

## **BAB IV**

### **UNIT PENDUKUNG PROSES**

Unit pendukung proses atau unit utilitas merupakan unit yang didesain untuk menunjang berlangsungnya operasional proses suatu pabrik. Selain bahan baku utama, diperlukan bahan penunjang seperti air, *steam*, bahan bakar, listrik, udara tekan, dan utilitas lainnya. Keberadaan unit utilitas sangat berperan dalam menjaga kontinuitas, efisiensi, serta keselamatan proses produksi. Untuk mendukung proses produksi *High Density Polyethylene* (HDPE), maka diperlukan beberapa unit pendukung proses sebagai berikut.

#### 4.1 Pengadaan dan Pengolahan Air

##### 4.1.1 Penyedia Air

Air merupakan utilitas yang sangat penting dalam perancangan pabrik karena berperan dalam menunjang berbagai kegiatan operasional, baik untuk proses produksi, pendinginan, pembersihan peralatan, maupun kebutuhan domestik. Sumber air yang digunakan pada pabrik ini berasal dari air laut yang diperoleh dari wilayah perairan di sekitar lokasi pabrik, sehingga mampu menjamin ketersediaan air dalam jumlah besar secara kontinu. Air juga merupakan komponen esensial bagi kehidupan dan aktivitas manusia, dengan kandungan sekitar 60–70% dalam tubuh, sehingga ketersediaannya harus dijaga secara kontinu dan memadai (Sauqii, 2023). Dalam industri kimia, air menjadi kebutuhan utama proses sehingga diperlukan sistem pengadaan dan pengolahan air bersih dengan kualitas serta kuantitas yang sesuai agar operasional pabrik dapat berjalan dengan baik (Fauzi dkk., 2018).

##### 4.1.1.1 Air Pendingin

Pada pabrik *High Density Polyethylene* (HDPE), air pendingin merupakan salah satu utilitas penting yang digunakan untuk menjaga kestabilan temperatur proses serta membuang panas yang dihasilkan selama reaksi dan operasi peralatan. Air pendingin dimanfaatkan pada berbagai peralatan perpindahan panas seperti *heat exchanger*, *cooler*, dan jaket reaktor untuk memastikan kondisi operasi tetap berada dalam rentang yang diinginkan sehingga proses polimerisasi berlangsung secara optimal dan aman. Pemilihan air sebagai media pendingin didasarkan pada ketersediaannya yang melimpah, biaya yang relatif ekonomis, kemudahan pengaturan suhu, serta kemampuannya menyerap panas dalam jumlah besar karena memiliki kapasitas kalor

yang tinggi. Dengan karakteristik tersebut, air menjadi media yang efektif dan umum digunakan dalam sistem pendingin pada industri petrokimia, termasuk pada pabrik HDPE. Adapun spesifikasi *cooling water* ditunjukkan pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Spesifikasi *Cooling water*

Parameter	Unit	Typical values and recommended range	Impact on Cooling System
pH		6,5-9	<i>Metal corrosion and scalling increase ehen pH is below and above recommended ranges, respectively</i>
Total hardness	(CaCO <sub>3</sub> mg/l)	Less than or equal to 250	<i>Calcium is more troublesome than magnesium in contributing to scaling. Magnesium is not as much of problems unless the silica levels are</i>
Alkalinity	(CaCO <sub>3</sub> mg/l)	100-5	<i>so high</i>
BOD <sub>5</sub>	mg/l	Less than or equal to 10	<i>Scaling</i>
COD <sub>cr</sub>	mg/l	Less than or equal to 30	<i>Reflect the oganic contet and associated demand for oxidizing biocide</i>
TSS	mg/l	Less than or equal to 100	<i>Bio-fouling, biomass growth,</i>
TDS	mg/l	Less than or equal to 5000	<i>disinfection by products</i>
Conductivity	µs/cm	Less than or equal to 3000a	<i>Corrosion, fouling, scaling</i>
Residual chlorine	mg/l	End 0,1-0,2b	<i>Scaling, fouling</i>
			<i>Scaling, fouling</i>

Parameter	Unit	Typical values and recommended range	Impact on Cooling System
Chloride	mg/l	Less than or equal to 300 (stainless steel) Less than or equal to 1000 (other metals)	Disinfection by products, corrosion Corrosive to most metals especially mild steel
Fecal Coliform	CFU/100ml	Less than or equal to 200	Nutrient element, biomass growth, disinfection by products.

(ISO-22449-1-2-2020)

Kebutuhan air pendingin yang diperlukan pada pabrik *High Density Polyethylene* (HDPE) dihitung berdasarkan jumlah panas proses yang harus dilepaskan oleh sistem pendingin. Berdasarkan hasil neraca panas, total panas yang dilepaskan dari unit proses adalah sebesar 6.601.242,48 kkal/jam. Panas tersebut harus diserap oleh air pendingin agar temperatur operasi peralatan tetap terjaga. Berikut adalah perhitungan kebutuhan *cooling water* proses pada pabrik HDPE.

Total panas yang dilepaskan = 6601242,48 kkal/jam

Konvensi panas ke KJ/jam :

1 kkal = 4186 kJ

Qtotal = 27632801021 kJ/jam

Laju massa *cooling water*

$$Q = m \cdot Cp \Delta T$$

asumsi :

$$\begin{aligned} \text{Cp air} &: 4,18 \text{ kJ/Kg}^\circ\text{C} \\ \Delta T \text{ cooling water} &: \frac{27.632.800}{41,8} \quad 10 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$m \cdot cw = 27.632.800$$

$$m \cdot cw = \frac{27.632.800}{4,18 \times 10}$$

$$m \cdot cw =$$

$$m \cdot cw = 661550 \text{ kg/jam}$$

Konversi ke debit

volumetrik = Kebutuhan *cooling water* proses  
densitas air pada 30C

$$\rho = 995,7 \text{ kg/m}^3$$

$$V \cdot cw = \frac{661,550}{995,7}$$

$$V \cdot cw = 664,4 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dengan demikian, kebutuhan air pendingin proses pada pabrik HDPE adalah sebesar 661.550 kg/jam atau 664,4 m<sup>3</sup>/jam. Untuk mengantisipasi kehilangan air akibat evaporasi, *drift*, *blowdown*, dan potensi kebocoran pada sistem distribusi, ditambahkan air make-up sebesar 2% dari total kebutuhan sirkulasi air pendingin. Maka kebutuhan air make-up adalah :

Kebutuhan *make-up*  
*water*

$$\begin{aligned} \text{make-up} &= 2\% \times 664,4 \\ &= 13,28 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 13,28 \times 24 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 318,7 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Selain itu, kebutuhan air pada kondisi *start-up* diasumsikan sebesar 102% dari kebutuhan normal untuk mengisi sistem awal, sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan air pada} & & 102\% \text{ dari kebutuhan normal untuk mengisi} \\
 \text{kondisi } \textit{start-up} & = & \text{ sistem awal} \\
 & = & 661550 \times 102\% \\
 & = & 674781 \text{ kg/jam} \\
 & = & 16272,6 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Perhitungan ini menunjukkan bahwa sistem utilitas air pendingin harus mampu menyediakan suplai air secara kontinu untuk menjaga kestabilan temperatur proses serta menjamin kelangsungan operasi pabrik secara aman dan efisien.

#### 4.1.2 Air Umpan Boiler

Secara umum, air yang digunakan sebagai air umpan boiler harus memiliki kualitas yang baik, yaitu tidak mengandung zat-zat yang dapat menimbulkan endapan atau kerak pada permukaan boiler, tidak mengandung komponen yang dapat menyebabkan korosi pada boiler maupun sistem penunjangnya, serta bebas dari unsur-unsur yang dapat menimbulkan pembusaan pada air boiler. Oleh karena itu, air baku yang berasal dari sumber air harus melalui proses pengolahan terlebih dahulu agar memenuhi persyaratan kualitas tertentu sebelum digunakan sebagai air umpan boiler, sebagaimana dijelaskan pada tabel berikut.

Tabel 4.2 Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Satuan	Rentang/Nilai Standar
pH (25°C)	-	7 – 9 (bisa 8 – 9,5 untuk tekanan tinggi)
Kesadahan (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	Maks. 1 (bahkan 0 untuk tekanan tinggi)
Minyak & lemak	mg/L	=0
Oksigen terlarut (O <sub>2</sub> )	mg/L	=0 (maks makin kecil saat tekanan tinggi)
Besi (Fe)	mg/L	Maks. 0,3 → 0,02 (tergantung tekanan)
Tembaga (Cu)	mg/L	Maks. 0,05 → 0,005

Parameter	Satuan	Rentang/Nilai Standar
Hidrazin (N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	mg/L	Min. 0,01 – 0,2
Daya hantar listrik	μS/cm	Sangat rendah (maks ±0,5 untuk tekanan tinggi)

(SNI 7268:2009)

Berdasarkan hasil perhitungan neraca panas, diperoleh kebutuhan *steam* untuk menunjang proses sebesar 35,9 ton/jam. Dalam sistem pembangkitan *steam*, terdapat kehilangan air yang tidak dapat dihindari selama operasi boiler, terutama akibat proses *Blowdown* dan kerja *steam traps*. *Blowdown* merupakan proses pembuangan sebagian air boiler yang bertujuan untuk mengeluarkan zat terlarut dan pengotor yang terakumulasi di dalam boiler akibat senyawa yang tidak menguap, sehingga dapat mencegah terbentuknya lumpur maupun kerak pada permukaan perpindahan panas. Sementara itu, *steam traps* berfungsi untuk membuang kondensat yang terbentuk di sepanjang jaringan distribusi *steam* akibat penurunan temperatur pada pipa setelah *steam* keluar dari boiler. Apabila kondensat ini tidak dikeluarkan, maka dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas dan mengganggu kestabilan aliran *steam*.

