui *water scrubber* sebelum dilepaskan ke atmosfer. *Scrubber* merupakan alat yang mampu meminimalisir pencemaran udara dari gas buang. Prinsip *water scrubber* yaitu gas buang CO_2 akan disemprot dengan *water process* sehingga gas CO_2 akan bereaksi dengan H_2O membentuk asam karbonat (H_2CO_3). Kemudian unit *water scrubber* akan mengeluarkan sisa gas CO_2 yang jumlahnya sudah lebih sedikit dan sudah dibawah standar maksimum pembuangan gas CO_2 ke atmosfer.

4.7.2 Limbah Padat

Industri gipsum memiliki ciri khas yaitu menimbulkan polusi udara yang disebabkan oleh partikel debu. Partikel debu terbentuk selama kegiatan produksi berlangsung. Debu tersebut juga dapat dihasilkan dari proses penghancuran, pengayakan, pengemasan, dan semacamnya. Pada tahapan-tahapan tersebut, partikel gipsum berukuran sangat halus mudah terlepas dan menyebar ke udara.

Sistem pengendalian yang efektif dapat digunakan untuk meminimalisir dampak tersebut. Debu dapat dialirkan melalui sejumlah peralatan pengendap seperti cyclone, dust collector, bag filter, maupun electro precipitator. Setiap alat tersebut memiliki fungsi pokok sebagai penyaring atau penangkap debu serta pemisah fraksi padatan kasar dengan padatan halus pada aliran gas buang.