

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES DAN LABORATORIUM

4.1. Unit Pendukung Proses

Unit utilitas atau pendukung proses memiliki peran penting dalam memastikan proses operasional di pabrik berjalan dengan lancar. Contoh dari unit ini meliputi penyediaan air, uap (steam), tenaga listrik, udara bertekanan, bahan bakar, dan sistem pengelolaan limbah (Nugroho *et al.*, 2025).

Menurut Nugroho *et al.*, 2025 beberapa unit utilitas yang dirancang untuk mendukung kegiatan operasional di pabrik ammonium klorida antara lain:

a) Unit Pengadaan dan Pengolahan Air

Unit penyediaan dan pengolahan air berperan dalam memenuhi kebutuhan air di pabrik, dimulai dari proses pengambilan hingga pengolahan agar air siap digunakan dalam berbagai aktivitas operasional.

b) Unit Pengadaan Steam

Unit pembangkit uap berfungsi untuk memenuhi kebutuhan uap/steam yang digunakan sebagai media pemanas dalam peralatan proses seperti *heat exchanger*, reaktor, dan evaporator. Uap ini dihasilkan melalui sistem *boiler*.

c) Unit Pengadaan Tenaga Listrik

Unit pengadaan tenaga listrik bertugas menyediakan pasokan energi listrik yang diperlukan untuk mengoperasikan peralatan proses, sistem penerangan, serta mendukung kebutuhan fasilitas kantor dan laboratorium.

d) Unit Pengadaan Bahan Bakar

Unit pengadaan bahan bakar digunakan untuk memastikan ketersediaan bahan bakar yang digunakan sebagai sumber energi dalam pengoperasian boiler dan generator.

e) Unit Pengadaan Udara Tekan

Unit pengadaan udara bertekanan berperan dalam menghasilkan dan mendistribusikan udara tekan yang dibutuhkan dalam operasional pabrik, khususnya untuk mendukung sistem instrumentasi dan kebutuhan udara di berbagai area pabrik.

f) Unit Pengolahan Limbah

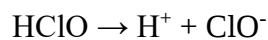
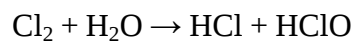
Unit pengolahan limbah bertugas mengelola dan memproses limbah yang dihasilkan dari kegiatan produksi, baik berupa gas, partikel, maupun limbah cair, agar sesuai dengan standar lingkungan sebelum dibuang.

4.1.1. Unit Pengadaan dan Pengolahan Air

Pada perancangan pabrik Amonium Klorida ini, sumber air di Kawasan Industri *Pasuruan Industrial Estate Rembang* (PIER) berasal dari PDAM Giri Nawa Tirta yang telah melalui proses pengolahan air (Za'ari, 2019). Air tersebut kemudian digunakan di area pabrik untuk berbagai keperluan, antara lain:

a) Air Sanitasi

Air sanitasi berfungsi memenuhi kebutuhan air minum, serta kebutuhan di area kantor dan laboratorium. Setelah melalui proses demineralisasi, air minum ditambahkan desinfektan untuk membunuh bakteri atau mikroorganisme yang ada. Desinfektan yang umum digunakan adalah klorin, yang akan bereaksi dengan air membentuk asam klorida dan asam hipoklorida (Santoso *et al.*, 2017). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Reaksi-reaksi ini sangat dipengaruhi oleh nilai pH air. Pada kondisi pH yang tinggi (konsentrasi ion H^+ rendah), reaksi cenderung bergerak ke arah kanan, menghasilkan lebih banyak ion hipoklorit (ClO^-). Sebaliknya, pada pH rendah, pembentukan ClO^- akan berkurang (Rukminasari *et al.*, 2014; Supriatna *et al.*, 2020). Secara umum, proses desinfeksi dengan klorin akan bekerja secara optimal pada pH netral atau sedikit di atasnya, yaitu sekitar pH 7 (Kurniati *et al.*, 2020). Dosis klorin yang diterapkan dalam proses desinfeksi air sungai berkisar antara 0,5 hingga 1,5 ppm.

Ketentuan mengenai kualitas air sanitasi tertuang dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017, yang mencakup:

a. Kriteria Fisik:

- Suhu air harus lebih rendah dari suhu udara sekitar
- Tidak memiliki bau
- Tidak memiliki rasa
- Tampak jernih dan tidak berwarna

b. Kriteria Kimia:

- Bebas dari kandungan zat organik maupun anorganik
- Tidak mengandung zat yang bersifat racun

c. Kriteria Biologis

- Tidak mengandung mikroorganisme, khususnya yang bersifat patogen
- Tidak mengandung bakteri koliform yang menjadi indikator pencemaran dari tinja

Syarat air bersih yang sesuai dengan standar Permenkes RI No 32 Tahun 2017

ditunjukkan pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Syarat air bersih (Permenkes RI No 32 Tahun 2017)

No	Paramater	Satuan	Syarat-syarat max. diijinkan	Keterangan
A. Fisika				
1	Bau			Tidak Berbau
2	Rasa			Tidak Berasa
3	Suhu	°C	Suhu udara ± 3	
4	TDS	Mg/1	1.000	
5	Kekeruhan	Skala NTU	25	
6	Warna	Skala TCU	50	
B. Biologi				
1. Kimia Organik				
1	Seng	mg/L	15	
2	Sulfat	mg/L	400	
3	Timbal	mg/L	0,05	
4	Benzene	mg/L	0,01	
5	Zat organik (KMNO ₄)	mg/L	10	
6	Arsen	mg/L	0,05	
7	Air raksa	mg/L	0,001	
8	Kromium	mg/L	0,05	
9	Kadmium	mg/L	0,005	
10	Selenium	mg/L	0,01	
11	Nitrit	mg/L	1	
12	pH		6,5-8,5	Merupakan batas minimum dan maksimum, khusus air hujan minimum 5,5
13	Sianida	mg/L	0,1	
14	Sulfat	mg/L	400	
15	Selenium	mg/L	0,01	
16	Seng	mg/L	15	
17	Timbal	mg/L	0,05	
2. Kimia Anorganik				
1	Aldrin dan Diedrin	mg/L	0,0007	
2	Benzene	mg/L	0,01	
3	Benzo (a) pyrene	mg/L	0,00001	
4	Chlrodane (total isomer)	mg/L	0,007	
5	Chloroform	mg/L	0,03	
6	2,4 D	mg/L	0,1	

No	Paramater	Satuan	Syarat-syarat max. diijinkan	Keterangan
7	DDT	mg/L	0,03	
8	Detergen	mg/L	0,5	
9	1,2 Dischloroethene	mg/L	0,01	
10	1,1 Dischloroethene	mg/L	0,0003	
11	Heptachlor dan heptachlor epoxide	mg/L	0,003	
12	Hexachlorobenzeme	mg/L	0,00001	
13	Gamma0 HCl (Lindane)	mg/L	0,004	
14	Methoxychlor	mg/L	0,1	
15	Pentachlorophanol	mg/L	0,01	
16	Pestisida total	mg/L	0,1	
17	2,4,6 trichlorophenol	mg/L	0,01	
18	Zat organik (KMNO ₄)	mg/L	10	

b) Air Pendingin

Air sering digunakan sebagai media pendingin karena beberapa alasan (Droste, 1997), antara lain:

- Ketersediaannya yang melimpah
- Tidak mudah mengalami dekomposisi
- Kemampuannya yang tinggi dalam menyerap panas per satuan volume

Namun, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan air sebagai pendingin (Droste, 1997), yaitu:

- Kandungan mineral yang menyebabkan kesadahan dapat menimbulkan kerak
- Risiko korosi akibat reaksi elektrokimia antara zat kimia dalam air dengan permukaan logam, yang dapat merusak komponen logam pada alat yang digunakan.