#### Perhitungan Umpan Boiler

dari neraca panas, diketahui :

$$\text{Total panas sistem} = 24179884,7 \text{ kkal}$$

$$\text{Total panas yang dilepaskan} = 6601242,48 \text{ kkal}$$

jadi,

$$Q_{\text{steam}} = Q_{\text{total}} - Q_{\text{released}}$$

$$24179884,7 -$$

$$Q_{\text{steam}} = 6601242,48$$

$$Q_{\text{steam}} = 17578642,22 \text{ kkal/jam}$$

untuk desain awal biasanya

dipakai

*Steam* jenuh 8-10 barg

*Latent heat* ( $\lambda$ )  $\approx$  480–500

kkal/kg

$$\text{diambil nilai } \lambda = 490 \text{ kkal/kg}$$

Laju *Steam* :

$$m'_{\text{steam}} = \frac{Q}{\lambda}$$

$$m'_{\text{steam}} = \frac{17.578.642,22}{490}$$

$$m'_{\text{steam}} = 35874,78004 \text{ kg/jam}$$

jadi kebutuhan *steam* proses

$$\text{adalah} \approx 35,8 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Kehilangan air dalam sistem pembangkitan *steam* terutama disebabkan oleh dua mekanisme, yaitu proses *Blowdown* dan pembuangan kondensat melalui *steam traps*. *Blowdown* merupakan pembuangan sebagian air boiler yang bertujuan untuk mengendalikan akumulasi zat terlarut (*Total Dissolved Solids/TDS*) yang tidak menguap selama proses pembentukan *steam*. Jika tidak dilakukan, zat-zat tersebut dapat membentuk lumpur dan kerak yang menurunkan efisiensi perpindahan panas serta mempercepat terjadinya korosi. Selain itu, selama distribusi *steam* menuju peralatan proses, sebagian *steam* akan mengalami penurunan temperatur dan mengembun di dalam pipa. Kondensat yang terbentuk harus dikeluarkan melalui *steam traps* agar tidak mengganggu aliran *steam* dan kinerja peralatan. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi kehilangan air akibat kedua mekanisme tersebut, kebutuhan air umpan boiler diletakkan sebesar 27%, yang terdiri dari 10% untuk *Blowdown* dan 17% untuk kehilangan melalui *steam traps*, sehingga jumlah air *make-up* yang disuplai tetap mampu menjaga kontinuitas operasi boiler.

$$m'_{\text{BFW}} = m'_{\text{steam}} \times (1 + 0,27)$$

$$m'_{\text{BFW}} = 35.874,78 \times 1,27$$

$$m'_{\text{BFW}} = 45561,97 \text{ kg/jam}$$

Jika dinyatakan dalam debit volumetrik, dengan densitas air umpan boiler sebesar 990 kg/m<sup>3</sup>, maka diperoleh:

$$V' = \frac{45.561,97}{990}$$

$$V = 46,02 \text{ m}^3/\text{jam}$$

#### 4.1.3 Air Sanitasi dan Kebutuhan Pemadam Kebakaran

Air sanitasi digunakan untuk memenuhi kebutuhan air kebersihan, laboratorium, kantor, maupun rumah tangga. Syarat air sanitasi menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Syarat Air Sanitasi

No	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
Parameter Fisik			
1.	Kekeruhan	NTU	25
2.	Warna	TCU	50
3.	Zat padat terlarut	Mg/l	1000
4.	Suhu	°C	Suhu udara $\pm$ 3
5.	Rasa		Tidak berasa
6.	Bau		Tidak berbau
Parameter Biologi			
1.	Total coliform	CFU/100ml	50
2.	E.coli	CFU/100ml	0
Parameter Kimia			
1.	pH		6,5-8,5
2.	Besi	mg/l	1
3.	Flourida	mg/l	1,5
4.	Kesadahan	mg/l	500
5.	Mangan	mg/l	0,5
6.	Nitrat	mg/l	10
7.	Nitrit	mg/l	1
8.	Sianida	mg/l	0,1
9.	Deterjen	mg/l	0,05
10.	Pestisida total	mg/l	0,1
11.	Air raksa	mg/l	0,001

No	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
Parameter Kimia			
12.	Arsen	mg/l	0,05
13.	Cadium	mg/l	0,005
14.	Kromium	mg/l	0,05
15.	Selenium	mg/l	0,01
16.	Seng	mg/l	15
17.	Sulfat	mg/l	400
18.	Timbal	mg/l	0,05

Kebutuhan sanitasi adalah sebagai berikut:

- Air untuk karyawan

Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja perkantoran dan Industri, sanitasi minimal perorang adalah 60 liter/hari.

Jumlah karyawan	=	94	
Kebutuhan air		94 x 60	
karyawan	=	liter/hari	
	=	5640	liter/hari
	=	5,64	m <sup>3</sup> /hari

- Air untuk kebutuhan laboratorium

Menurut Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No.23 Tahun 2020, kebutuhan minimum air untuk laboratorium adalah 2 m<sup>3</sup>/hari.

- Air yang digunakan untuk keperluan lain-lain adalah 6 m<sup>3</sup>/hari

Air ini akan digunakan untuk keperluan taman, musholla, dan kebutuhan lain-lain

- Air pemadam kebakaran

Air untuk pemadam kebakaran digunakan hanya ketika terjadi kebakaran, sehingga pemakaiannya bersifat insidental dan tidak dilakukan secara rutin. Air yang digunakan harus memenuhi persyaratan, yaitu bebas dari padatan maupun kotoran seperti pasir, kerikil, dan daun. Berdasarkan SNI 03-1735-2000 tentang instalasi *hydrant* gedung yang mengatur tata cara penyediaan akses bangunan dan lingkungan

dalam upaya pencegahan bahaya kebakaran, pasokan air minimum untuk *hydrant* adalah 2400 liter/menit dan harus mampu mengalir selama sedikitnya 45 menit. Dengan ketentuan tersebut, volume air yang diperlukan adalah 108 m<sup>3</sup>. SNI 03-1735-2000 juga menyatakan bahwa satu pilar *hydrant* dapat melindungi area hingga 1000 m<sup>2</sup>.

*High Density Polyethylene* (HDPE) direncanakan berdiri di atas lahan seluas 50.000 m<sup>2</sup>, maka jumlah *hydrant* yang dibutuhkan adalah 50 unit. Selain itu, *hydrant* kedua dan seterusnya harus mampu mensuplai air sebesar 61.200 liter/menit. Dengan demikian, total kebutuhan air untuk sistem *hydrant* di pabrik *High Density Polyethylene* (HDPE) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Total air hydrant} &= (1 \times 2400 \times 45) + (49 \times 1200 \times 45) \\
 &= 108000 + 2646000 \quad \text{L} \\
 &= 2754000 \quad \text{L} \\
 &= 2.754 \quad \text{m}^3
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan dan pertimbangan di atas, maka jumlah air yang dibutuhkan untuk pabrik ini terdapat pada Tabel 4.4 berikut :

Tabel 4.4 Jumlah Kebutuhan Air

<b>Keperluan</b>	<b>Kebutuhan (m<sup>3</sup>/hari)</b>
Air pendingin	15.945
Air umpan boiler	1.105
Air sanitasi	11,6
Air <i>hydrant</i>	2.754

#### 4.2 Unit Pengolahan Air

Unit pengolahan air adalah suatu fasilitas yang berfungsi untuk mengolah air baku (air yang belum mengalami pengolahan) menjadi air bersih yang layak digunakan, baik untuk kebutuhan konsumsi, proses industri, maupun keperluan domestik yang berasal dari air laut. Berikut merupakan karakteristik air laut yang akan digunakan berdasarkan KepMen LH No. 51 Tahun 2004.

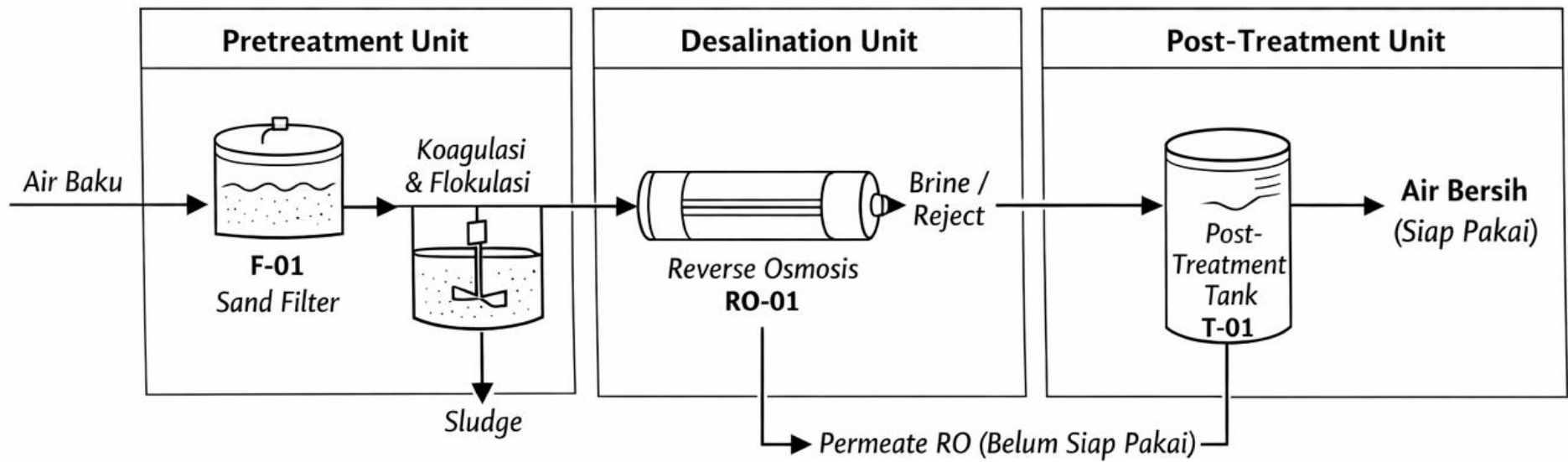
Tabel 4. 5 Karakteristik Air Laut

No.	Parameter	Unit	Requirements	Test of Techniques
1	<i>Physics</i>			
2	<i>Smell</i>	-	<i>Not Smell</i>	<i>Organoleptik</i>

