

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES

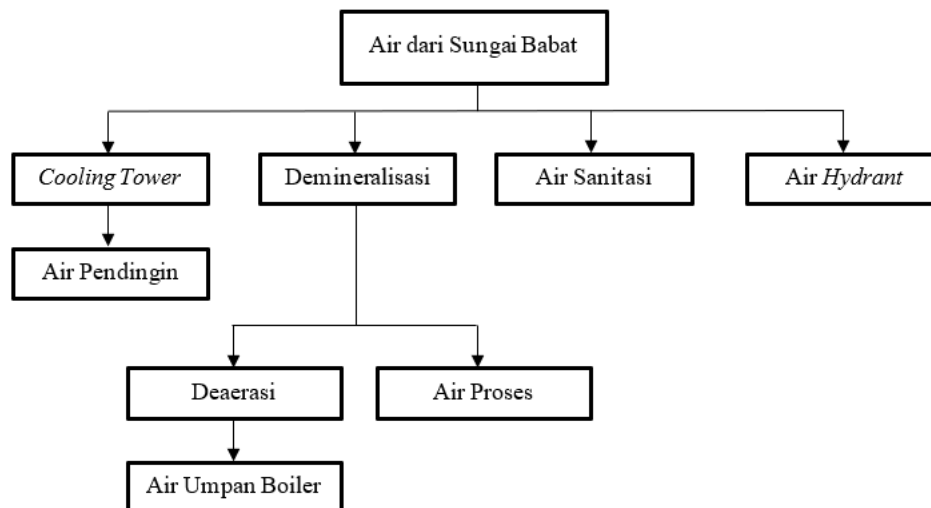
Unit pendukung proses (utilitas) berperan penting dalam menunjang kelangsungan operasi pabrik. Pada pra-rancangan pabrik gipsum dari kalsium karbonat dan asam sulfat kapasitas 160.000 ton/tahun ini, unit pendukung proses yang dibahas meliputi unit pengadaan air, listrik, steam, bahan bakar, udara bertekanan, laboratorium, dan pengolahan proses.

4.1. Unit Pengolahan dan Penyediaan Air (*Water Treatment System*)

4.1.1. Unit Pengolahan Air

Air pada pra-rancangan pabrik ini bersumber dari air sungai Babat di sekitar lokasi pabrik yang telah melalui proses pengolahan (water treatment) untuk memenuhi syarat sebagai air proses, air pendingin, air umpan boiler, dan air sanitasi. Secara umum, tahapan pengolahan air meliputi penampungan (reservoir), koagulasi dengan penambahan tawas dan kapur, klarifikasi untuk mengendapkan flok, serta filtrasi menggunakan saringan pasir cepat (rapid sand filter) untuk menghasilkan air bersih yang siap didistribusikan ke seluruh unit kebutuhan air pabrik.

Setelah melalui tahap penampungan, air baku dialirkan menuju proses koagulasi untuk mengendapkan suspensi partikel koloid yang tidak dapat mengendap secara gravitasi karena ukurannya yang sangat kecil. Pada tahap ini ditambahkan bahan koagulan berupa Aluminium Sulfat atau tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), yaitu garam hasil perpaduan basa lemah dan asam kuat sehingga mudah terhidrolisis dalam suasana basa. Selain tawas, ditambahkan pula kapur berupa Kalsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang berfungsi memberikan sifat alkalis pada air sekaligus menghilangkan kesadahan karbonat, sehingga proses penggumpalan (flokulasi) dapat berlangsung lebih optimal. Proses flokulasi bertujuan mengendapkan impuritas yang terdispersi secara koloid dengan cara menggumpalkannya menggunakan koagulan, dibantu dengan pengadukan agar larutan tawas dapat tercampur secara merata. Berikut adalah tahap pengolahan air secara umum:



Gambar 4. 1 Diagram Alir Unit Pengolahan Air

4.1.2. Unit Penyediaan Air

a) Air Pendingin

Air pendingin digunakan untuk menyerap panas pada unit-unit yang mengalami reaksi maupun proses eksotermis, yaitu pada Mixer Asam Sulfat (proses pengenceran asam sulfat pekat yang melepaskan panas besar) dan Reaktor (reaksi pembentukan gipsum yang bersifat eksotermis). Air pendingin dialirkan pada suhu masuk 30°C dan keluar pada suhu 45°C, kemudian disirkulasikan kembali melalui cooling tower agar dapat digunakan berulang, sehingga mengurangi kebutuhan air baku secara signifikan.