Dalam kegiatan sehari-hari, air pendingin yang digunakan berasal dari air yang sebelumnya telah dipakai pabrik dan kemudian didinginkan kembali melalui *cooling tower*. Kehilangan air akibat penguapan, terbawa oleh aliran udara dalam bentuk tetesan, atau yang dibuang melalui proses *blow down* di *cooling tower*, akan digantikan dengan pasokan air dari tangki penyimpanan air hasil filtrasi (*filtered water storage*).

Air pendingin idealnya memiliki sifat yang tidak menimbulkan korosi, tidak menyebabkan pembentukan kerak, dan bebas dari mikroorganisme yang dapat memicu

pertumbuhan lumut (Droste, 1997). Untuk mencegah hal-hal tersebut, beberapa jenis bahan kimia ditambahkan ke dalam sistem air pendingin (Droste, 1997), antara lain:

- a. Trisodium fosfat berfungsi untuk mencegah pembentukan kerak.
- b. Klorin digunakan sebagai desinfektan untuk membasmi mikroorganisme.
- c. Zat dispersant ditambahkan guna menghindari penggumpalan atau pengendapan fosfat.

c) Air Proses

Dalam produksi amonium klorida, air proses dimanfaatkan untuk pengenceran NaCl dan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, serta untuk mencuci kristal NH_4Cl pada unit *centrifuge filter*. Air ini berasal dari air demineralisasi, yang meskipun telah melalui pemurnian, masih mengandung sedikit mineral dan padatan dengan batas maksimum kandungan zat pengotor sebesar 0,5 ppm. Penggunaan air ini bertujuan untuk menghindari reaksi sampingan di dalam reaktor serta mencegah peningkatan kadar impuritas dalam produk kristal amonium klorida (Kamala, 1988).

d) Air Umpan Boiler

Menurut Hutchler, 1998 beberapa aspek penting yang harus diperhatikan dalam penanganan air umpan boiler saat merancang sebuah pabrik meliputi:

- a. Zat penyebab korosi

Korosi pada boiler dapat terjadi karena keberadaan larutan asam dan gas-gas terlarut dalam air. Selain itu, pH air yang terlalu rendah serta keberadaan gas-gas bersifat korosif turut memperparah kondisi ini. Gas-gas seperti CO_2 dan O_2 , yang dapat masuk ke dalam air melalui aerasi atau kontak langsung dengan udara, merupakan penyebab umum terjadinya korosi.

- b. Zat pembentuk kerak (*scale forming*)

Pembentukan kerak terjadi karena kandungan kesadahan dalam air dan temperatur tinggi, yang memicu pengendapan garam-garam seperti karbonat dan silikat. Untuk mencegah terbentuknya kerak dari sisa kesadahan tersebut, Trisodium Phosphat ditambahkan ke dalam sistem.

- c. Zat penyebab *foaming*

Air yang digunakan dalam proses pemanasan dapat menimbulkan pembentukan busa (*foaming*) di dalam boiler jika mengandung banyak zat organik, anorganik, atau partikel tak larut. *Foaming* umumnya terjadi saat tingkat alkalinitas air terlalu tinggi. Gelembung busa muncul di permukaan air boiler akibat adanya kontaminasi minyak. Untuk mencegah terjadinya busa, dapat menerapkan prosedur *blow down*

secara tepat atau penambahan zat anti-*foam* seperti polyamida atau polyglycol.

4.1.1.1. Pengolahan Air

Kebutuhan air di sebuah pabrik dapat disediakan melalui pemanfaatan air sungai di sekitar lokasi, namun air tersebut harus terlebih dahulu diolah agar memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Pengolahan ini mencakup proses fisik dan kimia, seperti penambahan desinfektan atau penggunaan *ion exchanger*. Proses pengolahan air secara lengkap ditunjukkan pada gambar 4.1 dan 4.2. Pertama-tama, air mentah (raw water) yang berasal dari sungai disaring menggunakan screen guna menghilangkan kotoran atau sampah yang terbawa oleh aliran air. Selanjutnya, air dialirkan ke dalam tangki koagulasi-flokulasi, tempat air tersebut diaduk dengan kecepatan tinggi sambil diberi tambahan bahan kimia tertentu (Kemmer, 1988), di antaranya:

- Penambahan tawas dan FeSO_4 berfungsi sebagai koagulan. Kedua zat ini akan bereaksi dalam air membentuk endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang tidak larut, yang mampu mengikat partikel-partikel tersuspensi dan membentuk flok-flok yang menggumpal. Karena memiliki massa jenis lebih besar dari air, flok-flok tersebut akan mengendap secara alami akibat gaya gravitasi.
- Kalsium hipoklorit atau klorin cair digunakan sebagai zat desinfektan untuk membunuh mikroorganisme dalam sistem.

Setelah melewati tangki koagulasi flokulasi, air dialirkan ke dalam *clarifier*, di mana flok-flok yang terbentuk akan mengendap secara gravitasi sambil diaduk dengan kecepatan rendah. Lumpur yang mengendap kemudian dibuang melalui proses *blow down*, sementara air yang keluar dari bagian atas *clarifier* mengalir secara *overflow* dan dipompa menuju *sand filter*. Di *sand filter*, air dari tangki *clarifier* yang mungkin masih mengandung flok-flok akan tersaring, dan kemudian ditampung dalam dua buah tangki (Kemmer, 1988), yaitu:

- *Filtered water storage tank* berperan sebagai penampung air yang akan digunakan untuk keperluan *make-up* air pendingin, sistem *hydrant*, serta sebagai air umpan bagi unit demineralisasi.
- *Portable water storage tank* berfungsi menampung air yang dialokasikan bagi kebutuhan sehari-hari serta keperluan di area permukiman.