No.	Parameter	Unit	Requirements	Test of Techniques
3	<i>Flavor</i>	-	Normal	Organoleptik
4	<i>Colour</i>	TCU	<i>Max. 15</i>	Spektofotometri
	<i>Total Dissolved</i>			
5	<i>Solids</i>	mg/l	<i>Max. 1000</i>	Gravimetri
6	<i>Turbidity</i>	NTU	<i>Max.5</i>	Spektofotometri
			Air Temperature	
7	<i>Temperature</i>	oC	3oc	Termometer
	<i>Chemistry</i>			
8	<i>Iron (Fe)</i>	mg/l	<i>Max. 0.3</i>	AAS
9	<i>Hardness as CaCO3</i>	mg/l	<i>Max.500</i>	Titrimetri
10	<i>Chloride (Cl)</i>	mg/l	<i>Max 250</i>	Argentometri
11	<i>Maganese (Mn)</i>	mg/l	<i>Max 0.1</i>	AAS
12	<i>pH</i>	-	6.5-8.5	pH meter
13	<i>Zinc (Zn)</i>	mg/l	Max 8	AAS
14	<i>Sulphate (SO4)</i>	mg/l	<i>Max 250</i>	Spektofotometri
15	<i>Copper (Cu)</i>	mg/l	<i>Max 1</i>	AAS
16	<i>Chlorine (Cl2)</i>	mg/l	<i>Max 5</i>	Titrimetri Spektofotometri
17	<i>Ammonium (NH3)</i>	mg/l	<i>Max 0.3</i>	(Nesler)
	<i>Inorganic Chemistry</i>			
18	<i>Arsenic (As)</i>	mg/l	<i>Max 0.01</i>	AAS
19	<i>Flouride (F)</i>	mg/l	<i>Max 1.5</i>	Spektofotometri
20	<i>Chrome heksavalen</i>		<i>Max 0.05</i>	AAS
21	<i>Cadium</i>		<i>Max 0.003</i>	AAS
22	<i>Nitrate (NO3)</i>	mg/l	<i>Max 50</i>	Spektofotometri
23	<i>Nitries (NO2)</i>	mg/l	<i>Max 3</i>	Spektofotometri
24	<i>Cyanide (CN)</i>	mg/l	<i>Max 0.07</i>	Destilasi
25	<i>Laed</i>	mg/l	<i>Max 0.3</i>	AAS
26	<i>Mercury</i>	mg/l	<i>Max 0.001</i>	AAS
	<i>Microbiology</i>			
27	<i>Plankton</i>	sel/100ml	<i>Not Bloom</i>	MPN

No.	Parameter	Unit	Requirements
<i>Total Coliform</i>			
28	<i>Bacteria</i>	APM/100ml	MPN

Proses pengolahan air laut hingga menjadi air yang dapat dimanfaatkan dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:



Gambar 4.1 Proses Pengolahan Air

#### 4.2.1 Penyaringan/Filtrasi

Filtrasi merupakan proses pemisahan zat padat dari cairan dengan cara mengalirkan air yang akan diolah melalui media berpori sehingga partikel-partikel halus dapat tertahan dan terpisah dari air (Benny, 2024). Proses ini merupakan tahapan lanjutan setelah koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi, yang bertujuan untuk menyisahkan sisa partikel tersuspensi yang belum terendapkan pada tahap sebelumnya. Dengan bantuan media filter, partikel-partikel tersebut akan tertahan di dalam lapisan filtrasi sehingga kualitas air menjadi lebih jernih. Secara umum, filtrasi didefinisikan sebagai proses pemisahan zat padat dari cairan dengan melewatkan air melalui media berpori untuk menghilangkan partikel-partikel yang sangat halus (Martin, 2001). Filtrasi juga dapat dipahami sebagai proses pemisahan padatan-cairan, di mana fase cair dialirkan melalui media berpori untuk memisahkan padatan tersuspensi yang berukuran lebih halus (Mochtar, 1999). Selama proses filtrasi berlangsung, terjadi beberapa mekanisme pemisahan partikel di dalam media penyaring (Martin, 2001).

#### 4.2.2 Koagulasi dan flokulasi

Menurut Irwansyah (2022), koagulasi dan flokulasi merupakan proses penambahan bahan kimia tertentu ke dalam cairan untuk mendestabilisasi partikel koloid, sehingga partikel-partikel tersebut dapat saling bergabung membentuk flok yang lebih besar dan mudah diendapkan. Destabilisasi koloid dapat terjadi melalui beberapa mekanisme, antara lain kompresi lapisan ganda, adsorpsi dan netralisasi muatan, penjeratan partikel selama proses pengendapan (*sweep flocculation*), serta pembentukan jembatan antarpartikel (Benefield et al., 1982). Dalam pengolahan air, berbagai jenis koagulan dapat digunakan, seperti  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeSO_4$ ,  $FeCl_2$ ,  $FeCl_3$ , kapur, *poly aluminium chloride* (PAC), serta koagulan pembantu (Tiara, 2012). Aluminium sulfat merupakan koagulan yang paling umum digunakan karena efektif dalam menurunkan kandungan karbonat. Prinsip utama proses koagulasi dan flokulasi adalah menggabungkan padatan koloid dan tersuspensi menjadi flok yang berukuran lebih besar sehingga dapat dipisahkan melalui pengendapan.

### 4.2.3 Desalinasi

Pada unit ini, proses desalinasi digunakan untuk mengubah air laut atau air payau menjadi air tawar dengan cara menghilangkan garam, mineral, serta zat terlarut lainnya sehingga diperoleh air yang lebih murni dan dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan domestik maupun industri. Prinsip dasar desalinasi dapat dilakukan melalui proses penguapan dan pengembunan, misalnya dengan memanfaatkan energi surya untuk memanaskan air hingga berubah menjadi uap, kemudian mengondensasikannya kembali menjadi air bersih dengan kandungan garam yang lebih rendah (Sari dan Sudarti, 2021; Aji et al., 2021). Teknologi ini menjadi penting dalam memenuhi kebutuhan air bersih global karena mampu meningkatkan ketersediaan air siap konsumsi dengan sistem yang relatif sederhana serta berpotensi dikembangkan menjadi lebih murah dan efisien.

Secara umum, sistem desalinasi dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu metode penyulingan (distilasi) dan metode membran. Metode membran, khususnya *Reverse Osmosis* (RO), merupakan teknologi yang paling banyak digunakan karena lebih efisien dalam operasional. *Reverse Osmosis* adalah proses pemisahan menggunakan membran semipermeabel dengan memberikan tekanan yang melebihi tekanan osmotik larutan garam sehingga air dipaksa bergerak dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi rendah, berlawanan dengan proses osmosis alami (Yoshi dan Widiasta, 2016). Tekanan yang diberikan berfungsi untuk mengatasi tekanan osmotik serta perbedaan potensial kimia pelarut yang merupakan parameter termodinamika sistem.

Membran *Reverse Osmosis* mampu memisahkan komponen terlarut berukuran sangat kecil, sekitar 0,001–0,01  $\mu\text{m}$ , termasuk ion-ion garam dan molekul bermassa molekul rendah, sehingga hanya molekul air yang dapat melewati membran sementara zat terlarut tertahan pada sisi umpan. Selama proses berlangsung terjadi mekanisme difusi melalui membran semipermeabel yang menghasilkan air dengan kadar garam jauh lebih rendah, sehingga teknologi *Reverse Osmosis* sangat efektif digunakan dalam pengolahan air laut menjadi air tawar. Dalam metode desalinasi dengan reverse osmosis terdiri dari 3 tahapan utama (Crittenden dkk., 2012), yaitu :

- a. *Pretreatment*
- b. Proses separasi

### c. Postretment

Setelah dilakukan pengolahan, karakteristik air produk yang diharapkan adalah sebagai berikut.

Tabel 4.6 Baku Mutu Air Produk

Parameter	Jenis	Keterangan Persyaratan
Suhu	Fisik	Normal / tidak mencolok
Warna	Fisik	Tidak berwarna
Bau	Fisik	Tidak berbau
Kekeruhan	Fisik	Rendah / jernih
Rasa	Fisik	Tidak berasa
pH	Kimia	Netral (sekitar 6,5 – 8,5)
Zat organik	Kimia	Tidak berlebih
Logam berat (Fe, Mn, Pb, dll)	Kimia	Sangat rendah / tidak melebihi baku mutu
Kesadahan	Kimia	Tidak terlalu tinggi
<i>Total Dissolved Solids</i> (TDS)	Kimia	Dalam batas aman
E. coli	Biologi	Tidak ada
Total coliform	Biologi	Tidak ada
Radioaktivitas	Radioaktif	Dalam batas aman

(Permenkes No.2 Tahun 2023)

## 4.3 Unit Pengadaan Listrik

Pada perencanaan pabrik *High Density Polyethylene* (HDPE) terdapat unit pengadaan listrik yang berfungsi sebagai penggerak peralatan proses ataupun penerangan. Berikut ini merupakan kebutuhan serta sumber listrik untuk keberjalanan pabrik.

### 4.3.1 Kebutuhan Listrik

Kebutuhan listrik pada pabrik *High Density Polyethylene* (HDPE) ini terdiri dari kebutuhan listrik untuk proses dan utilitas, penerangan dan *air conditioner*, kebutuhan untuk laboratorium, bengkel, dan instrumentasi serta kebutuhan untuk kantor.