Air pendingin dalam basin harus memenuhi syarat bebas korosi, bebas kerak, bebas jamur, dan bebas bakteri, sehingga perlu ditambahkan bahan kimia sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Bahan Kimia yang Ditambahkan pada Air Pendingin

No.	Chemical	Value	Fungsi
1	PO ₄	5-7 ppm	Scale inhibitor
2	Zinc	Min. 0,5 ppm	Corrosion inhibitor
3	Kathon	Colonies forming unit/ml	Slime remover
4	Cl ₂ gas	0,2-0,5 ppm as free chlorine	Control microbiological growth

Tabel 4. 2 Syarat Air Pendingin

No.	Syarat	Kebutuhan
1	pH	6-8
2	Kesadahan	< 500 ppm
3	Alkalinitas	< 500 ppm
4	Silika	< 150 ppm
5	TDS (Total Dissolved Solid)	< 2.000 ppm
6	Ion asam dan basa	-

b) Air Umpan Boiler

Air umpan boiler (boiler feed water) digunakan untuk menghasilkan steam yang diperlukan pada Mixer CaCO_3 , Heat Exchanger H_2SO_4 , dan Rotary Dryer. Air umpan boiler harus memenuhi syarat bebas mineral dan kontaminan yang dapat menimbulkan kerak maupun korosi pada boiler, sehingga air baku perlu melalui proses demineralisasi terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai umpan boiler.

Agar tidak terjadi kerusakan pada boiler, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penanganan air umpan boiler, yaitu kandungan yang bersifat korosif, kandungan yang dapat menyebabkan pembentukan kerak (*scaling*), serta kandungan yang dapat menyebabkan pembentukan pengotor (*fouling*). Untuk mengendalikan konsentrasi ion-ion dalam air boiler agar tidak melampaui batas yang ditentukan, dilakukan pembuangan air secara kontinu yang disebut *blowdown*.

Korosi pada boiler pada dasarnya merupakan proses kembalinya logam menjadi bentuk bijihnya, yang dapat menimbulkan kerusakan pada permukaan logam. Korosi ini umumnya disebabkan oleh pH air yang rendah, kandungan larutan asam, gas-gas terlarut seperti O_2 , CO_2 , H_2S , dan NH_3 , maupun garam-garam terlarut dan padatan tersuspensi dalam air umpan boiler.

Pembentukan kerak terjadi akibat adanya kesadahan air pada suhu tinggi, umumnya berupa endapan garam karbonat dan silika. Untuk mencegahnya, dilakukan penambahan fosfat yang bereaksi dengan ion kalsium membentuk endapan kalsium fosfat yang bersifat ringan dan tidak menempel pada dinding tube boiler, sehingga mudah dikeluarkan melalui *blowdown*. Selain fosfat, ditambahkan pula polimer seperti lignin tannin atau polielektrolit yang berfungsi menghambat pertumbuhan kristal agar tetap berukuran kecil dan mencegah terjadinya penggumpalan.

Pembentukan busa (*foaming*) merupakan peristiwa terbentuknya gelembung-gelembung pada permukaan air di dalam drum boiler, yang umumnya disebabkan oleh kontaminasi zat organik maupun zat kimia yang tidak terkontrol dengan baik. *Foaming* dapat mempersempit ruang pelepasan uap panas serta menyebabkan terbawanya air dan kotoran bersama uap air, yang pada akhirnya dapat menimbulkan endapan dan korosi pada sistem boiler. Untuk mencegah *foaming*, selain dilakukan *blowdown* secara berkala, juga ditambahkan bahan anti foam seperti poliamida atau poliglikol.