1. Unit Demineralisasi Air

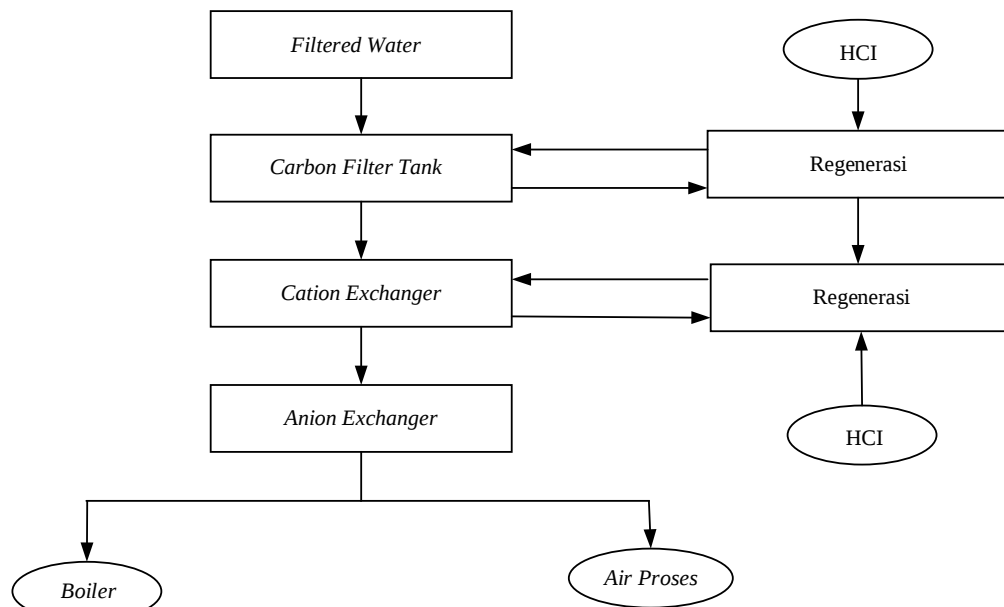
Menurut Baruth, 1998 unit demineralisasi berperan dalam menghilangkan kandungan mineral dari air seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , dan lainnya,

dengan bantuan resin. Air yang dihasilkan merupakan air tanpa kandungan mineral, yang selanjutnya akan diolah menjadi air umpan ketel (*boiler feed water*).

Menurut Baruth, 1998 demineralisasi air diperlukan karena air umpan ketel (*boiler feed water*) harus memenuhi beberapa syarat, antara lain:

- Tidak menyebabkan pembentukan kerak pada kondisi *steam* yang diinginkan atau pada pipa *heat exchanger*, jika *steam* digunakan sebagai pemanas. Pembentukan kerak ini dapat menurunkan efisiensi operasi bahkan menyebabkan penghentian operasi.
- Bebas dari gas-gas yang dapat menyebabkan korosi, terutama gas O_2 dan CO_2 .

Sebagian air dari *filtered water storage* dialirkan ke unit demineralisasi, sementara sisanya digunakan sebagai *make-up water*. Diagram alir proses demineralisasi dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.

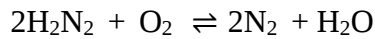


Gambar 4. 1 Diagram Alir Proses Demineralisasi (Baruth, 1998)

2. Unit Dearasi

Air umpan boiler perlu melalui proses *external treatment* untuk menghilangkan gas-gas terlarut, terutama karbon dioksida dan oksigen. Meskipun telah melalui proses demineralisasi, air tersebut masih dapat mengandung gas-gas terlarut seperti O_2 dan CO_2 . Gas-gas tersebut perlu dihilangkan dari air karena dapat menyebabkan korosi. Proses penghilangan gas dilakukan di dalam unit deaerator. Salah satu bentuk *external treatment* pada air umpan boiler adalah dengan menginjeksikan bahan-bahan kimia tertentu ke dalam deaerator (Asyrofa, 2019), seperti:

- Hidrazin digunakan untuk mengikat oksigen melalui reaksi sebagai berikut:



Gas nitrogen yang dihasilkan, bersama gas-gas lain, akan dihilangkan melalui proses *stripping* menggunakan uap bertekanan rendah.

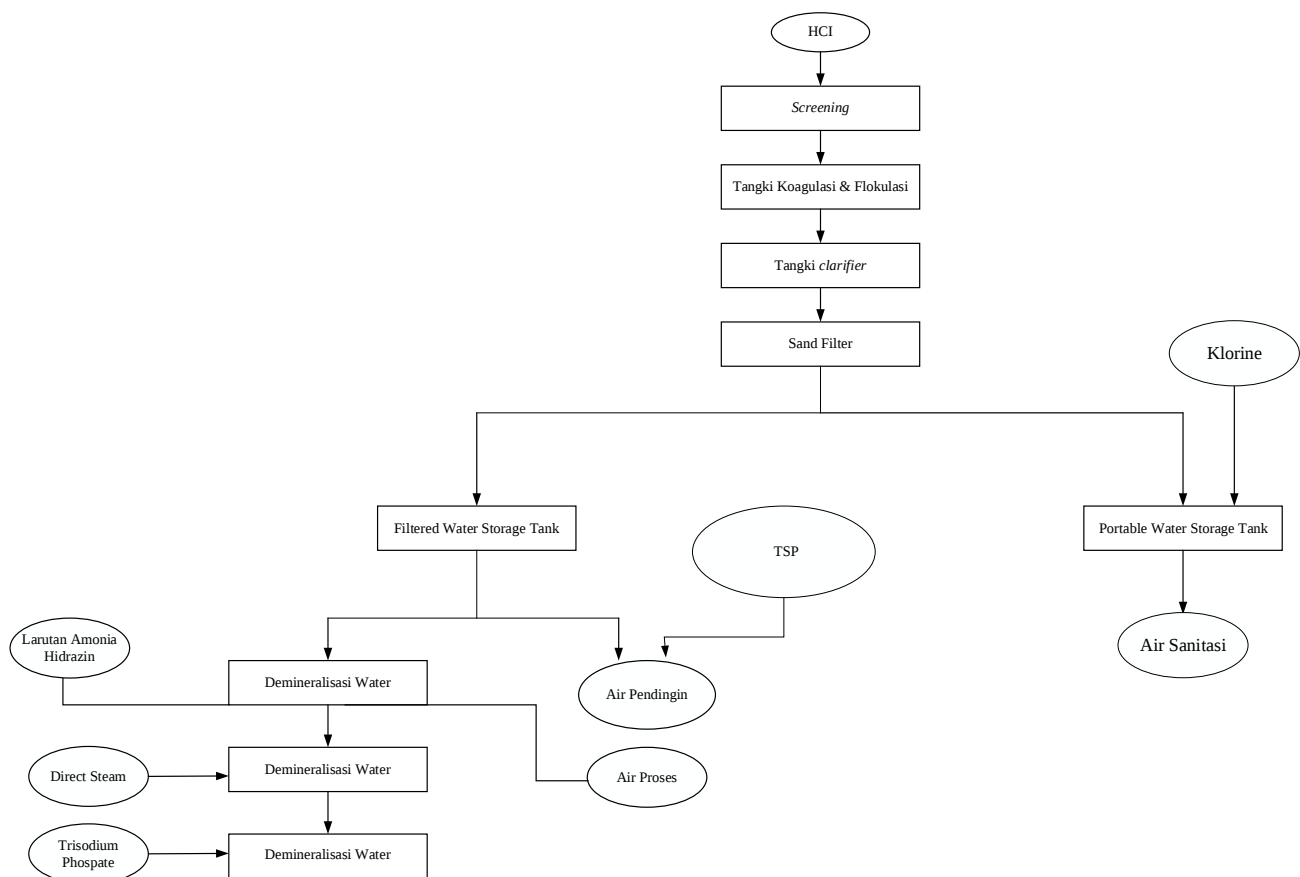
- Larutan ammonia yang berfungsi mengatur pH air.