**a. Kebutuhan Proses dan Utilitas**

Tabel 4.7 Kebutuhan Listrik Proses dan Utilitas

No	Alat Proses	Jumlah	HP/Unit	Total HP
1	Agitator Reaktor <i>Pre-Polymerization</i>	1	15,00	15,00
2	Agitator <i>Pre-Polymer Dryer</i>	1	10,00	10,00
3	Pompa <i>Slurry</i> ke <i>Polymerization</i>	2	5,00	10,00
4	<i>Main Gas Compressor Loop Reactor</i>	1	150,00	150,00
5	<i>Blower Gas Cyclone</i>	1	7,50	7,50
6	Pompa Pendingin Gas <i>Cooler</i>	2	7,50	15,00
7	Motor <i>Degasser</i>	2	5,00	10,00
8	<i>Extruder Twin Screw Pellet izer</i>	1	200,00	200,00
9	<i>Gear Pump Melt Polymer</i>	1	20,00	20,00
10	<i>Underwater Pellet Cutter</i>	1	10,00	10,00
11	<i>Conveyor / Transfer Pellet System</i>	2	5,00	10,00

Total kebutuhan listrik untuk proses yaitu sebesar 457,50 HP atau sebesar 341,9 kWh

Tabel 4.8 Kebutuhan Listrik Unit Utilitas

No	Alat Utilitas	Jumlah	HP/Unit	Total HP
1	Pompa <i>Sea Water Intake</i>	2	40,00	80,00
2	Pompa <i>Cooling water Circulation</i>	2	30,00	60,00
3	Pompa <i>Boiler Feed Water</i>	2	20,00	40,00
4	Pompa Kondensat	2	7,50	15,00
5	<i>Instrument Air Compressor</i>	2	25,00	50,00

No	Alat Utilitas	Jumlah	HP/Unit	Total HP
6	Pompa Air Demin / <i>Treatment</i>	2	10,00	20,00
7	Pompa Injeksi Bahan Kimia	2	3,00	6,00
8	Pompa Pengolahan Limbah	2	5,00	10,00

Total kebutuhan listrik untuk proses dan utilitas adalah 281,00 HP atau sebesar 209,6 kWh.

**b. Kebutuhan Listrik untuk Penerangan dan *Air Conditioner***

Kebutuhan tenaga listrik untuk sistem penerangan pabrik dihitung menggunakan pendekatan *Luminous Efficacy*, yaitu jumlah energi cahaya yang dipancarkan sumber cahaya dalam bentuk lumen. Metode ini digunakan untuk menentukan tingkat pencahayaan yang sesuai dengan fungsi tiap area kerja sehingga memenuhi standar keselamatan dan kenyamanan operasional. Besarnya kebutuhan pencahayaan suatu ruangan ditentukan berdasarkan luas area dan standar intensitas pencahayaan (lux). Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan:

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

Keterangan:

- Lumen : jumlah *fluks cahaya* yang dibutuhkan (lm)
- Area : luas area yang diterangi (m<sup>2</sup>)
- Lux : tingkat pencahayaan yang disyaratkan (lumen/m<sup>2</sup>)

Nilai *lux* berbeda untuk setiap jenis ruangan, tergantung pada aktivitas yang dilakukan di area tersebut. Area dengan aktivitas detail seperti laboratorium dan ruang kontrol memerlukan *lux* lebih tinggi dibandingkan area umum seperti gudang atau koridor.

Dalam perancangan ini, standar intensitas pencahayaan mengacu pada: Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 70 Tahun 2016 tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri, sehingga tingkat pencahayaan yang digunakan telah memenuhi ketentuan keselamatan kerja industri.

Tabel 4.9 Kebutuhan Listrik Penerangan *Indoor*

No	Bangunan	Luas (m <sup>2</sup> )	<i>Lux</i>	<i>Lumen</i>	Jumlah Lampu
1	Gedung Administrasi	3000	300	900000	45
2	<i>Training Center</i>	2500	300	750000	38
3	Gedung TC & QC	850	300	255000	13
4	Operating Center	250	300	75000	4
5	<i>Workshop</i>	1000	200	200000	10
6	<i>Warehouse</i>	1500	200	300000	15
7	<i>Gedung Fire &amp; Emergency</i>	900	200	180000	9
8	<i>Contractor Room</i>	700	200	140000	7
9	Musholla	700	150	105000	5

Tabel 4.10 Kebutuhan Listrik Penerangan *Outdoor*

No	Area	Luas (m <sup>2</sup> )	<i>Lux</i>	<i>Lumen</i>	Jumlah Lampu
1	Jalan Area Pabrik	2000	50	100000	5
2	Area Parkir	1500	50	75000	4

**c. Kebutuhan Listrik untuk Laboratorium, Instrumentasi dan Bengkel**

Penerangan pada area pabrik menggunakan lampu jenis LED (*Light Emitting Diode*) dengan pertimbangan efisiensi energi dan umur pakai yang panjang. Lampu yang digunakan mengacu pada produk komersial seperti Philips LED yang memiliki efikasi tinggi ( $\pm 100\text{--}120$  lumen/W) serta tersedia dalam berbagai variasi daya sesuai kebutuhan pencahayaan. Listrik untuk laboratorium, instrumentasi, bengkel, dan kebutuhan lainnya diperkirakan sebesar:

Laboratorium : 25 kW

Instrumentasi : 10 kW

Bengkel : 35 kW

Kebutuhan lainnya: 10 kW

Listrik untuk kebutuhan lainnya yaitu untuk penggunaan listrik untuk peralatan-peralatan kantor seperti komputer, *server* komputer, *printer*, dan alat komputer untuk sistem DCS di *Control Room*. Total kebutuhan listrik untuk laboratorium, instrumentasi, bengkel, dan kebutuhan lainnya yaitu sebesar 80 kW.

#### 4.3.2 Sumber Listrik

Pada perancangan pabrik *High Density Polyethylene* (HDPE), kebutuhan tenaga listrik dipenuhi dari jaringan PLN sebagai sumber utama. Selain itu, disediakan *generator* (genset) sebagai sumber listrik cadangan untuk menjamin kontinuitas operasi apabila terjadi gangguan pasokan dari PLN.

##### a. Pasokan Listrik dari PLN

Kebutuhan listrik utama pabrik diperoleh dari jaringan distribusi PLTU Suralaya yang berada di wilayah industri Cilegon–Merak, sehingga sistem kelistrikan pabrik dapat terhubung langsung dengan jaringan tegangan menengah industri. Listrik dari PLN digunakan untuk mengoperasikan seluruh peralatan proses, utilitas, serta sistem penerangan pabrik secara kontinu. Sistem distribusi internal pabrik menggunakan transformator untuk menurunkan tegangan dari jaringan PLN ke tegangan operasi peralatan sehingga sesuai dengan kebutuhan motor listrik, pompa, kompresor, dan sistem kontrol. Pemanfaatan listrik dari PLN dipilih karena:

- Suplai daya stabil dan tersedia secara kontinu.
- Biaya operasional lebih ekonomis dibandingkan pembangkitan sendiri.
- Infrastruktur jaringan listrik industri telah tersedia di kawasan pabrik.
- Memudahkan pengembangan kapasitas apabila beban listrik meningkat.

##### b. Generator sebagai Sumber Listrik Cadangan

Generator digunakan sebagai *backup power supply* untuk menjaga keberlangsungan operasi pabrik apabila terjadi:

- pemadaman listrik PLN
- gangguan jaringan

- perawatan sistem kelistrikan eksternal

Jenis generator yang digunakan adalah generator arus bolak-balik (AC) tiga fase, dengan pertimbangan:

- Mampu menghasilkan daya besar untuk beban industri.
- Tegangan dapat dinaikkan atau diturunkan menggunakan transformator.
- Sistem tiga fase memberikan kestabilan tegangan dan efisiensi distribusi daya.
- Sesuai dengan kebutuhan motor listrik industri yang mayoritas menggunakan motor tiga fase.
- Sistem lebih ekonomis untuk kapasitas daya besar.

#### 4.4 Unit Pegadaan *Steam*

Dalam suatu industri kimia tidak terlepas dari kebutuhan utilitas, salah satunya adalah *steam*. *Steam* merupakan utilitas penting yang digunakan sebagai media pemanas dalam proses produksi. Pada proses produksi *polyethylene* ini, penggunaan *steam* difokuskan pada unit yang membutuhkan pemanasan langsung, yaitu pada unit *prepolymer dryer*. *Steam* digunakan untuk menguapkan *solvent* berupa *hexane* pada proses pengeringan *prepolymer slurry*. Berdasarkan neraca massa, jumlah *hexane* yang diuapkan sebesar 6701,2 kg/jam sehingga membutuhkan suplai panas untuk proses evaporasi. Kebutuhan panas tersebut dipenuhi menggunakan *steam* yang dihasilkan dari boiler. *Steam* yang digunakan merupakan *low pressure steam* (LP *steam*) yang sesuai untuk proses pemanasan dengan temperatur sedang. Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan *steam* teoritis sebesar 4.512 kg/jam, dan dengan mempertimbangkan kehilangan sebesar 27%, maka kebutuhan *steam* aktual menjadi sebesar 5.730 kg/jam.

Dasar Perhitungan

$$m_{hexane} = 6701,2 \text{ kg/jam}$$

Perhitungan kebutuhan panas

$$\lambda_{hexane} = 330 \text{ kkal/kg}$$

sehingga kebutuhan panas =

$$Q = m \times \lambda$$

$$Q = 670,2 \times 330$$

$$Q = 2211396 \text{ kkal/jam}$$

Spesifikasi *steam* :

saturated *steam*

$$\lambda_{steam} = 490 \text{ kkal/kg}$$

Perhitungan kebutuhan *steam*

$$\dot{m}_{steam} = \frac{Q}{\lambda_{steam}}$$

$$\dot{m}_{steam} = \frac{2.211.396}{490}$$

$$\dot{m}_{steam} = 4512 \text{ kg/jam}$$

Kebutuhan *steam* aktual

(dengan *losses*)

diasumsikan kehilangan sebesar 27% (*Blowdown*

+ *steam trap*)

$$\dot{m}_{steam, aktual} = 4512 \times 1,27$$

$$\dot{m}_{steam, aktual} = 5730 \text{ kg/jam}$$

Kebutuhan *steam* teoritis = 4,5 ton/jam

Kebutuhan *steam* aktual = 5,7 ton/jam

*Steam* dalam proses ini digunakan pada unit *prepolymer dryer* untuk proses penguapan *solvent (hexane)*. Berdasarkan neraca massa, jumlah *hexane* yang diuapkan sebesar 6701,2 kg/jam sehingga diperlukan suplai panas dari *steam*. Sementara itu, unit reaktor polimerisasi tidak menggunakan *steam* karena reaksi bersifat eksotermis sehingga membutuhkan sistem pendingin (*cooling water*). Unit lain seperti *degasser* dan *extruder* juga tidak menggunakan *steam* karena proses yang terjadi tidak memerlukan pemanasan berbasis uap.

#### 4.4.1 Kapasitas Boiler

Kapasitas boiler dapat dihitung berdasarkan banyaknya *steam* yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan produksi pabrik HDPE.