Agar tidak terjadi kerusakan pada boiler akibat korosi, pembentukan kerak (*scaling*), maupun pengotor (*fouling*), kualitas air umpan boiler perlu disesuaikan dengan tekanan operasi boiler sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Kualitas Air Umpan Boiler

Tekanan Boiler (psig)	Padatan Total (ppm)	Alkalinitas (ppm)	Padatan Tersuspensi (ppm)	Silika (ppm)
451 - 600	2.500	500	150	50
601 - 750	2.000	400	100	35
751 - 900	1.500	300	60	20

Selain itu, air umpan boiler juga harus memenuhi persyaratan berikut untuk mencegah korosi, kerak, dan *foaming* pada sistem boiler:

Tabel 4. 4 Persyaratan Air Umpan Boiler

Parameter	Satuan	Batas Pengendalian
Total Hardness	ppm as CaCO_3	< 0,5
pH	value unit	8,5 - 9,5
Dissolved Oxygen	ppm	0,01
Silica	ppm as SiO_2	0,5

c) Air Konsumsi Umum dan Sanitasi

Air tidak hanya dibutuhkan untuk keperluan proses, tetapi juga untuk memenuhi kebutuhan umum karyawan seperti mandi, cuci, dan kakus (MCK), serta kebutuhan air minum dan laboratorium. Air yang digunakan untuk kebutuhan umum dan sanitasi harus memenuhi standar fisik (suhu sesuai lingkungan, jernih, tidak berasa dan berbau) maupun standar kimia (bebas zat organik maupun anorganik yang beracun).

Air sanitasi ditambahkan klorin sebagai oksidator sekaligus desinfektan untuk menghilangkan bau dan rasa yang tidak diinginkan, serta mengoksidasi kandungan Fe(II) dan Mn(II) yang umum terdapat pada air baku menjadi bentuk Fe(III) dan Mn(III) yang lebih mudah diendapkan. Istilah klorin dalam konteks ini tidak hanya merujuk pada gas Cl_2 , tetapi mencakup pula senyawa turunannya seperti asam hipoklorit (HOCl), ion hipoklorit (OCl^-), serta senyawa kloramin seperti monokloramin (NH_2Cl) dan dikloramin (NHCl_2) yang terbentuk dari reaksi antara amoniak dengan klorin di dalam air. Klorin dapat diperoleh dari gas Cl_2 murni maupun dari garam natrium hipoklorit (NaOCl) dan kalsium hipoklorit (Ca(OCl)_2). Pemilihan bentuk klorin yang ditambahkan turut memengaruhi kualitas air hasil desinfeksi: penambahan klorin dalam bentuk gas cenderung menurunkan pH air akibat terbentuknya asam kuat, sedangkan penambahan dalam bentuk natrium hipoklorit justru menaikkan alkalinitas air, dan kalsium hipoklorit dapat meningkatkan pH sekaligus kesadahan total air yang didesinfeksi.

d) Air Konsumsi Umum dan Sanitasi

Air pemadam kebakaran wajib tersedia di setiap pabrik untuk mengantisipasi keadaan darurat kebakaran. Penyaluran air pemadam dilakukan melalui pipa hidran yang tersambung ke seluruh lokasi pabrik. Pipa-pipa hidran dipersiapkan pada lokasi-lokasi

strategis di sekitar pabrik, dengan pertimbangan kemudahan pencapaian ke seluruh area pabrik apabila sewaktu-waktu terjadi kebakaran.

4.1.3. Kebutuhan Air

Secara umum, penyediaan kebutuhan air baik untuk keperluan air pendingin, air umpan boiler, air proses, air domestik, maupun air hidran pada pra-rancangan pabrik gipsium ini diperkirakan sebagai berikut:

1) Kebutuhan Air Pendingin

Kebutuhan air pendingin dihitung berdasarkan beban panas yang harus diserap pada Mixer Asam Sulfat dan Reaktor, dengan total kebutuhan sebesar 411.988,30 kg/jam.