Air yang keluar dari deaerator memiliki pH dalam kisaran 8,5-9,5.

- *Live / Direct Steam*

Pada proses di dalam deaerator, air dipanaskan menggunakan *steam* langsung dengan tujuan menguapkan gas-gas terlarut dalam air.

Internal treatment merupakan perlakuan yang dilakukan di dalam *boiler* yang bertujuan untuk mencegah pembentukan kerak. Oleh karena itu, setelah keluar dari deaerator, kemudian masuk ke dalam air umpan ketel diinjeksikan larutan trisodium fosfat ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (Asyrofa, 2019). Diagram alir proses pengolahan air dapat dilihat pada Gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4. 2 Diagram Alir Proses Pengolahan Air (Asyrofa, 2019)

4.1.1.2. Kebutuhan Air

a) Kebutuhan Air *Steam*

Kebutuhan air untuk *steam* dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4. 2 Kebutuhan Air Untuk Steam

No	Kode	Nama Alat	Kebutuhan (Kg/jam)
1.	HE-01	<i>Heat Exchanger</i> 01	54.312,48
2.	HE-02	<i>Heat Exchanger</i> 02	118.715,42
3.	HE-03	<i>Heat Exchanger</i> 03	55.136,12
4.	R-01	Reaktor	6.976,85
5.	E-01	<i>Evaporator</i>	20.840,97
Total			255.981,85

Jadi total kebutuhan air untuk *steam* = 255.981,85 kg/jam = 6.143,56 m³/hari.

Diperkirakan air yang hilang 20% sehingga kebutuhan *make up water* untuk *steam* = (0,2 x 6.143,56 m³/hari) = 1228,71 m³/hari.

b) Kebutuhan Air Pendingin

Kebutuhan air pendingin dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4. 3 Kebutuhan Air Pendingin

No	Kode	Nama Alat	Kebutuhan (Kg/jam)
1.	CR-01	Kristalizer	13.850,11
Total			13.850,11

Total kebutuhan air pendingin = 13.850,11 kg/jam = 332,403 m³/hari. Air

pendingin hilang 20% sehingga kebutuhan *make up* air pendingin = 66,48 m³/hari

Jadi total kebutuhan air pendingin = 398,88 m³/hari

c) Kebutuhan Air Proses

Kebutuhan air proses dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4. 4 Kebutuhan Air Proses

No	Kode	Nama Alat	Kebutuhan (Kg/jam)
1.	M-01	Tangki Pengenceran (NH ₄) ₂ SO ₄	36.643,85
2.	M-02	Tangki Pengenceran NaCl	69.652,46
Total			106.296,31

Kebutuhan air untuk proses = 106.296,31 kg/jam = 106,296 m³/jam

= 2.551,111 m³/hari

Diperkirakan air yang hilang 20%, kebutuhan *make up* air untuk air proses

= 0,2 x 2.551,111 m³/hari

= 510,22 m³/hari

Total air untuk proses = 3.061,33 m³/hari

d) Kebutuhan Air Perkantoran

- Air untuk karyawan kantor

Kebutuhan air untuk karyawan = 35 lt/orang/hari (*Linsley, hlm.93*)

Sehingga untuk orang diperlukan air sebanyak:

$$= 35 \times 229 \text{ lt/hari} = 8.015 \text{ lt/hari}$$

$$= 8,015 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- Diperkirakan air untuk laboratorium = 2.500 lt/hari = 2,5 m³/hari

- Air untuk pembersih, pertamanan dan lain-lain:

$$\text{Diperkirakan sebesar} = 5.000 \text{ lt/hari} = 5 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Total kebutuhan air bersih} = 15,52 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- Total air bersih yang disuplai dari tangki air adalah:

= *make up* air untuk *steam* + *make up* air pendingin + air proses + air untuk sanitasi

$$= (1228,71 + 66,48 + 3.061,33 + 15,52) \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 3.802,21 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- Kehilangan akibat kebocoran diperkirakan 10% sehingga *make up water* dari sumber air = $1,1 \times 3.802,21 \text{ m}^3/\text{hari} = 4.809,25 \text{ m}^3/\text{hari}$.

4.1.2 Unit Pengadaan Steam

4.1.2.1. Kebutuhan Steam

Boiler atau ketel uap digunakan untuk menghasilkan uap yang dibutuhkan dalam proses pabrik. Pemilihan jenis ketel uap umumnya mempertimbangkan kapasitas dan tekanan uap yang dihasilkan, jenis bahan bakar yang digunakan, daya tahan sistem instalasi, serta aspek ekonomi seperti biaya operasional dan perawatan (Chattopadhyay, 2001).

Pabrik amonium klorida ini menggunakan *steam* sebagai sumber panas untuk peralatan seperti *heat exchanger*, *evaporator*, dan pemanas udara. *Steam* tersebut dihasilkan oleh *boiler*, di mana sebagian air yang digunakan berasal dari air umpan ketel (Stoecker *et al.*, 1982). Kebutuhan *steam* mencapai 255.981,85 kg/jam, dan untuk mengantisipasi potensi kebocoran selama distribusi, jumlah tersebut ditambahkan sebesar 10%.

$$\text{Sehingga kebutuhan steam} = 255.981,85 \text{ kg/jam} = 281.580 \text{ kg/jam}$$

4.1.2.2. Perhitungan Kapasitas Boiler

Menurut Severn, 1959 kapasitas boiler dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$Q = ms \times (h-h_f)$$

Dimana:

Q : kapasitas *boiler*

ms : massa *steam*

h : enthalpi *steam* pada P dan T tertentu (Btu/lb)

h_f : enthalpi *steam* pada 1 atm (Btu/lb)

Kondisi uap keluar (uap jenuh):

$$T = 120^{\circ}\text{C}, P = 1,05 \text{ atm}$$

Karena uap yang dihasilkan merupakan campuran dari 0,6% air umpan (*make-up water*) dan 99,4% kondensat yang berasal dari *heat exchanger*, maka:

$$h_f = 0,006 \times H_{\text{liq } 30^{\circ}\text{C}} + 0,994 \times H_{\text{liq } 120^{\circ}\text{C}}$$

$$h_f = (0,006 \times 54,03) + (0,994 \times 216,56)$$

$$h_f = 215,58 \text{ Btu/lb}$$

$$\begin{aligned} h &= \text{entalpi } \textit{steam} \text{ pada suhu } 120^{\circ}\text{C} \text{ dan tekanan } 1,05 \text{ atm} \\ &= 1.163,14 \text{ Btu/lb} \end{aligned}$$