$m \text{ steam}$	=	5730 kg/jam
Data diketahui	=	
Massa <i>steam</i>	=	5730 kg/jam
T boiler <i>feed water</i>	=	30 C
T <i>steam</i>	=	130 C
Kapasitas panas air	=	4,17 kJ/kgC
Panas <i>laten steam</i>	=	2173,6 kJ/kgC
Efisiensi <i>boiler</i>	=	80 %

Persamaan

$$Q \text{ steam} = m \cdot C_p \cdot \Delta T + m \cdot \lambda$$

$$Q \text{ boiler} = \frac{Q \text{ steam}}{\eta}$$

Menghitung  $\Delta T$

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_{\text{steam}} - T_{\text{BFW}} \\ \Delta T &= 130 - 30 \\ &= 100 \text{ C} \end{aligned}$$

Panas *sensible*

$$\begin{aligned} Q \text{ sensible} &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\ Q \text{ sensible} &= 5730 \times 4,17 \times 100 \\ Q \text{ sensible} &= 2389410 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Menghitung panas *latent*

$$\begin{aligned} Q \text{ latent} &= m \cdot \lambda \\ Q \text{ latent} &= 5730 \times 2173,6 \\ Q \text{ latent} &= 12458928 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Total kebutuhan panas *steam*

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{steam}} &= Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latent}} \\
 Q_{\text{steam}} &= 2389410 + 12458928 \\
 Q_{\text{steam}} &= 14848338 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan panas aktual boiler

$$Q_{\text{boiler}} = \frac{Q_{\text{steam}}}{\eta}$$

$$Q_{\text{boiler}} = 18560423 \text{ kJ/jam}$$

#### 4.4.2 Jenis dan Spesifikasi Boiler

#### 4.5 Unit Pengadaan Bahan Bakar

Unit ini berfungsi untuk mengoperasikan boiler dan generator listrik. Dalam perancangan pabrik *High Density Polyethylene* (HDPE), bahan bakar yang direncanakan digunakan adalah biosolar B40 yang dipasok oleh Pertamina. Pemilihan bahan bakar tersebut didasarkan pada ketersediaannya yang mudah diperoleh, sifatnya yang lebih ramah lingkungan, serta harganya yang relatif ekonomis. Spesifikasi biosolar B40 yang digunakan mengacu pada SK Dirjen Migas No. 384.K/MG.06/DJM/2024 sebagai berikut:

Tabel 4.11 Spesifikasi Biosolar B40

Parameter	Nilai
Bilangan Setana	48-51
Berat Jenis	815-880 kg/m <sup>3</sup>
Viskositas	2-5 mm <sup>2</sup> /s
Kandungan sulfur	Max 0,005 %m/m
Residu karbon	Max 0,1 %m/m
Kandungan air	Max 380mg/kg
Kandungan abu	Max 0,01 %m/m
Kandungan sedimen	Max 0,01 %m/m
Bilangan asam total	Max 0,6 mg KOH/gr

Adapun kebutuhan bahan bakar sebagai berikut :

Kebutuhan Bahan Bakar

$$Q_{\text{boiler}} = 1,856 \times 10^7 \quad \text{kJ/jam}$$

$$\text{Bahan bakar diasumsikan solar dengan nilai kalor} = 42000 \quad \text{kJ/kg}$$

$$m_{\text{fuel}} = \frac{Q_{\text{boiler}}}{HV}$$

$$m_{\text{fuel}} = \frac{1,856 \times 10^7}{42000}$$

$$m_{\text{fuel}} = 442,86 \text{ kg/jam}$$

### 3.9 4.5 Unit Pengadaan Udara Tekan

Penyediaan udara tekan di pabrik bertujuan untuk memenuhi kebutuhan proses produksi maupun pengolahan bahan. Udara tekan dimanfaatkan sebagai sumber tenaga penggerak serta sebagai penyedia udara bersih dan kering guna menunjang kualitas produk yang dihasilkan. Selain itu, udara tekan berperan dalam sistem kontrol, khususnya sebagai media *pneumatik* untuk mengoperasikan peralatan pengendali proses seperti *valve* dalam kegiatan produksi.

#### 4.5.1 *Plant Air*

*Plant air* merupakan udara tekan yang digunakan untuk kebutuhan umum di area pabrik, seperti pengoperasian peralatan *pneumatik* non-kritis, pekerjaan *maintenance*, pembersihan peralatan, dan aplikasi utilitas lainnya. Penggunaan udara tekan untuk *pneumatic tools* dan *general industrial services* menurut (Saidur et al., 2010), yang menyebutkan bahwa compressed air banyak dimanfaatkan untuk peralatan industri dan aplikasi mekanis. Jenis-jenis *plant air* terdapat pada Tabel 4.12 di bawah ini.

Tabel 4.12 Jenis-Jenis *Plant Air*

<b>Jenis Penggunaan</b>	<b>Nama Spesifik</b>	<b>Fungsi Utama</b>	<b>Kualitas Udara</b>	<b>Alat/Komponen Pendukung</b>
<b>Utilitas Umum</b>	<i>Utility Air / Workshop Air</i>	Menggerakkan alat tangan (bor, gerinda), pembersihan debu, dan pengisian angin.	Kotor/Lembap	<i>FRL Unit (Filter, Regulator, Lubricator), Air Gun.</i>
<b>Transportasi</b>	<i>Pneumatic Conveying</i>	Memindahkan material bubuk/biji (semen, tepung, butiran plastik) lewat pipa.	Kering & Bebas Oli	<i>Rotary Feeder, Blow Tank, Cyclone Separator.</i>
<b>Proses Produksi</b>	<i>Process Air / Agitation</i>	Pengadukan cairan dalam tangki, aerasi limbah (IPAL), dan oksidasi kimia.	Bersih	<i>Aerator, Diffuser, Sparger.</i>
<b>Peralatan Berat</b>	<i>Pneumatic Power</i>	Menggerakkan <i>Air Hoist</i> (katrol), <i>Winch</i> , atau piston raksasa.	Lembap	<i>Lubricator</i> (untuk melumasi silinder mekanis).
<b>Pendinginan</b>	<i>Cooling &amp; Quenching Air</i>	Mendinginkan produk panas (logam/kaca) secara cepat setelah dicetak.	Bebas Partikel	<i>Air Nozzle, Vortex Tube.</i>
<b>Pengecatan</b>	<i>Atomizing Air</i>	Memecah cairan cat menjadi butiran halus ( <i>spray painting</i> ).	Sangat Bersih	<i>Oil Mist Separator, Pressure Regulator.</i>

Jenis Penggunaan	Nama Spesifik	Fungsi Utama	Kualitas Udara	Alat/Komponen Pendukung
Kesehatan/ Keamanan	<i>Breathing Air</i>	Udara pernapasan untuk pekerja di ruang terbatas atau <i>sandblasting</i> .	Bebas Bau & Karbon	<i>Activated Carbon Filter, CO Monitor.</i>
Vakum	<i>Ejector Air</i>	Menciptakan daya hisap untuk mengangkat plat besi atau kaca.	Bebas Debu	<i>Venturi Ejector, Suction Cup.</i>

#### 4.5.2 Instrument Air

*Instrument air* adalah udara tekan dengan spesifikasi kualitas lebih tinggi yang digunakan pada sistem kontrol dan instrumentasi, seperti control *valve* dan aktuator *pneumatik*. Udara tekan yang digunakan dalam sistem kontrol harus bersih dan kering untuk mencegah gangguan operasional serta meningkatkan keandalan sistem. Jenis-jenis *instrument air* terdapat pada Tabel 4.13 di bawah ini.

Tabel 4.13 Jenis-Jenis *Instrument Air*

Kategori	Nama Instrumen/Alat	Fungsi Utama	Karakteristik Utama
Sistem Instrumen (Penggerak)	Udara Kompresor Udara	Menghasilkan udara bertekanan tinggi	Sumber tenaga utama untuk seluruh sistem <i>pneumatik</i> pabrik.

<b>Kategori</b>	<b>Nama Instrumen/Alat</b>	<b>Fungsi Utama</b>	<b>Karakteristik Utama</b>
	<i>Air Dryer</i> (Pengering)	Menghilangkan uap air (kelembapan).	Menghasilkan udara kering ( <i>low dew point</i> ).
	Filter Udara	Menyaring debu, partikel, dan uap oli.	Menjaga kebersihan udara agar alat tidak macet.
	<i>Receiver Tank</i>	Menstabilkan tekanan udara.	Sebagai cadangan energi (buffer).
Peralatan Pneumatik (Output)	<i>Control Valve</i>	Mengatur aliran fluida (cair/gas).	Digerakkan oleh tekanan udara ( <i>actuator</i> ).
	<i>Pneumatic Cylinder</i>	Menghasilkan gerakan mekanik (maju-mundur).	Digunakan pada robot atau mesin packing.
	<i>Pressure Switch</i>	Memutus/menyambung arus berdasarkan tekanan.	Pengaman sistem jika tekanan berlebih.
Pemantau Kualitas Udara (Monitoring)	HVAS ( <i>High Volume Sampler</i> )	Mengambil sampel debu ( <i>partikulat</i> ) di area luas.	Mengukur TSP, PM10, atau PM2.5.

Kategori	Nama Instrumen/Alat	Fungsi Utama	Karakteristik Utama
	<i>Impinger (Gas Sampler)</i>	Menangkap sampel gas kimia (SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , dll).	Menggunakan media cair penyerap gas.
	CEMS	Memantau emisi cerobong pabrik 24 jam.	Terintegrasi dengan sistem kontrol pusat.
	Anemometer	Mengukur kecepatan angin.	Penting untuk arah sebaran polutan.
	<i>Dust Collector</i>	Menangkap debu dari proses produksi.	Menjaga kualitas udara di dalam ruangan pabrik.

### 3.10 4.6 Laboratorium

Laboratorium memiliki peranan yang sangat penting dalam menunjang kelancaran operasional pabrik HDPE, khususnya dalam kegiatan pengawasan mutu, pemantauan proses produksi, serta pengendalian pencemaran lingkungan. Laboratorium ini berfungsi sebagai pusat analisis untuk memastikan bahwa bahan baku, bahan penunjang, dan produk akhir telah memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Selain itu, laboratorium juga berperan dalam mendeteksi secara dini adanya penyimpangan dalam proses produksi sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan.

