

BAB IV

UTILITAS

Unit pendukung proses atau dikenal dengan unit utilitas merupakan bagian penting untuk menunjang keberlangsungan proses produksi pada suatu industri. Sarana penunjang merupakan sarana lain yang diperkukan selain bahan baku dan bahan pembantu agar proses produksi dapat berlangsung dengan baik. Unit utilitas pada pra-rancangan pabrik *Vinyl Chloride Monomer* dibagi menjadi beberapa bagian, antara lain:

1. Unit Penyediaan Steam
2. Unit Penyedia Air
3. Unit Pengadaan Listrik
4. Unit Pengadaan Bahan Bakar
5. Unit Laboratorium
6. Unit Pengolahan Limbah

4.1 Unit Penyediaan Steam

Kebutuhan *steam* yang dihasilkan pada setiap alat dapat ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Kebutuhan Steam

Alat	Kebutuhan		
	(kg/jam)	(kg/hari)	(ton/hari)
E-501	3.084,120	74.018,865	74,019
TOTAL	3.084,120	74.018,865	74,019

Steam atau uap air merupakan sarana penting dalam yang digunakan dalam proses produksi. Pabrik VCM menggunakan steam untuk memenuhi kebutuhan panas pasa alat tanki *pretreatment* dan *reboiler*. Jenis *boiler* yang digunakan adalah *water tube boiler* dengan pertimbangan kelebihan dan kekurangan *water tube boiler* ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Kelebihan dan Kekurangan Water Tube Boiler

Kelebihan	Kekurangan
▪ Dapat bekerja dengan tekanan yang tinggi ▪ Berat <i>boiler</i> lebih ringan ▪ Kapasitas lebih besar	▪ Kontruksi <i>boiler</i> yang kompleks sehingga perawatan lebih sulit dilakukan

Kelebihan	Kekurangan
▪ Dapat dioperasikan dengan cepat, sehingga dalam waktu singkat dapat memproduksi <i>steam</i> ▪ Arah sirkulasi air lebih jelas ▪ Lebih mudah untuk dipindahkan dan dibersihkan	▪ Air atau media pemanas harus selalu bersih agar tidak terjadi batu ketel ▪ Perawatan lebih mahal

Steam yang dibutuhkan oleh *water tube boiler* dengan menggunakan *steam* berupa *steam* jenuh (*saturated steam*) pada suhu dan tekanan tertentu sebagai pemanas. Air sebagai umpan *boiler* diambil dari *demin water*. Pada *water tube boiler*, air umpan *boiler* berupa *demin water* mengalir melalui pipa-pipa masuk ke dalam *drum*. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh bahan bakar membentuk *steam* pada daerah *steam* dalam *drum*.

4.2 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

4.2.1 Air Industri

Air industri merupakan air yang digunakan untuk berbagai kebutuhan industri secara umum, termasuk sebagai media pendingin pada sistem *cooling water supply*. Sumber air industri berasal dari PT Krakatau Tirta Industri yang terlebih dahulu ditampung dalam *pit* penampungan. Selanjutnya, dilakukan injeksi klorin (*chlorine*) untuk mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme yang berpotensi menyebabkan penyumbatan pada pipa. Air dari *pit* penampungan kemudian dipompa menuju *multimedia filter* guna menghilangkan berbagai zat pengotor yang terkandung di dalamnya. Setelah melewati tahap tersebut, air dialirkan ke *carbon filter* yang berfungsi untuk menghilangkan bau, warna, serta senyawa beracun. Air hasil pengolahan dari *carbon filter* dapat dimanfaatkan sebagai air sanitasi dan kemudian disimpan di dalam *storage tank*. Pada interval waktu tertentu, *multimedia filter* dan *carbon filter* diregenerasi untuk mengembalikan efisiensi serta kinerja kedua unit filtrasi tersebut. Adapun unit kontrol yang digunakan di industri ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Unit Kontrol yang Digunakan di Industri

No.	Parameter	Kadar
1.	SiO ₂	52 ppm
2.	<i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	1 ppm
3.	pH	6,5 - 9