Kapasitas *boiler*:

$$Q = ms \times (h-h_f)$$

$$= 281.580 \times (1.163,14 - 215,58)$$

$$= 266.812.615,6 \text{ Btu/jam}$$

4.1.2.3. Menentukan Luas Perpindahan Panas

Menurut Severn, 1959 konversi panas menjadi daya adalah sebagai berikut.

$$H_p = Q / (970,3 \times 34,5)$$

$$H_p = 266.812.615,6 / (970,3 \times 34,5)$$

$$H_p = 7.979,42 \text{ Hp}$$

Ditentukan luas bidang pemanasa adalah 10 ft²/Hp (Severn, 1959, hal.126)

$$\text{Jadi total heating surface} = 10 \text{ ft}^2/\text{Hp} \times 7.979,42 = 79.704,2 \text{ ft}^2$$

Perhitungan kebutuhan bahan bakar

Bahan bakar yang digunakan adalah solar

Menurut Severn 1959, table V, halaman 97:

$$\text{Heating value} = 19.440 \text{ Btu/lb, Massa jenis solar} = 54,26 \text{ lb/ft}^3$$

$$mf = Q / (\eta \times f)$$

Dimana:

mf = massa bahan bakar yang dipakai, lb/jam

Q = kapasitas boiler, Btu/jam

η = efisiensi boiler (85%)

f = heating value, Btu/lb

$m_f = 266.812.615,6 / (0,85 \times 19.440) = 16.146,98 \text{ lb/jam}$

$v_f = m_f / \rho$

$= 16.146,98 / 54,26 = 297,58 \text{ ft}^3/\text{jam}$

4.1.2.4. Spesifikasi Boiler

Spesifikasi Boiler:

Jenis : Fire tube boiler

Jumlah : 3 buah

Heat Surface : 79.704,2 ft²

Suhu : 120°C

Tekanan : 28,82 psia

Bahan bakar : Solar

Rate bahan bakar : 297,58 ft³/jam

4.1.3. Unit Pengadaan Listrik

Kebutuhan listrik industri dapat dipenuhi melalui:

- Suplai dari PT PLN (Persero)
- Pembangkit Tenaga Listrik Sendiri (*Generator Set*)

4.1.3.1. Kebutuhan Listrik

Listrik merupakan sumber energi utama pabrik, karena digunakan untuk mengoperasikan pompa, peralatan proses, sistem instrumentasi, serta penerangan. Pasokan listrik berasal dari sumber utama yaitu PLN, dengan dukungan cadangan yang disuplai oleh generator (Prasetyono, 2023). Kebutuhan listrik di pabrik mencakup:

- Energi listrik digunakan untuk mendukung proses produksi dan pengolahan air.
- Listrik dibutuhkan untuk operasional laboratorium serta peralatan instrumentasi.
- Daya listrik juga digunakan untuk sistem penerangan dan pendingin ruangan (AC).

1. Kebutuhan Listrik untuk Keperluan Proses dan Keperluan Pengolahan Air

Kebutuhan daya listrik untuk peralatan proses serta sistem pengolahan air dapat diperkirakan dengan rincian yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 sebagai berikut.

Tabel 4. 5 Kebutuhan Listrik untuk Proses

No	Kode	Nama Alat	Hp
1	P-01	Pompa dari <i>feed</i> M-01 ke R-01 1 buah @ 1Hp	1
2	P-02	Pompa dari <i>feed</i> M-02 ke R-01 1 buah @ 1Hp	1
3	P-03	Pompa larutan produk dari Tangki Penyimpanan 1 buah @ 1Hp	1
4	P-04	Pompa larutan dari EV-01 1 buah @ 1Hp	1
5	P-05	Pompa larutan dari EV-02 1 buah @ 1 Hp	1
6	P-06	Pompa <i>recycle</i> 1 buah @ 1Hp	1
7	M-01	Pengaduk M-01 1 buah @ 3Hp	3
8	M-02	Pengaduk M-02 1 buah @ 3Hp	3
9	R-01	Pengaduk R-01 1 buah @ 6Hp	6
10	RD-01	<i>Rotary Dryer</i> -01 1 buah @ 2Hp	2
11	RD-02	<i>Rotary Dryer</i> -02 1 buah @ 2Hp	2
12	CR-01	Pengaduk CR-01 3 buah @ 1Hp	3
13	RF-01	<i>Motor</i> RF-01 1 buah @ 2Hp	2
14	CF-01	<i>Motor Centrifuge</i> -01 1 buah @ 3Hp	3
15	BC-01	<i>Belt Conveyor</i> 4 buah @ 2Hp	8
16	SC-01	<i>Screw Conveyor</i> 4 buah @ 2Hp	8
17	BE-01	<i>Bucket Elevator</i> 4 buah @ 3Hp	12
18	JE-01	<i>Jet Ejector</i> 1 buah @1Hp	1
19	HP-01	<i>Hopper</i> 4 buah @2Hp	8
Total			67

2. Keperluan Utilitas

Kebutuhan daya listrik untuk utilitas dapat diperkirakan dengan rincian yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Kebutuhan Listrik untuk Utilitas

Nama Alat	Hp	Jumlah	Total Hp
Pompa <i>Raw Water</i>	2	2	4
Pompa <i>Softener</i>	2	1	3
Pompa <i>Daerator</i>	2	1	2
Pompa Sanitasi	2	2	4
Pompa Pendingin	2	1	2
Pompa <i>Boiler</i>	5	2	10
Pompa Kondensat	2	1	2
Pompa Pengolahan Limbah	3	1	3
Pompa Bahan Bakar	2	2	4
<i>Draft Fan Cooling Tower</i>	10	1	10
Kompresor Udara Tekan	10	5	50
Total			94

Kebutuhan total listrik = Kebutuhan listrik (proses + utilitas)

$$= (67 + 94) \text{ Hp}$$

$$= 161 \text{ Hp}$$

Jika diketahui 1 Hp

$$= 0,746 \text{ kW}$$

Maka Maka power yang dibutuhkan

$$= 161 \times 0,746 \text{ kW}$$

$$= 120,106 \text{ kW}$$

3. Kebutuhan Listrik untuk Penerangan dan AC

Jumlah listrik yang dibutuhkan untuk penerangan ditentukan berdasarkan luas ruangan serta fungsi atau jenis aktivitas yang dilakukan di dalam ruangan tersebut (Nugroho *et al.*, 2025). Kebutuhan daya listrik untuk penerangan dapat diperkirakan dengan rincian yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Kebutuhan Listrik untuk Penerangan

Bangunan	Luas (m ²)	Ft ²	Cd(ft)	Lumen
Pos Keamanan	70	753,473	10	7534,73
Masjid	500	5381,95	10	53819,5
Laboratorium	700	7534,73	15	113021
Kantor	1500	16145,85	10	161458,5
Bengkel	400	4305,56	10	43055,6
Gudang <i>penyimpanan</i>	2000	21527,8	10	215278
Pengolahan limbah	1400	15069,46	10	150694,6
Kantin	400	4305,56	10	43055,6
Gudang Serbaguna	900	9687,51	10	96875,1
Utilitas	1000	10763,9	10	107639
<i>Power Plant</i>	580	6243,062	10	62430,62
Jalan	3500	37673,65	10	376736,5
Area Produksi	4000	43055,6	10	430556
Taman dan lahan parkir	2000	21527,8	5	107639
Pemadam Kebakaran	400	4305,56	5	21527,8
<i>Control Room</i>	500	5381,95	5	26909,75
Poliklinik	400	4305,56	5	21527,8
Total	20.250	217.968,975	155	2.039.759