#### 4.6.1 Bagian – bagian Laboratorium

Pabrik HDPE (*High Density Polyethylene*) melaksanakan pengendalian mutu produk melalui serangkaian pengujian yang dilakukan di laboratorium. Pengujian tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa resin HDPE yang dihasilkan telah memenuhi spesifikasi kualitas yang ditetapkan. Agar program kerja laboratorium dapat berjalan secara efektif dan sistematis, setiap kegiatan pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur

operasional standar yang telah ditetapkan, maka laboratorium dibagi menjadi dua bagian yaitu :

1. Laboratorium TSC (*Technical Service Center*)

Laboratorium TSC dikelola oleh bagian *Technical Service and Product Development* (TSPD) yang bertugas menganalisa produk polietilena untuk menguji apakah produk polietilena ini setelah sampai pada konsumen dapat diolah menjadi produk sesuai dengan yang diinginkan oleh konsumen atau tidak. Program kerja pada laboratorium TSC secara garis besar adalah dengan melakukan *development* dan *improvement* terhadap produk yang dihasilkan oleh Pabrik HDPE.

2. Laboratorium QC (*Quality Control*)

Laboratorium QC bertugas untuk menganalisa secara kimia bahan baku, *powder* prepolimer, katalis dan polimer baik yang berbentuk *powder* maupun *pellet* . Analisa dilakukan setiap hari dan produk polimer dianalisa tiap empat jam sekali dengan sampel analisa diambil dari arus keluaran reaktor.

#### 4.6.2 Pengujian Yang Dilakukan di Laboratorium

Untuk menunjang mutu bahan baku dan produk yang dihasilkan laboratorium pabrik HDPE di lengkapi dengan beberapa jenis pengujian yaitu :

1. Analisa Bahan Baku

Analisis bahan baku dilakukan di laboratorium QC, dimana bahan baku di impor dari luar negeri yang telah melalui proses pengujian serta memperoleh sertifikasi dari perusahaan asal. Alat yang digunakan GC yang digunakan untuk mengidentifikasi zat *volatile* yaitu *ethylene*, *acetylene* dan  $H_2S$ .

2. Analisa Bahan Setengah Jadi

Pada analisis bahan setengah jadi, *molten/powder* polimer (sebelum menjadi *pellet* ) dianalisis menggunakan *melt indexer* dan *density gradient column* dengan prosedur yang sama. Analisa *Melt Index* (MI) bertujuan untuk memberikan gambaran berat molekul dari polimer. MI berbanding terbalik dengan berat molekul. Bahan plastik dengan berat molekul besar akan sulit mengalir melalui suatu orifice sehingga MI besar. Alat yang digunakan yaitu Plastometer. Analisa Densitas bertujuan untuk memberikan informasi dasar yang diperlukan untuk karakteristik dan kualitas suatu material. Alat yang digunakan yaitu *Density Gradient Column* (DGC).

### 3. Analisa Bahan Jadi

Pada bahan jadi, pengujian dilakukan di laboratorium TSC (*Technical Service Center*) yang bertugas menganalisis produk *polyethylene* secara mekanik. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan mutu *polyethylene* yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi dan grade yang telah ditetapkan. Apabila terjadi penurunan kualitas produk, maka akan segera dilakukan evaluasi serta perbaikan terhadap komposisi bahan maupun kondisi operasi proses agar produk kembali memenuhi standar mutu yang telah ditentukan.

Analisa *Melt Index* (MI) bertujuan untuk memberikan gambaran berat molekul dari polimer. MI berbanding terbalik dengan berat molekul. Bahan plastik dengan berat molekul besar akan sulit mengalir melalui suatu *orifice* sehingga MI besar. Alat yang digunakan yaitu Plastometer. Analisa Densitas bertujuan untuk memberikan informasi dasar yang diperlukan untuk karakteristik dan kualitas suatu material. Alat yang digunakan yaitu *Density Gradient Column* (DGC). Analisa Kuat Tarik bertujuan untuk mengetahui besarnya kekuatan tarik dari produk *polyethylene* pada saat menerima beban. Alat yang digunakan yaitu tensile meter. Analisa Keburaman Plastik menggunakan alat Haze meter.

### 4. Analisa Kualitas Air Limbah

*Effluent Treatment Unit* (ETU), yang berupa suatu sarana pengolahan limbah dari suatu industri sebelum limbah dibuang ke laut. Air limbah dapat berupa sisa - sisa bahan kimia (*Catalyst Residu Slurry*), *Oily Water*, dan *Foul Water* harus diuji terlebih dahulu sehingga didapatkan standar limbah yang baik sebelum dibuang ke *sea water out fall*. Analisa kualitas air limbah dilakukan untuk mengetahui tingkat pencemaran serta efektivitas proses pengolahan. Parameter yang umum digunakan meliputi pH, BOD, COD, TSS, dan kandungan minyak, yang dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku untuk memastikan limbah aman dibuang ke lingkungan.

- Alat yang Digunakan

1. Gas Chromatography

Digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur konsentrasi (kadar) komponen kimia yang mudah menguap (*volatil*). Pada laboratorium untuk mengetahui kemurnian *ethylene* dan *butene*.

2. Gradient density column

Digunakan untuk mengukur densitas/massa jenis suatu bahan padat dengan presisi tinggi. Pada laboratorium untuk mengetahui densitas *polyethylene*.

### 3. Plastometer

Digunakan untuk mengukur laju aliran lelehan (*melt flow rate* atau MFR) dan laju aliran volume leleh (*melt volume rate* atau MVR) pada material termoplastik.

### 4. Tensile meter

Digunakan untuk mengukur sifat mekanik bahan, seperti logam, plastik, karet, komposit, dan tekstil, saat menerima gaya tarik.

### 5. Haze meter

Alat optik presisi yang digunakan untuk mengukur persentase kekeruhan (*haze*) dan transmisi cahaya total pada material transparan atau tembus cahaya.

## 3.11 4.7 Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah pada pabrik HDPE sangat dibutuhkan karena dalam memproduksi HDPE terdapat limbah-limbah yang apabila dibuang langsung menimbulkan dampak yang buruk bagi lingkungan. Limbah yang dihasilkan oleh pabrik HDPE terdiri dari tiga jenis yaitu :

- a. Limbah cair
- b. Limbah gas
- c. Limbah padat

### 4.7.1 Identifikasi Limbah

#### A. Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan dari seluruh kegiatan operasional pabrik berasal dari berbagai sumber, antara lain air limbah sanitasi dari kawasan domestik, air yang terkontaminasi minyak akibat pembuangan pelumas dan peralatan berputar, serta air sisa proses yang berasal dari aktivitas pembersihan, *blowdown*, maupun purge yang masih mengandung residu bahan kimia.

#### B. Limbah Gas

Limbah gas yang dihasilkan dari seluruh kegiatan operasional pabrik bersumber dari berbagai titik, di antaranya emisi yang berasal dari reaktor, gas buang hasil pembakaran boiler yang mengandung CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>x</sub>, senyawa organik mudah menguap atau *Volatile Organic Compound* (VOC) yang berasal dari area tangki penyimpanan maupun lokasi bongkar muat, serta gas yang dihasilkan dari proses stripping, flare, dan incinerator.

### C. Limbah Padat

Limbah padat yang dihasilkan dari seluruh kegiatan operasional pabrik bersumber dari berbagai jenis, di antaranya endapan lumpur yang berasal dari unit pengolahan air limbah (IPAL), sampah yang dihasilkan dari aktivitas domestik, berbagai media filter yang digunakan dalam proses filtrasi, debu hasil tangkapan dust collector, serta kemasan bekas bahan kimia.

Berikut identifikasi Limbah sesuai dengan sumbernya dapat dilihat pada table 4.14 sebagai berikut

Tabel 4.14 Identifikasi Limbah

<b>Sumber Limbah</b>	<b>Jenis Limbah</b>	<b>Bentuk</b>	<b>Karakteristik</b>	<b>Parameter Dominan</b>
Proses polimerisasi	Limbah cair	Cair	Sisa monomer & katalis	COD, TSS
<i>Cooling water</i>	Limbah cair	Cair	Suhu tinggi	Suhu, TDS
<i>Washing / cleaning</i>	Limbah cair	Cair	Resin & oil	TSS, Oil & Grease
Domestik	Limbah cair	Cair	Organik tinggi	BOD, COD
<i>Loss pellet</i>	Limbah padat	Padat	Granul plastik	Mikroplastik
<i>Sludge WWTP</i>	Limbah padat	Padat	Lumpur hasil pengolahan	TSS
Reaktor & proses	Limbah gas	Gas	Sisa hidrokarbon	VOC
<i>Flare system</i>	Limbah gas	Gas	Pembakaran gas	CO <sub>2</sub> , CO
<i>Boiler / utilitas</i>	Limbah gas	Gas	Pembakaran bahan bakar	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>

#### 4.7.2. Baku Mutu

##### 4.7.2.1 Limbah Cair

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, limbah cair untuk industry yang belum memiliki ketentuan baku mutu air limbah secara khusus tetap harus memenuhi parameter kualitas lingkungan yang telah ditetapkan sesuai dengan peraturan peundang-undangan yang berlaku.