2) Kebutuhan Air Umpan Boiler

Total kebutuhan steam proses pada Mixer CaCO_3 , Heat Exchanger H_2SO_4 , dan *Rotary Dryer* adalah 4.442,59 kg/jam. Dengan mempertimbangkan *blowdown* boiler sebesar 4% dan kehilangan steam (*steam loss*) sebesar 2%, maka total air umpan boiler yang dibutuhkan adalah sebesar 4.726,16 kg/jam.

3) Kebutuhan Air Proses

Air proses digunakan sebagai bahan pelarut dan pencuci pada beberapa unit, yaitu air pelarut pada Mixer CaCO_3 , air pengencer pada Mixer Asam Sulfat, air pencuci pada Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF), dan air penyerap pada Scrubber, dengan total kebutuhan sebesar 14.094,82 kg/jam.

4) Kebutuhan Air Domestik

Berikut jumlah kebutuhan air domestik yang dibutuhkan:

a. Air untuk karyawan

Berdasarkan SNI 03-7065-2005, standar kebutuhan air bersih non-domestik adalah 120 liter/orang/hari. Dengan jumlah karyawan sebanyak 140 orang, maka kebutuhan air sanitasi adalah sebesar 700,00 kg/jam.

b. Air untuk laboratorium

Kebutuhan air laboratorium untuk keperluan analisis dan pengujian mutu diasumsikan sebesar 20% dari kebutuhan air sanitasi, yaitu sebesar 140,00 kg/jam.

5) Kebutuhan Air Hidran (Pemadaman Kebakaran)

Berdasarkan standar SNI, laju alir minimum hidran adalah 2.400 liter/menit pada tekanan 3,5 bar dengan durasi minimum pemadaman selama 45 menit, sehingga volume cadangan air pemadam kebakaran yang perlu disediakan adalah sebesar 108,00 m³. Kebutuhan ini bersifat cadangan (bukan kebutuhan kontinu) dan disediakan untuk mengantisipasi keadaan darurat.

Tabel 4. 5 Rekapitulasi Kebutuhan Air Pabrik

Kebutuhan Air	Jumlah	Satuan
Air Pendingin	479.885,99	kg/jam
Air Umpan Boiler (BFW)	4.726,16	kg/jam
Air Proses	14.094,82	kg/jam
Air Sanitasi	700,00	kg/jam
Air Laboratorium	140,00	kg/jam
Total (kontinu)	431.649,28	kg/jam
Air Pemadam Kebakaran (cadangan)	108,00	m ³

4.2. Unit Pengadaan Listrik

Unit ini berfungsi untuk mengkonversikan tenaga listrik menjadi tenaga mekanik untuk menggerakkan peralatan proses. Sumber listrik utama berasal dari PT PLN (Persero), sedangkan sebagai antisipasi adanya gangguan listrik dari PLN, mengingat proses produksi pabrik gipsum berlangsung secara kontinu, maka disediakan generator sebagai sumber listrik cadangan. Generator yang dipilih merupakan generator arus bolak-balik (AC) 3 fase, dengan pertimbangan tegangan listrik yang stabil, fleksibel dalam pemilihan voltase, kemampuan daya kerja yang besar, serta biaya dan perawatan yang relatif lebih murah dibandingkan generator jenis lain.

4.2.1. Kebutuhan Listrik untuk Proses

Tabel 4. 6 Kebutuhan Listrik untuk Alat Proses

Alat	Daya (hp)	Jumlah	Total (kW)
Mixer CaCO ₃	0,80	1	0,60
Mixer Asam Sulfat	0,37	1	0,28
Reaktor	5,04	1	3,76
RDVF	6,93	1	5,17
Rotary Dryer	20,90	1	15,59
Screw Conveyor	1,00	1	0,75
Bucket Elevator	3,62	1	2,70
Pompa	4,53	2	6,76
Vibrating Screen Produk	2,20	2	3,28
Weighter	4,02	1	3,00
Jumlah			41,87

Selain kebutuhan listrik untuk alat proses, terdapat pula kebutuhan listrik untuk unit utilitas, yaitu pompa-pompa pendukung (air pendingin, air umpan boiler, air proses, dan air sanitasi), fan cooling tower, forced draft fan boiler, serta pompa air pemadam kebakaran, dengan total kebutuhan sebesar 31,71 kW. Sehingga total kebutuhan listrik pengolahan adalah:

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan listrik pengolahan} &= \text{Kebutuhan Proses} + \text{Kebutuhan Utilitas} \\ &= 41,87 \text{ kW} + 31,71 \text{ kW} \\ &= 73,58 \text{ kW}\end{aligned}$$

4.2.2. Kebutuhan Listrik untuk Penerangan

Perkiraan besarnya tenaga listrik yang dibutuhkan untuk keperluan penerangan ditentukan menggunakan konsep Luminous Efficacy, yaitu tenaga radiasi cahaya yang

dikeluarkan oleh lampu dalam bentuk lumen. Kebutuhan pencahayaan per luas area ditentukan dengan persamaan:

$$\text{Lumen} = \text{Luas Area} \times \text{Standar Lux}$$

Nilai standar lux berbeda tergantung pada fungsi area yang akan diberi penerangan, mengacu pada standar SNI penerangan. Kebutuhan lumen untuk area indoor dan outdoor ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 7 Kebutuhan Lumen Penerangan Indoor

Ruangan	Luas (m²)	Lux	Lumen
Perkantoran	258	350	90.300
Control Room	100	350	35.000
Laboratorium	60	500	30.000
Poliklinik	60	250	15.000
Masjid/Mushola	100	200	20.000
Kantin	168	200	33.600
HSE/K3	30	200	6.000
Gudang Kemasan	500	100	50.000
Bengkel/Maintenance	60	200	12.000
Jumlah	1.336		291.900

Tabel 4. 8 Kebutuhan Lumen Penerangan Outdoor

Area	Luas (m²)	Lux	Lumen
Pos Keamanan	30	100	3.000
Area Proses	9.543,09	200	1.908.618
Jumlah	9.573,09		1.911.618

Lampu yang direncanakan untuk digunakan adalah lampu Philips TL, dengan daya 16 Watt (1.000 lumen) untuk ruangan indoor dan 50 Watt (4.500 lumen) untuk area outdoor. Sehingga dapat dihitung jumlah lampu dan total daya penerangan sebagai berikut:

- I. Jumlah lumen indoor = 291.900 lumen
 Jumlah lampu indoor = $291.900 / 1.000 = 292$ lampu
 Kebutuhan daya penerangan indoor = $292 \times 16 \text{ Watt} = 4,67 \text{ kW}$
- II. Jumlah lumen outdoor = 1.911.618 lumen
 Jumlah lampu outdoor = $1.911.618 / 4.500 = 425$ lampu
 Kebutuhan daya penerangan outdoor = $425 \times 50 \text{ Watt} = 21,25 \text{ Kw}$
 Total daya penerangan = $4,67 \text{ kW} + 21,25 \text{ kW} = 25,92 \text{ kW}$

4.2.3. Kebutuhan Listrik untuk Pendingin Udara (AC)

Tabel 4. 9 Kebutuhan Listrik untuk Pendingin Udara (AC)

Ruangan	Luas (m ²)
Perkantoran	258
Control Room	100
Laboratorium	60
Poliklinik	60
Masjid/Mushola	100
Kantin	168
HSE/K3	30
Jumlah	776

Air Conditioner (AC) direncanakan menggunakan AC split dengan kapasitas 1,5 PK per unit. Standar luas ruangan yang dapat dilayani oleh 1 unit AC 1,5 PK adalah 49 m². Luas total ruangan yang memerlukan AC adalah 776 m², sehingga dibutuhkan AC sejumlah:

$$\text{Jumlah unit AC} = 776 / 49 = 16 \text{ unit}$$

$$\text{Daya per unit AC} = 1,5 \text{ PK} \times 0,7457 \text{ kW/PK} \times 0,7 \text{ (faktor beban)} = 0,78 \text{ kW}$$

Kebutuhan listrik untuk AC = 16 unit x 0,78 kW = 12,53 kW

Kebutuhan total listrik = kebutuhan pengolahan + penerangan + AC

= 73,58 kW + 25,92 kW + 12,53 kW

= 112,03 Kw

Dengan mempertimbangkan faktor cadangan (safety margin) sebesar 20% untuk mengantisipasi penambahan beban listrik di masa mendatang, maka total kebutuhan listrik terpasang pada pabrik ini adalah sebesar 134,44 kW.