Penerangan seluruh area dalam bangunan dirancang menggunakan lampu *fluorescent* 40 watt. Setiap lampu *instant starting daylight* 40 W menghasilkan 1.960 lumen (Perry, 3rd edition, hal 1.758).

$$\text{Jumlah lumen dalam ruangan} = 1.040.869,13 \text{ lumen}$$

$$\text{Jumlah lampu yang dibutuhkan} = 1.040.869,13/1960$$

$$= 532 \text{ buah}$$

Area luar bangunan akan diterangi oleh lampu mercury 250 watt, dengan

output cahaya sebesar 10.000 lumen per unit (Perry, 3rd edition, hal, 1.758).

Jumlah lumen di luar ruangan = 998889,92 lumen

Jumlah lampu yang dibutuhkan = 998889,92/10.000
= 100 buah

Total daya penerangan = (40 x 532) + (250 x 100)
= 46280 Watt
= 46,28 kW

Listrik untuk AC diperkirakan sebesar 15.000 watt = 15 kW.

4. Listrik untuk Laboratorium dan Instrumentasi

Daya listrik yang dialokasikan untuk keperluan laboratorium dan sistem instrumentasi diperkirakan sebesar 15 kW.

Total kebutuhan listrik = (120,106 + 46,28 + 15 + 15) kW
= 196,386 kW

Faktor keamanan dipilih 10% dari total kebutuhan

Jadi total kebutuhan listrik = 1,1 x 196,386 kW
= **216,025 kW**

4.1.3.2. Generator

Generator menghasilkan listrik untuk peralatan yang memerlukan pasokan listrik yang stabil dan tidak boleh terhenti atau berubah-ubah tegangannya. Jenis generator yang digunakan adalah generator arus bolak-balik (AC) dengan sistem 3 fase (Nugroho *et al.*, 2025).

Digunakan generator dengan efisiensi 80%, maka input generator:

$$\begin{aligned} &= 216,025 \text{ kW} / 0,8 \\ &= 270,03 \text{ kW} \end{aligned}$$

Ditetapkan input generator 300 kW, sehingga untuk keperluan lain masih tersedia:

$$\begin{aligned} &= (300 - 270,03) \times 0,8 \\ &= 23,98 \text{ kW} \end{aligned}$$

Spesifikasi generator:

- Jenis : AC Generator
- Kapasitas : 300 kW
- Tegangan : 220/360 volt

- Efisiensi : 80%
- Fase : 3
- Jumlah : 2 buah
- Bahan bakar : solar

4.1.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar

Generator ini beroperasi menggunakan bahan bakar sebagai berikut:

Jenis bahan bakar	: Solar
Nilai kalor bersih (<i>Net Heating value</i>)	: 19440 Btu/lb
Efisiensi bahan bakar	: 80%
<i>Specific gravity</i> solar	: 0,8691
Densitas solar	: 54,26 lb/ft ³
Kapasitas input generator: 300 kW	= $300.000/0,29407$ = 1.020.165,27 Btu/jam
Kebutuhan solar	= $1.020.165,27 / (0,8 \times 0,8691 \times 19440)$ = 75,48 lb/jam = 1,39 ft ³ /jam

4.1.5. Unit Pengadaan Udara Tekan

Unit ini bertanggung jawab untuk menyediakan udara yang diperlukan dalam berbagai proses, khususnya untuk fasilitas instrumentasi dan udara pabrik pada peralatan proses, seperti pengoperasian *control valve* yang dikendalikan oleh sistem komputerisasi serta pembersihan peralatan pabrik (Nugroho *et al.*, 2025).

Menurut Nugroho *et al.*, 2025 peralatan utama yang terdapat dalam unit ini adalah:

- 1) *IA/PA Compressor*
- 2) *IA/PA Reservoir*
- 3) *Filter Air*
- 4) *Instrument Air Dryer*

4.1.5.1. Plant Air (PA)

Plant air (udara pabrik) adalah udara bertekanan yang digunakan untuk berbagai kebutuhan pabrik. Dalam kondisi normal, sumber udara pabrik berasal dari kompresor udara (Kusumawardani, 2005). Kebutuhan pabrik tersebut mencakup aerasi, pencampuran udara, *flushing*, *purging*, pengadukan, dan lain-lain. *Plant air* memiliki tekanan udara sebesar 5 kg/cm² dengan suhu *ambient*.

Menurut Kusumawardani, 2005 proses pembuatan *Plant Air* adalah sebagai berikut.

- Udara dari lingkungan sekitar masuk melalui filter udara dan kemudian dikompresi oleh kompresor udara yang digerakkan oleh motor atau turbin. Udara bertekanan selanjutnya didinginkan menggunakan *after cooler*.
- Udara yang sudah didinginkan kemudian mengalir melalui *filter air* dan diteruskan ke *receiver* udara.

4.1.5.2. *Instrument Air* (IA)

Udara instrumen merupakan udara bertekanan yang telah mengalami proses pengeringan atau penghilangan kandungan airnya. Udara ini diperoleh dari sumber yang sama dengan udara pabrik, namun melalui proses penghilangan uap air menggunakan metode pengeringan (*drying*) yang melibatkan silika gel dan alumina aktif dalam *air dryer* (Kusumawardani, 2005). Udara instrumen digunakan untuk mengoperasikan peralatan instrumentasi seperti *control valve*, *transmitter*, dan sebagainya. Selain itu, udara instrumen juga dikirim ke laboratorium untuk mengeringkan peralatan laboratorium.

Menurut Kusumawardani, 2005 proses pembuatan *Instrument Air* adalah sebagai berikut.

- Udara dari tangki penampung dialirkan ke *instrument air dryer* tipe *pressure swing heatless*, yang terdiri dari dua *vessel* berisi *alumina ball* dan *silica gel*. Salah satu *vessel* beroperasi, sementara yang lain melakukan regenerasi atau dalam kondisi siaga. Proses ini menurunkan kadar uap air hingga mencapai *dew point* -40°C pada tekanan 7 kg/cm^2 .
- Udara kering hasil pengeringan kemudian didistribusikan ke pengguna melalui jalur utama udara instrumentasi (*instrument air header*).