Tabel 4.15 Baku Mutu Limbah Cair

Parameter	Satuan	Golongan	
		I	II
Suhu	°C	38	40
Zat padat larut (TDS)	mg/L	2	4
Zat padat suspensi (TSS)	mg/L	2	4
pH	-	6-9	6-9
Besi terlarut (Fe)	mg/L	5	10
Mangan terlarut (Mn)	mg/L	2	5
Barium (Ba)	mg/L	2	3
Tembaga (Cu)	mg/L	2	3
Seng (Zn)	mg/L	5	10
Krom Heksavalen (Cr <sup>6+</sup> )	mg/L	0,1	0,5
Krom Total (Cr)	mg/L	0,5	1
Cadmium (Cd)	mg/L	0,05	0,1
Air Raksa (Hg)	mg/L	0,02	0,005
Timbal (Pb)	mg/L	0,1	1
Stanum (Sn)	mg/L	2	3
Arsen (AS)	mg/L	0,1	0,5
Selenium (Se)	mg/L	0,05	0,5
Nikel (Ni)	mg/L	0,2	0,5
Kobalt (Co)	mg/L	0,4	0,6
Sianida (CN)	mg/L	0,05	0,5
Sulfida (H <sub>2</sub> S)	mg/L	0,5	1
Flourida (F)	mg/L	2	3
Klorin bebas (Cl <sub>2</sub> )	mg/L	1	2
Ammonia-Nitrogen (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	5	10
Nitrat (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	20	30
Nitrit (N <sub>2</sub> -N)	mg/L	1	3
Total Nitrogen	mg/L	30	60
BOD <sub>5</sub>	mg/L	50	150
COD	mg/L	100	300
Senyawa aktif biru metilen	mg/L	5	10

Parameter	Satuan	Golongan	
		I	II
Fenol	mg/L	0,5	1
Minyak & Lemak	mg/L	10	20
Total Bakteri Koliform	MPN/100MmL	10.000	

#### 4.7.2.2 Limbah Gas

Limbah gas dari pabrik HDPE mengandung senyawa hidrokarbon. Kemudian gas buang tersebut dapat dilepaskan langsung ke atmosfer selama konsentrasinya masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan dalam standar baku mutu kualitas udara. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, Baku Mutu Udara Ambien Nasional ditetapkan sebagai acuan batas maksimum kadar pencemar yang diperbolehkan terdapat di udara ambien. Adapun baku mutu limbah gas terdapat pada Tabel 4.16 di bawah ini.

Tabel 4. 16 Baku Mutu Limbah Gas

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu
1	SO <sub>3</sub>	24 jam	365 µg/Nm <sup>3</sup>
2	CO	24 jam	10.000µg/Nm <sup>3</sup>
3	NO <sub>2</sub>	24 jam	150 µg/Nm <sup>3</sup>
4	O <sub>3</sub>	1 jam	235 µg/Nm <sup>3</sup>
5	HC	3 jam	160 µg/Nm <sup>3</sup>
6	Debu	24 jam	230 µg/Nm <sup>3</sup>

Salah satu upaya yaitu melalui sistem pemisahan dan pemurnian gas untuk menurunkan kandungan komponen pencemar sebelum dilepaskan ke atmosfer. Metode ini berfokus pada pemisahan komponen hidrokarbon ringan yang tidak bereaksi, serta pengurangan kandungan senyawa volatile yang berpotensi mencemari lingkungan. Proses ini dilakukan melalui tahapan kondensasi, absorpsi, dan sistem flare untuk memastikan bahwa gas yang dilepaskan telah memenuhi standar baku mutu emisi (Xie,1994).

#### 4.7.2.3 Limbah Padat

Limbah padat yang dihasilkan pada pabrik HDPE meliputi serbuk polimer (*polimer fines*), produk *off-spec*, residu katalis, sludge dari unit pengolahan air limbah, serta filter bekas yang terkontaminasi hidrokarbon. Limbah tertentu seperti residu katalis dan sludge berpotensi dikategorikan sebagai limbah B3 sehingga memerlukan penanganan khusus sesuai peraturan yang berlaku. Berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021 Pasal 278, limbah B3 memiliki 3 kategori, yaitu :

- Limbah B3 kategori 1
  - Mudah meledak, mudah menyala, reaktif, infeksius, korosif, dan/atau beracun ( uji *explosive-E*, *ignitable-I*, *reactive-R*, *infectious-X*, dan *corrosive-C*)
  - Beracun (melalui uji TCLP lebih besar dari TCLP-A pada lampiran III PP Nomor 101 Tahun 2014)
  - Beracun (uji toksikologi LD50 lebih kecil/sama dengan 50 mg/kg berat badan hewan uji)
- Limbah B3 kategori 2
  - Beracun (melalui uji TCLP lebih kecil dari/ sama dengan konsentrasi kolom TCLP-A dan konsentrasi zat pencemar lebih besar dari kolom TCLP-B )
  - Beracun (uji toksikologi LD50 lebih besar dari 50 mg/kg berat dan lebih kecil/ sama dengan 5000 mg/kg badan hewan uji)
  - Beracun (uji toksikologi sub-kronis)
- Limbah kategori non-B3 (selain diatas)

Limbah B3 dapat ditangani melalui tahapan penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan kembali, pengolahan, hingga penimbunan sesuai prosedur yang berlaku.

#### 4.7.3 Pengolahan Limbah

##### 1. Pengolahan Limbah Cair

##### a. *Oily Water* dari Mesin Proses

*Oily water* merupakan hasil buangan pelumas yang berasal dari pompa maupun peralatan lainnya. Proses pemisahannya memanfaatkan perbedaan massa jenis antara minyak dan air. Lapisan minyak yang berada di bagian atas dialirkan ke tangki

penampung untuk selanjutnya dibakar menggunakan tungku pembakaran, sementara lapisan air di bagian bawah diteruskan ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).

b. Air Buangan Sanitasi

Air limbah sanitasi bersumber dari seluruh fasilitas toilet yang ada di area pabrik maupun perkantoran. Pengolahannya dilakukan dengan mengumpulkan air limbah tersebut, lalu memprosesnya dalam unit sanitasi menggunakan kombinasi lumpur aktif dan disinfektan berupa natrium hipoklorit (Na-hypochlorite). Setelah diolah, air limbah kemudian dialirkan menuju IPAL.

c. Air Sisa Proses

Air sisa dari proses regenerasi unit demineralisasi mengandung senyawa NaOH dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Air ini dinetralkan terlebih dahulu di dalam kolam penetralan menggunakan HCl dan NaOH hingga nilai pH berada pada kisaran 6,5–7, dengan kandungan oksigen minimal sebesar 3 ppm. Setelah kondisinya netral, air tersebut kemudian dialirkan ke IPAL.

2. Pengolahan Limbah Gas

Guna mencegah terjadinya pencemaran udara akibat emisi gas dari boiler maupun absorber, penanganannya dilakukan dengan membangun *flare stack* atau cerobong asap pada ketinggian yang telah ditentukan sebagai jalur pembuangan. Langkah ini diambil karena bahan bakar yang digunakan pada boiler adalah gas alam, sehingga tidak menghasilkan abu terbang (*fly ash*) maupun emisi berbahaya lainnya yang dapat mencemari lingkungan.

3. Pengolahan Limbah Padat

Sebagian besar limbah padat yang dihasilkan berasal dari sampah domestik seperti kertas dan plastik. Sampah-sampah tersebut ditampung sementara dalam bak penampungan, kemudian diangkut ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Adapun untuk limbah padat yang tergolong bahan berbahaya dan beracun (B3), disimpan sementara di Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) dengan sistem tertutup guna mencegah kebocoran yang dapat mencemari tanah, air, maupun lingkungan sekitarnya. Selanjutnya, limbah B3 tersebut diangkut ke TPA untuk mendapatkan penanganan lebih lanjut.

### 3.12 4.8 K3 & Lingkungan Hidup

Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lingkungan Hidup (K3LH) merupakan upaya perlindungan yang bertujuan memastikan tenaga kerja tetap dalam kondisi aman dan sehat selama menjalankan aktivitas di tempat kerja. Perlindungan ini juga mencakup setiap orang yang berada di lingkungan kerja serta menjamin proses produksi berlangsung secara aman. Oleh karena itu, penerapan K3LH harus dilakukan secara serius, menyeluruh, dan terintegrasi.

#### 4.8.1 Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)

Sesuai dengan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 5 Tahun 2018 mengenai Standar Kesehatan dan Keselamatan Kerja di Tempat Kerja, ditetapkan bahwa pekerja memiliki sejumlah hak dan kewajiban dalam penerapan K3. Ketentuan tersebut mengatur peran tenaga kerja dalam menjaga keselamatan dan kesehatan selama berada di lingkungan kerja sebagai berikut :

- Kewajiban Pekerja :
  1. Mematuhi seluruh ketentuan serta prosedur keselamatan dan kesehatan kerja yang telah ditetapkan oleh pihak perusahaan.
  2. Segera melaporkan kepada perusahaan apabila terjadi kecelakaan kerja, penyakit akibat kerja, maupun potensi bahaya di lingkungan kerja.
  3. Menjaga kondisi kesehatan pribadi serta mengikuti pemeriksaan kesehatan sesuai ketentuan yang diberlakukan oleh perusahaan.
  4. Menghindari segala tindakan yang dapat membahayakan keselamatan dan kesehatan diri sendiri maupun orang lain di tempat kerja.
  5. Berperan aktif dalam penerapan program K3, seperti mengikuti pelatihan dan sosialisasi, serta memberikan kontribusi dalam proses identifikasi dan penilaian risiko di lingkungan kerja.
  
- Hak Pekerja :
  1. Berhak memperoleh informasi yang memadai dari perusahaan mengenai potensi bahaya serta risiko keselamatan dan kesehatan kerja di lingkungan kerja.
  2. Berhak mendapatkan perlindungan dari segala risiko dan bahaya K3 yang dapat mengancam keselamatan maupun kesehatannya.
  3. Berhak atas perlindungan dari perlakuan diskriminatif apabila melaporkan kondisi berbahaya atau menolak bekerja di lingkungan yang tidak memenuhi standar K3.

4. Berhak memperoleh jaminan perlindungan sosial serta kompensasi apabila mengalami kecelakaan kerja, penyakit akibat kerja, atau cacat akibat kerja.
5. Berhak untuk terlibat dalam pelaksanaan program K3 di tempat kerja, termasuk dalam pembentukan komite K3 serta proses identifikasi dan penilaian risiko keselamatan dan kesehatan kerja.

Selain itu diperlukan memberikan pelayanan bagi pekerja dengan memperhatikan aspek Keselamatan Kerja (K3) diantaranya yaitu :

1. Pelatihan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Perusahaan wajib menyelenggarakan pelatihan K3 secara rutin kepada pekerja guna meningkatkan kesadaran, pengetahuan, dan pemahaman mengenai pentingnya penerapan K3 di lingkungan kerja.