4.2.2 Air Sanitasi

Air sanitasi adalah air yang digunakan untuk berbagai kebutuhan domestik di lingkungan pabrik, seperti *safety shower*, *eye wash*, kantin, toilet, laboratorium, dan sistem *hydrant*. Sumber air sanitasi berasal dari air industri yang terlebih dahulu ditambahkan *chlorine* dengan konsentrasi sekitar 0,2–0,5 ppm. Air yang diperoleh dari PT Krakatau Tirta Industri ditampung dalam pit penampungan, kemudian dipompa menuju *multimedia filter* untuk menghilangkan padatan tersuspensi sehingga kualitas air menjadi lebih baik. Selanjutnya, air diinjeksi dengan klorin untuk mematikan mikroorganisme yang terkandung di dalamnya. Setelah proses tersebut, air dipompa ke *storage tank* dan digunakan sebagai air sanitasi.

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 mengenai Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk keperluan sanitasi, standar baku mutu air sanitasi ditetapkan sebagai berikut.

Parameter fisik:

Tabel 4.4 Parameter Fisik Air Sanitasi

No	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu
1	Kekeruhan	NTU	25
2	Warna	TCU	50
3	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	1.000
4	Suhu	°C	Suhu udara +/- 3
5	Rasa	-	Tidak berasa
6	Bau	-	Tidak berbau

Parameter Biologi:

Tabel 4.5 Parameter Biologi Air Sanitasi

No	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu
1	Total <i>coliform</i>	CFU/100 mL	50
2	<i>E.coli</i>	CFU/100 mL	0

Parameter Kimia:

Tabel 4.6 Parameter Kimia Air Sanitasi

No	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu
1	pH	mg/L	6,5 – 8,5
2	Besi dan Nitrit, sebagai N	mg/L	1
3	Fluorida	mg/L	1,5
4	Kesadahan (CaCO ₃)	mg/L	500
5	Mangan	mg/L	0,5
6	Nitrat, sebagai N	mg/L	10
7	Sianida dan Pestisida Total	mg/L	0,1
8	Deterjen	mg/L	0,05

Perhitungan kebutuhan air sanitasi:

a. Air untuk karyawan kantor

Persyaratan air bersih untuk kebutuhan karyawan berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan No. 1405 Tahun 2002 adalah dengan kapasitas minimal 120 L/hari x orang, maka untuk 111 orang diperlukan air sebanyak:

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan air} &= \frac{120 \text{ L}}{24 \text{ jam. orang}} \times \text{jumlah karyawan} \times \frac{\text{jam kerja}}{24 \text{ jam}} \\
 &= \frac{120 \text{ L}}{24 \text{ jam. orang}} \times 111 \times \frac{8 \text{ jam}}{24 \text{ jam}} \\
 &= 185 \text{ L/jam}
 \end{aligned}$$

b. Air untuk laboratorium serta taman

$$\begin{aligned}
 \text{Air untuk Laboratorium} &= 20\% \times \text{Air kebutuhan karyawan} \\
 &= 20\% \times 185 \text{ L/jam} \\
 &= 37 \text{ L/jam}
 \end{aligned}$$

c. Air untuk kebakaran dan cadangan

$$\begin{aligned}
 \text{Air untuk kebakaran dan cadangan} &= 140\% \times (218 + 37) \text{ L/jam} \\
 &= 310,8 \text{ L/jam}
 \end{aligned}$$

4.2.3 Air Pendingin

Air pendingin yang digunakan bersumber dari air industri, yang kemudian dialirkan menuju *cooling tower*, kemudian akan disimpan dalam tangki penampungan air pendingin. Dalam menyimpan kebutuhan air pendingin, perlu diperhatikan hal-hal seperti kesadahan (*hardness*) yang dapat menyebabkan kerak, serta air pendingin tidak mengandung mikroorganisme yang dapat mengganggu dan mengkontaminasi proses produksi dalam industri.