4.2.4. Kebutuhan Listrik untuk Generator

Untuk memenuhi kebutuhan listrik pabrik apabila terjadi gangguan pasokan dari PLN, disediakan generator sebagai sumber listrik cadangan. Generator direncanakan beroperasi dengan efisiensi 80%.

Input generator = 134,44 kW / 0,80 = 168,05 kW

Ditetapkan kapasitas generator sebesar 150 kW (dibulatkan ke standar kapasitas terdekat).

Spesifikasi generator:

- Jenis = AC Generator, 3 fase
- Kapasitas = 150 kW
- Bahan bakar = Solar
- Kebutuhan bahan bakar = 17,18 kg/jam (dibahas lebih lanjut pada Sub Bab 4.4 Unit Pengadaan Bahan Bakar)

4.3. Unit Pengadaan Sistem

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

Kapasitas : 4.726,16 kg/jam

Jenis : Water Tube Boiler

Jumlah : 1 buah

Boiler tersebut dilengkapi dengan sebuah unit economizer, safety valve, serta sistem pengaman yang bekerja secara otomatis. Air dari unit pengolahan air (water treatment) yang akan digunakan sebagai umpan boiler terlebih dahulu diatur kadar silika, O^2 , Ca, dan Mg yang mungkin masih terikut, dengan menambahkan bahan-bahan kimia ke dalam *boiler feed water tank* sesuai persyaratan pada Tabel 4.4. Sebelum masuk ke boiler, umpan air terlebih dahulu dimasukkan ke dalam economizer, yaitu alat penukar panas yang memanfaatkan panas dari gas sisa pembakaran bahan bakar solar yang keluar dari boiler, sehingga terjadi penghematan energi.

Di dalam boiler, panas hasil pembakaran bahan bakar oleh burner memanaskan pipa-pipa api sehingga air umpan boiler menyerap panas dan mendidih hingga terbentuk uap (*steam*). Uap yang terbentuk dialirkan menuju *steam header* pada tekanan 2 atm dan suhu $120^{\circ}C$ untuk selanjutnya didistribusikan ke unit-unit proses yang membutuhkan, yaitu Mixer $CaCO_3$, Heat Exchanger H_2SO_4 , dan Rotary Dryer, dengan total kebutuhan steam proses sebesar 4.442,59 kg/jam.

Dalam pengoperasian boiler, sebagian air umpan perlu dibuang secara berkala melalui proses blowdown untuk mencegah akumulasi padatan terlarut, dengan asumsi kehilangan sebesar 4% dari total air umpan boiler. Selain itu, turut diperhitungkan pula kehilangan steam (*steam loss*) akibat kebocoran maupun kondensasi pada jalur distribusi sebesar 2%. Dengan mempertimbangkan kedua faktor tersebut, maka total kebutuhan air umpan boiler (*boiler feed water*) yang harus disediakan adalah:

$$\begin{aligned}\text{Air Umpan Boiler} &= \text{Kebutuhan Steam Proses} / (1 - \% \text{ Blowdown} - \% \text{ Steam Loss}) \\ &= 4.442,59 \text{ kg/jam} / (1 - 0,04 - 0,02) \\ &= 4.726,16 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

4.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan pada pra-rancangan pabrik ini adalah solar, baik untuk kebutuhan boiler maupun generator, dengan sifat fisik sebagai berikut:

Jenis bahan bakar = Solar

Heating value (hv) = 19.440 Btu/lb

Efisiensi bahan bakar = 80%

Densitas = 54,26 lb/ft³

$$\text{Specific gravity (sg)} = 0,8691$$

A. Bahan Bakar Boiler

Kebutuhan bahan bakar boiler dihitung berdasarkan beban panas (Q) yang diperlukan untuk menghasilkan air umpan boiler (BFW) sebesar 4.726,16 kg/jam pada suhu 120°C, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kebutuhan solar} = Q \text{ boiler} / (\text{efisiensi} \times \text{sg} \times \text{hv})$$

$$= 387,83 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Volume solar} = \text{kebutuhan solar} / \text{densitas}$$

$$= 446,21 \text{ L/jam}$$

$$= 3.071,63 \text{ ton/tahun}$$

B. Bahan Bakar Generator

Generator digunakan sebagai sumber listrik cadangan yang bersifat standby, bukan kebutuhan kontinu, dan hanya beroperasi apabila terjadi gangguan pasokan listrik dari PLN.