2. Penanganan Kecelakaan Kerja

Perusahaan berkewajiban memberikan penanganan yang cepat dan tepat apabila terjadi kecelakaan kerja guna meminimalkan dampak serta mencegah kejadian serupa di masa mendatang.

3. Penyediaan Alat Pelindung Diri (APD)

Perusahaan berkewajiban menyediakan alat pelindung diri bagi tenaga kerja, seperti helm keselamatan, sepatu safety, sarung tangan, masker, serta perlengkapan keselamatan lainnya yang sesuai dengan potensi bahaya di tempat kerja.

4. Pengendalian Risiko K3

Perusahaan harus melaksanakan upaya identifikasi, evaluasi, dan pengendalian risiko di tempat kerja untuk menciptakan kondisi kerja yang aman, sehat, dan bebas dari potensi bahaya.

Untuk meningkatkan kesejahteraan serta kenyamanan tenaga kerja, perusahaan menyediakan berbagai fasilitas penunjang, di antaranya sebagai berikut:

1. Pakaian kerja, berupa tiga set seragam harian dan satu *wearpack* khusus bagi karyawan yang bekerja di bagian produksi dan teknik.
2. Fasilitas transportasi antar-jemput, yang disediakan dalam bentuk mobil dan bus guna menunjang mobilitas karyawan dari dan menuju tempat kerja.
3. Sarana ibadah, yaitu masjid yang representatif sebagai tempat beribadah bagi seluruh karyawan.
4. Berbagai tunjangan kesejahteraan, meliputi tunjangan persalinan bagi karyawan maupun suaminya, tunjangan hari tua yang diberikan secara sekaligus, tunjangan kematian, serta tunjangan perjalanan dinas.
5. Kantin karyawan, yang menyediakan konsumsi, khususnya makan siang, untuk mendukung pemenuhan kebutuhan gizi selama jam kerja.

#### 4.8.2 HIRAC

Tabel 4. 17 HIRAC

No	Tahapan Kegiatan	Potensi Bahaya (Hazard)	Dampak Risiko	L	S	Risk Level	Kategori	Pengendalian
1	Operasi reaktor	Tekanan & suhu tinggi	Ledakan, kebakaran	2	5	10	Tinggi	Monitoring tekanan, safety valve
2	Penanganan gas etilena	Gas mudah terbakar	Kebakaran/ledakan	3	5	15	Tinggi	Gas detector, ventilasi
3	Sistem flare	Api terbuka	Kebakaran	2	5	10	Tinggi	Inspeksi rutin, SOP operasi
4	Area kompresor	Kebisingan tinggi	Gangguan pendengaran	3	3	9	Sedang	Gunakan earplug
5	Transfer pellet	Tumpahan pellet	Terpeleset	4	2	8	Sedang	Housekeeping
6	Sistem perpipaan	Kebocoran gas	Paparan berbahaya	3	4	12	Sedang	Inspeksi rutin
7	Maintenance alat	Mesin bergerak	Cedera mekanis	3	4	12	Sedang	Lock Out Tag Out (LOTO)
8	Instalasi listrik	Arus listrik	Sengatan listrik	2	5	10	Tinggi	Grounding, APD
9	Area boiler	Suhu tinggi	Luka bakar	2	4	8	Sedang	APD, insulasi
10	Pengangkutan material	Forklift/alat berat	Tertabrak	3	4	12	Sedang	Jalur khusus, training
11	Penyimpanan bahan kimia	Tumpahan bahan	Iritasi/kontaminasi	2	3	6	Sedang	Label & SOP
12	Lingkungan kerja	Ventilasi buruk	Paparan gas	2	3	6	Sedang	Ventilasi baik

Skala penilaian :

- *Likelihood (L)*: 1–5 (Sangat jarang – Sangat sering)
- *Severity (S)*: 1–5 (Ringan – Fatal)
- *Risk Level* =  $L \times S$
- Kategori Risiko:
  - 1–5 = Rendah
  - 6–12 = Sedang
  - 15–25 = Tinggi

#### 4.8.3 Kelestarian Lingkungan Hidup

Untuk dapat menjaga kelestarian lingkungan hidup maka perlu dilakukan beberapa upaya seperti :

- Mematuhi regulasi dan standar yang ada terkait pengelolaan limbah dan emisi yang terdapat pada Peraturan Pemerintah 22 Tahun 2021 Pasal 278 tentang Pengelolaan Limbah B3
- Mematuhi regulasi terkait Pengelolaan Sampah pada Undang-Undang No. 18 Tahun 2008
- Mematuhi Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 11 Tahun 2021 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak.
- Melakukan penilaian dampak lingkungan (*Environmental Impact Assessment/EIA*) sebelum membangun atau mengoperasikan pabrik untuk mengetahui dampak yang mungkin terjadi pada lingkungan
- Menjaga kualitas air, udara, dan tanah di sekitar pabrik dengan selalu memantau baku mutu buangan limbah.
- Menggunakan teknologi pembuangan limbah yang ramah lingkungan.
- Melakukan sosialisasi baik kepada karyawan maupun kepada masyarakat sekitar untuk menjaga kelestarian lingkungan.
- Melakukan program konservasi *mangrove*

### 3.13 4.9 Instrumentasi

Instrumentasi merupakan suatu rangkaian sistem yang digunakan dalam proses kontrol guna mengatur jalannya proses agar diperoleh hasil sesuai dengan yang diharapkan. Penggunaan instrumentasi di dalam pabrik kimia merupakan perkara penting, hal ini karena rangkaian instrumen memonitor dan mengontrol semua operasi peralatan yang ada di dalam pabrik dengan terstruktur dan efisien. Oleh karena itu, kondisi operasi pasti dalam kondisi yang stabil.

#### 4.9.1 Peran dan Fungsi Instrumen

Penggunaan instrumen pada perancangan pabrik HDPE bertujuan untuk memastikan beberapa aspek penting dalam operasional proses, yaitu sebagai berikut:

1. Menjaga parameter operasi tetap berada dalam batas aman sehingga keselamatan kerja, keamanan operasional, serta kestabilan proses dapat terjamin.
2. Mengendalikan variabel proses secara *real-time* guna mempertahankan kualitas produk yang dihasilkan.
3. Mendukung pemantauan seluruh kegiatan operasional oleh operator melalui sistem DCS (*Distributed Control System*) serta pencatatan data secara otomatis menggunakan PHD (*Process History Data*).
4. Melakukan pengawasan emisi dan limbah secara ketat dengan menggunakan instrumen khusus guna memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan yang berlaku.

#### 4.9.2 Jenis-jenis Instrumentasi

Beberapa instrumen yang digunakan dalam proses produksi HDPE adalah sebagai berikut:

##### 1. *Flow Meter (Electromagnetic/Vortex)*

Instrumen ini digunakan untuk mengukur laju alir fluida proses seperti gas etilena, udara, dan media pendingin secara kontinu. Pengukuran yang akurat diperlukan untuk menjaga kestabilan neraca massa serta memastikan distribusi bahan baku dan utilitas berjalan sesuai kondisi operasi yang diinginkan.

## 2. *Gas Analyzer*

Instrumen ini berfungsi untuk menganalisis komposisi gas, seperti konsentrasi etilen oksida, oksigen, dan gas buang. Data yang diperoleh digunakan untuk mendukung pengendalian proses serta menjaga aspek keselamatan, khususnya dalam sistem pembakaran seperti flare stack.

## 3. *Temperature Sensor (RTD/Thermocouple)*

Instrumen ini digunakan untuk mengukur dan memonitor temperatur pada berbagai titik proses, terutama pada reaktor. Pengendalian temperatur yang tepat sangat penting untuk mencegah terjadinya overreaksi serta menjaga kondisi operasi tetap dalam batas aman.

## 4. *Level Transmitter*

Instrumen ini berfungsi untuk mengukur ketinggian fluida dalam tangki penyimpanan maupun bejana proses. Pengukuran level yang akurat diperlukan untuk mencegah terjadinya *overflowing* serta menjamin kontinuitas suplai bahan baku dan produk.

## 5. *Pressure Transmitter*

Instrumen ini digunakan untuk memantau tekanan pada peralatan proses seperti reaktor dan sistem perpipaan. Data tekanan yang diperoleh digunakan sebagai parameter pengendalian untuk menjaga operasi tetap dalam batas aman dan mencegah terjadinya kondisi overpressure.

## 6. *Alarm dan Indicator*

Instrumen ini berfungsi sebagai sistem peringatan dini terhadap adanya penyimpangan parameter proses dari kondisi operasi yang telah ditentukan. Alarm akan memberikan sinyal kepada operator sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan untuk mencegah terjadinya gangguan proses maupun kecelakaan kerja.

### 4.9.3 Sistem Kontrol

Sistem kontrol pada pabrik HDPE berfungsi untuk menjaga kondisi operasi seperti temperatur, tekanan, laju alir, dan *level* agar tetap berada pada kondisi yang diinginkan sehingga proses dapat berlangsung secara aman dan efisien. Sistem kontrol yang digunakan terdiri dari *Distributed Control Sistem*(DCS) dan *Programmable Logic Controller* (PLC) yang saling terintegrasi. DCS digunakan untuk mengendalikan proses

kontinu dalam skala besar, seperti pada reaktor polimerisasi dan unit utilitas, dengan cara menerima sinyal dari instrumen lapangan, membandingkannya dengan nilai setpoint, dan memberikan aksi koreksi secara otomatis melalui aktuator. Selain itu, DCS juga dilengkapi dengan sistem monitoring, alarm, dan pencatatan data proses.

Sedangkan, PLC digunakan untuk mengendalikan peralatan yang bersifat diskrit dan membutuhkan respon cepat, seperti *conveyor*, unit *pellet izing*, dan sistem pengemasan. PLC bekerja berdasarkan logika pemrograman untuk menjalankan operasi on/off serta sistem *interlock* keselamatan. Integrasi antara DCS dan PLC memungkinkan pengendalian proses yang menyeluruh, baik untuk proses kontinu maupun operasi peralatan, serta didukung oleh antarmuka operator sehingga proses dapat dipantau dan dikendalikan secara *real-time*.