4.1.6. Unit Pengolahan Limbah

Limbah yang berasal dari pabrik amonium klorida dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu:

- a. Limbah gas dan partikel padat yang terlepas ke udara
- b. Limbah dalam bentuk cairan

1. Limbah Gas dan Partikulat

Limbah gas yang dihasilkan dari unit penyedia *steam/boiler* berupa gas buang yang mengandung partikel debu, sehingga perlu diproses terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Gas tersebut akan dialirkan melalui alat *elektrostatik presipitator*, di

mana gas buang *boiler* akan melewati ruang yang berisi plat-plat elektroda yang terbuat dari tembaga, kuningan, atau arang. Elektroda yang terpasang pada konstruksi presipitator diberi arus listrik searah (DC) dengan muatan positif dan negatif. Arus dengan tegangan 70-90 kV dialirkan antara batang elektroda yang bermuatan negatif dan plat pengumpul yang bermuatan positif. Partikel debu yang melewati batang-batang elektroda akan terinduksi oleh muatan negatif, sehingga debu yang bermuatan negatif akan tertarik ke plat-plat elektroda positif (Holt *et al.*, 1999). Getaran (*rapping*) yang mengenai plat-plat pengumpul menyebabkan debu jatuh ke tempat penampungan (*dust hopper*), sehingga debu terpisah dari gas asap di dalam presipitator tersebut. Mengalirkan arus listrik statis untuk mengendapkan debu adalah metode yang sangat efisien, dengan dampak polusi udara yang sangat rendah. Udara yang sudah dibersihkan dari partikel debu kemudian dibuang melalui stack ke udara bebas (Holt *et al.*, 1999).

2. Limbah Cair

a. Unit Pengolahan Air Buangan Sanitasi

Air limbah sanitasi berasal dari seluruh toilet di kawasan pabrik serta limbah proses. Air tersebut dikumpulkan dan selanjutnya diproses dalam unit stabilisasi dengan memanfaatkan lumpur aktif, aerasi, dan desinfektan Ca-hipoklorit.

b. Air Berminyak dari Mesin Proses

Air berminyak yang berasal dari buangan pelumas pada pompa dan peralatan lainnya dipisahkan berdasarkan perbedaan berat jenisnya. Minyak yang berada di bagian atas dialirkan ke penampung minyak untuk diproses melalui pembakaran dalam tungku pembakar, sementara air di bagian bawah dialirkan ke unit pengolahan dengan menggunakan lumpur aktif sebelum dibuang ke lingkungan (Qasim, 1999).

c. Air Sisa Proses

Limbah air proses adalah limbah cair yang dihasilkan dari aktivitas proses produksi, seperti air bekas regenerasi. Air sisa regenerasi dari unit penukar ion dan demineralisasi dinetralkan dalam kolam penetralan. Proses penetralan dilakukan dengan menggunakan HCl jika pH air buangannya lebih dari 7,0, dan menggunakan NaOH jika pH-nya kurang dari 7,0. Air yang telah dinetralkan kemudian dialirkan ke kolam penampungan akhir bersama dengan aliran air dari proses pengolahan lainnya (Crittenden *et al.*, 2012).

4.2. Laboratorium

Laboratorium merupakan komponen penting dalam mendukung proses produksi dan memastikan kualitas produk, dengan tujuan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan. Fungsi dari data ini sebagai evaluasi dari unit-unit yang ada, sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk meningkatkan efisiensi mutu dan mengendalikan mutu (Sembodo, 2008). Sedangkan peran yang lain yakni untuk mengendalikan pencemaran lingkungan. Menurut Sembodo, 2008 tugas laboratorium adalah sebagai berikut.

- a) Melakukan pemeriksaan terhadap bahan baku dan bahan tambahan sebelum digunakan
- b) Menganalisis produk yang akan dijual ke pasar
- c) Melaksanakan penelitian yang berhubungan dengan proses produksi

4.2.1 Program Kerja Laboratorium

Dalam rangka pengendalian kualitas produk, Pabrik Amonium Klorida ini mengoptimalkan aktivitas laboratorium untuk menguji mutu.

Analisis pada unit utilitas mencakup beberapa hal berikut:

1. Air mineral bersih, analisis menggunakan metode yang serupa dengan analisis pada penukar ion.
2. Air *boiler* dilakukan pengujian terhadap parameter seperti pH, total zat terlarut, kandungan Fe, CaCO_3 , SO_3 , PO_4^- , dan SiO_2 .
3. Air minum hasil produksi diperiksa untuk mengetahui nilai pH, sisa klorin, dan tingkat kekeruhannya.

Menurut Ermawati *et al*, 2024 agar pelaksanaan program kerja laboratorium berjalan lebih efisien, laboratorium di pabrik ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu:

1. Laboratorium Pemantauan
2. Laboratorium Analitik
3. Laboratorium Penelitian, Pengembangan, dan Perlindungan Lingkungan

4.2.1.1. Laboratorium Pengamatan

Laboratorium ini digunakan untuk menganalisa secara fisik dan mengamati semua *steam* yang berasal dari proses produksi maupun tangki serta mengeluarkan “*Certificate of Quality*” untuk menjelaskan spesifikasi hasil pengamatan. Jadi pemeriksaan dan pengamatan dilakukan terhadap bahan baku, produk akhir dan utilitas.

4.2.1.2. Laboratorium Analitik

Laboratorium ini digunakan untuk menganalisa karakteristik dan kandungan kimiawi bahan baku, produk akhir serta utilitas.

4.2.1.3. Laboratorium Penelitian, Pengembangan, dan Perlindungan Lingkungan

Laboratorium ini digunakan untuk melakukan riset dan pengembangan terhadap masalah yang berkaitan dengan kualitas material terkait proses guna meningkatkan hasil akhir. Laboratorium ini bersifat tidak rutin dan lebih cenderung melakukan hal-hal baru untuk keperluan pengembangan. Dalam pelaksanaannya, laboratorium juga melakukan penelitian terhadap kondisi lingkungan serta melaksanakan pengembangannya.

4.3. Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Keselamatan kerja adalah aspek penting dalam melindungi tenaga kerja yang berkaitan dengan alat kerja, mesin, bahan, proses pengolahan, tempat kerja, lingkungan, serta metode pelaksanaan pekerjaan. Keselamatan kerja menyangkut keseluruhan proses produksi, distribusi baik barang maupun jasa dan sasarannya ke segala tempat kerja. Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan sebagai dasar hukum penerapan K3 di Indonesia telah diperkuat dengan keluarnya Undang-Undang Nomor 36 Tahun 2009 tentang kesehatan dimana pada Pasal 164-165 tentang Kesehatan Kerja dinyatakan bahwa semua tempat kerja wajib menerapkan upaya kesehatan baik sektor formal maupun informal.

Tujuan dari penerapan keselamatan kerja antara lain sebagai berikut:

- a. Menjamin keselamatan dan kesehatan kerja bagi setiap karyawan, baik dari aspek fisik, sosial, maupun psikologis.
- b. Memastikan perlengkapan dan peralatan kerja digunakan secara optimal dan selektif.
- c. Menjaga keamanan seluruh hasil produksi.
- d. Menjamin perawatan dan peningkatan kondisi gizi serta kesehatan para pekerja.
- e. Mendorong semangat kerja, keharmonisan, dan partisipasi aktif dalam pekerjaan.
- f. Mencegah gangguan kesehatan yang mungkin timbul akibat lingkungan atau kondisi kerja.
- g. Menciptakan rasa aman dan perlindungan bagi setiap pekerja selama menjalankan tugasnya.