$$\text{Kapasitas generator} = 150 \text{ kW} = 511.821 \text{ Btu/jam}$$

$$\text{Kebutuhan solar} = \text{kapasitas generator} / (\text{efisiensi} \times \text{sg} \times \text{hv})$$

$$= 511.821 / (0,8 \times 0,8691 \times 19.440)$$

$$= 37,87 \text{ lb/jam}$$

$$= 17,18 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Volume solar} = \text{kebutuhan solar} / \text{densitas}$$

$$= 37,87 \text{ lb/jam} / 54,26 \text{ lb/ft}^3$$

$$= 0,70 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 19,76 \text{ L/jam}$$

4.5. Unit Pengadaan Udara Tekan

Udara tekan berfungsi untuk mengonversi energi dengan cara memampatkan udara di sekitarnya, memanfaatkan peralatan pneumatik. Sebagai udara instrumentasi, udara tekan

bermanfaat untuk mengoperasikan katup kontrol (control valve) pada aliran proses yang berada di daerah berbahaya, seperti area dengan kondisi bertekanan atau bersuhu tinggi, tanpa perlu dioperasikan secara langsung oleh manusia. Penggunaan udara tekan memungkinkan penghematan daya sekaligus mempersingkat waktu pengoperasian katup.

Untuk menghasilkan udara tekan yang dibutuhkan pabrik, digunakan alat kompresor. Udara tekan yang dihasilkan kompresor memiliki kelebihan dibandingkan penggerak listrik maupun tenaga hidrolik, di antaranya konstruksi dan operasi mesin yang sederhana, pemeliharaan dan pemeriksaan mesin yang mudah, harga peralatan yang relatif lebih murah, serta kebocoran udara yang tidak membahayakan maupun mencemari lingkungan. Sistem pengadaan udara tekan pada pra-rancangan pabrik ini terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut:

1. Filter Udara Masuk

Berfungsi mencegah debu yang dapat menyebabkan lengketnya valve pada bagian masuk kompresor.

2. Pendingin Antar Tahap

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

3. *After – Cooler*

Menurunkan suhu udara keluaran kompresor melalui alat penukar panas, sehingga kadar air dalam udara dapat berkurang.

4. Pengering Udara

Memanfaatkan adsorben seperti silika gel atau karbon aktif untuk menghilangkan sisa kadar air setelah proses pendinginan, mengingat udara tekan untuk keperluan instrumentasi dan peralatan pneumatik harus bebas dari kandungan air.

5. Trap Pengeluaran Kadar Air

Digunakan untuk membuang kadar air yang terkondensasi dalam sistem udara tekan.

Udara tekan pada pra-rancangan pabrik ini digunakan untuk mengoperasikan katup kontrol (control valve) pada 8 titik pengendalian, meliputi aliran bahan baku kalsium karbonat dan asam sulfat, aliran steam pada Mixer CaCO_3 dan Heat Exchanger H_2SO_4 , aliran air pendingin pada Mixer Asam Sulfat dan Reaktor, aliran produk Reaktor menuju

RDVF, serta aliran udara panas pada Rotary Dryer. Berdasarkan standar kebutuhan udara sebesar 1,5 scfm per control valve, dengan mempertimbangkan faktor kontingensi (kebocoran dan kemungkinan penambahan di masa mendatang) sebesar 20%, maka total kebutuhan udara tekan pada pra-rancangan pabrik ini adalah sebesar 14,40 scfm atau setara dengan 24,47 Nm³/jam.

4.6. Unit Laboratorium

Tugas dan fungsi utama laboratorium adalah melakukan pencatatan, pelaporan, dan analisis terhadap faktor penyebab terjadinya penyimpangan kualitas bahan baku, produk, metode kerja, maupun sumber daya manusia yang terlibat dalam proses produksi.

a) Pengendalian Mutu (*Quality Control*)

Pengendalian mutu merupakan kegiatan terpadu yang mencakup pengendalian standar kualitas bahan baku, standar proses produksi, produk setengah jadi (intermediate), hingga produk akhir, agar barang yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi mutu yang direncanakan.

Uji bahan baku dilakukan untuk membuktikan kesesuaian bahan baku kalsium karbonat dan asam sulfat dengan spesifikasi yang dibutuhkan pabrik, sesuai standar yang telah dijelaskan pada Sub Bab 2.1. Apabila bahan baku tidak memenuhi spesifikasi, Departemen Quality Control berwenang menerbitkan surat penolakan (return) kepada pemasok.

Uji produk gipsum dilakukan dengan mengacu pada standar mutu gipsum untuk aditif semen (*cement grade gypsum*), meliputi:

Tabel 4. 10 Standar Mutu Produk Gipsum untuk Aditif Semen

Parameter	Batas
Kemurnian CaSO ₄ .2H ₂ O	Minimal 91-92%
Kadar air bebas (free water)	Maksimal 1%
Kadar P ₂ O ₅ (impurities)	Maksimal 0,50%

Kandungan pengotor (impurities) seperti P₂O₅ perlu dikendalikan karena dapat memengaruhi waktu pengikatan (setting time) dan kekuatan semen pada aplikasinya sebagai

bahan aditif. Semakin rendah kandungan impurities, semakin baik kinerja gipsum sebagai retarder pada industri semen.

b) Pengendalian Lingkungan

Program ini mencakup analisis terhadap limbah hasil proses produksi, baik limbah cair maupun limbah gas, sebelum dan sesudah melalui unit pengolahan limbah, guna memastikan hasil buangan telah memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dilepas ke badan air maupun udara bebas. Selain itu, dilakukan pula analisis terhadap air pendingin (cooling water) yang telah digunakan pada unit-unit proses sebelum disirkulasikan kembali.

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

Kegiatan penelitian dan pengembangan bermanfaat untuk mengatasi permasalahan yang berkaitan dengan kualitas material dalam proses produksi, guna meningkatkan mutu produk serta menyesuaikan hasil produksi dengan kebutuhan pasar yang terus berkembang.

4.7. Unit Pengolahan Limbah

1. Limbah Gas

Limbah gas yang dihasilkan pada pra-rancangan pabrik gipsum ini adalah gas CO₂ yang berasal dari reaksi kimia di dalam Reaktor, dengan laju alir sebesar 5.167,96 kg/jam. Gas CO₂ tersebut kemudian dialirkan menuju Scrubber, di mana gas CO₂ akan disemprot dengan air proses sehingga bereaksi membentuk asam karbonat (H₂CO₃) sesuai reaksi:



Asam karbonat yang terbentuk kemudian ditampung dan berpotensi dimanfaatkan sebagai produk samping dari pabrik ini. Sisa gas CO₂ yang tidak terserap oleh Scrubber, yang jumlahnya telah berada di bawah standar maksimum baku mutu emisi, selanjutnya dibuang ke atmosfer melalui Kompresor Gas Buang.

2. Limbah Padat

Salah satu karakteristik industri pabrik gipsum adalah berpotensi menimbulkan pencemaran udara melalui debu yang dihasilkan selama proses produksi. Limbah padat berupa debu pada pra-rancangan pabrik ini dihasilkan terutama dari proses pengeringan di Rotary Dryer, di mana udara panas yang keluar membawa partikel debu gipsum.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, debu yang terbawa udara panas dilewatkan melalui Cyclone dengan efisiensi penangkapan sebesar 95%, sehingga sebagian besar partikel padatan dapat dipisahkan dan dikembalikan sebagai produk, sedangkan sisa debu yang lolos bersama udara buang telah berada dalam jumlah yang memenuhi baku mutu emisi partikulat sebelum dilepas ke atmosfer melalui Stack.