Sesuai dengan UU No. 1 Tahun 1970, izin keselamatan kerja diperlukan untuk memastikan bahwa setiap pekerjaan yang berpotensi menimbulkan bahaya dapat dilakukan secara aman dan nyaman, serta menghindari risiko yang tidak diinginkan. Jenis-jenis pekerjaan yang

membutuhkan izin keselamatan kerja meliputi:

1. Pekerjaan yang melibatkan radiasi atau bahan radioaktif
2. Pekerjaan dengan tekanan tinggi, seperti:
 - a. Pembongkaran peralatan (*disassembly*)
 - b. Pembersihan peralatan (*cleaning*)
3. Pekerjaan yang menghasilkan panas atau percikan api, seperti pengelasan (*welding*), penggerindaan (*grinding*), pemotongan (*cutting*), pengeboran (*drilling*), dan sejenisnya
4. Pekerjaan yang mengharuskan masuk ke dalam tangki atau bejana tertutup (*vessel tank*)

Langkah-langkah pencegahan yang diterapkan oleh perusahaan meliputi:

- a. Penyediaan peralatan untuk mencegah kebakaran dan kebocoran
Perusahaan harus menempatkan sistem pemadam kebakaran seperti *fire hydrant* di titik-titik strategis dalam area kerja. Selain itu, alat pemadam kebakaran portabel juga wajib tersedia di setiap ruangan dan area yang mudah dijangkau, guna mempercepat penanganan saat keadaan darurat.
- b. Penyuluhan, pelatihan, dan pembinaan diberikan kepada seluruh pekerja di lingkungan kerja agar mereka memiliki pemahaman yang memadai mengenai langkah-langkah pencegahan dalam menghadapi potensi kecelakaan, kebakaran, ledakan, serta kebocoran pipa yang mengandung bahan berbahaya.
- c. Penyampaian informasi dan edukasi tentang tata cara pertolongan pertama saat terjadi kecelakaan di tempat kerja.

Menurut Yuliandi, 2019 perusahaan sebagai pihak penyelenggara kerja dapat memastikan terpenuhinya aspek keselamatan dan kesehatan kerja melalui beberapa langkah berikut:

1. Menyediakan Alat Pelindung Diri (APD) yang memenuhi standar
Perusahaan wajib menyediakan perlengkapan keselamatan seperti:
 - a) Kacamata pelindung (*safety goggles*)
 - b) Sepatu pengaman (*safety shoes*)
 - c) Penutup telinga atau sumbat telinga (*ear plug*)
 - d) Helm keselamatan (*safety helmet*)
 - e) Masker pelindung
2. Menyelenggarakan pelatihan dan sosialisasi mengenai prosedur kerja yang aman, tindakan darurat, pertolongan pertama pada kecelakaan (P3K), serta pemahaman terhadap potensi bahaya dan risiko kerja.
3. Menyediakan fasilitas pendukung kesehatan fisik dan mental pekerja yang menunjang kesejahteraan tenaga kerja secara menyeluruh, baik dari segi jasmani maupun

psikologis.

4.4. Instrumentasi

4.4.1. Pengertian dan Tujuan Instrumentasi

Instrumentasi merupakan seperangkat alat yang digunakan dalam sistem pengendalian proses, yang berfungsi untuk memantau dan mengendalikan jalannya produksi. Pengendalian proses dalam kegiatan produksi harus dilakukan secara teliti dan akurat agar kapasitas produksi tercapai sesuai dengan target yang diharapkan, serta untuk meminimalkan tingkat kesalahan dalam proses operasional di pabrik. Dengan demikian, produk dapat dihasilkan secara optimal (Perry, 1997).

Menurut Timmerhaus, 1991 instrumen memiliki peran penting sebagai pengontrol (*regulator*), penunjuk (*indicator*), pencatat (*recorder*), dan pemberi tanda bahaya (*alarm*). Instrumen ini dapat dijalankan dengan tenaga mekanik maupun tenaga listrik, dan sistem pengendaliannya bisa dilakukan secara manual maupun otomatis.

1. Manual, sistem ini menggunakan prosedur pengendalian yang dilakukan secara langsung oleh operator. Instrumen yang digunakan berfungsi sebagai penunjuk (*indicator*) atau pencatat (*recorder*), dan umumnya tidak memerlukan tingkat ketelitian yang tinggi.
2. Otomatis, pada sistem ini, alat instrumentasi berupa *controller* terpasang langsung pada peralatan proses. Sistem ini memerlukan ketelitian yang tinggi karena perubahan kondisi proses dapat memengaruhi hasil akhir produk, baik dari segi kualitas maupun kuantitas.

Menurut Timmerhaus, 2004 tujuan pemasangan alat instrumentasi pada peralatan proses antara lain adalah:

- a. Menjaga kestabilan variabel proses agar operasi berjalan dengan aman serta mampu mendeteksi potensi bahaya melalui sistem peringatan dan pemutusan otomatis.
- b. Menjamin konsistensi dan kualitas produk yang dihasilkan.
- c. Mempermudah proses pengoperasian peralatan secara keseluruhan.
- d. Mengatur laju aliran produksi agar sesuai dengan kebutuhan dan target yang ditetapkan.
- e. Meningkatkan jaminan terhadap keselamatan serta efisiensi dalam pelaksanaan kerja.

4.4.2. Jenis Peralatan Instrumentasi

Pabrik Amonium Klorida menggunakan berbagai jenis alat instrumentasi berupa indikator dan pengendali (*controller*) yang dipasang pada peralatan proses (Timmerhaus, 1991), di antaranya:

4.4.2.1. Level Indicator (LI)

Alat ini berfungsi sebagai penunjuk tinggi permukaan cairan dalam suatu tangki.

4.4.2.2. Level Controller (LC)

Digunakan untuk mengatur dan mengendalikan tinggi cairan dalam reaktor agar tetap pada batas yang diinginkan.

4.4.2.3. Temperature Controller (TC)

Berfungsi sebagai pengendali suhu proses. Pengaturan dilakukan dengan menyesuaikan jumlah bahan yang dimasukkan atau dikeluarkan dari sistem untuk menjaga suhu tetap stabil selama proses berlangsung.

4.4.2.4. Flow Controller (FC)

Alat ini mengatur laju aliran fluida dalam peralatan proses. Pengendalian dilakukan dengan menyesuaikan output alat, sehingga kecepatan aliran fluida dalam pipa dapat dikontrol sesuai kebutuhan.

4.4.2.5. Pressure Controller (PC)

Merupakan alat pengatur tekanan atau pengubah sinyal dari tekanan gas menjadi sinyal mekanis. Pengaturan dilakukan dengan mengontrol jumlah uap atau gas yang dilepaskan dari peralatan. Ketika tekanan meningkat, uap akan menekan diafragma valve yang membuka atau menutup sesuai kondisi, lalu memberikan sinyal ke PC untuk mengukur dan menjaga tekanan pada titik yang telah ditentukan.