Sistem pendingin yang digunakan adalah sistem tertutup atau recirculation, di mana air dipasok secara kontinyu dari penampungan *cooling tower* kemudian air akan dipompa dan dialirkan menuju unit produksi. Keluaran dari unit produksi akan masuk dalam penampung air panas. Kebutuhan air pendingin dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Kebutuhan Air Pendingin Proses

Kode	Nama Alat	Kebutuhan (kg/jam)
E-201	<i>Heat Exchanger 1</i>	17.399,19
E-202	<i>Heat Exchanger 2</i>	503,40
C-301	Kondensor Menara Distilasi	32,03
Total		17.934,62

$$\text{Kebutuhan Air Pendingin} = 17.934,62 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times \frac{1\text{m}^3}{996} \text{ kg}$$

$$\text{Kebutuhan Air Pendingin} = 432,16 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Air make up yang hilang} = 10\%$$

$$\text{Blowdown (10 \%)}$$

$$\text{Total Kebutuhan air Pendingin} = 120 \% \times \text{Kebutuhan Air Pendingin}$$

$$\text{Total Kebutuhan air Pendingin} = 120 \% \times 432,16 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Total Kebutuhan air Pendingin} = 518,60 \text{ m}^3/\text{hari}$$

4.2.4 Air Demineralisasi

Air demin merupakan air yang dibuat dengan cara menghilangkan kandungan mineral melalui proses demineralisasi. Proses demineralisasi dilakukan dengan penyerapan kandungan ion-ion mineral di dalam air menggunakan resin *ion exchanger*. Air hasil demineralisasi akan digunakan sebagai kebutuhan air proses, *steam generator* atau air umpan *boiler*. Oleh karena itu, kandungan mineral dalam air harus dihilangkan dengan tujuan untuk menjaga mesin produksi yang sebagian

besar akan rusak atau korosif akibat adanya mineral yang terakumulasi dalam air yang digunakan. Syarat dari air demineralisasi harus memenuhi persyaratan yang dapat dilihat pada Tabel 4.8

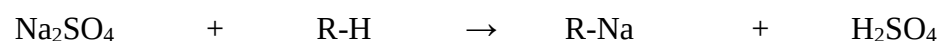
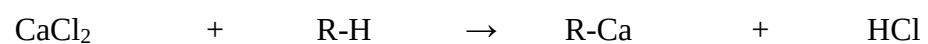
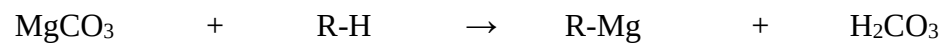
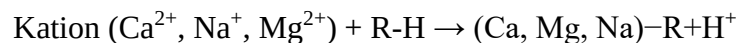
Tabel 4.8 Syarat Air Demineralisasi

No	Parameter	Kadar
1	SiO ₂	1,5 ppm
2	Conductivity	5 mikron
3	pH	6,5 – 9
4	Dissolved Oxygen	Max 1 ppm

Air industri dari tangki penyimpanan dipompa masuk ke dalam *ion exchanger*. *Ion exchanger* ini terdiri dari tiga bagian di antaranya adalah *cation exchanger*, *degasifier* dan *anion exchanger*.

1. Cation Exchanger

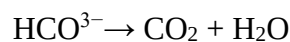
Pada unit *cation exchanger* terjadi proses pertukaran ion positif yang terkandung dalam air baku dengan ion hidrogen (H⁺) yang berasal dari resin penukar kation. Ion-ion positif seperti kalsium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺), dan natrium (Na⁺) akan ditangkap oleh resin, sedangkan ion H⁺ dilepaskan ke dalam air. Ion H⁺ yang terbentuk kemudian akan berikatan dengan anion yang masih terdapat di dalam air sehingga membentuk asam bebas (*free mineral acid*). Proses ini berlangsung pada tekanan operasi sekitar 6 kg/cm²G dan temperatur 30 °C. Reaksi pertukaran ion positif yang terjadi di dalam *cation exchanger* adalah sebagai berikut.



2. Degasifier

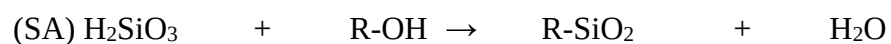
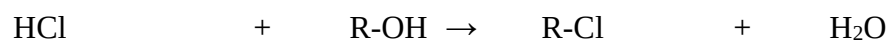
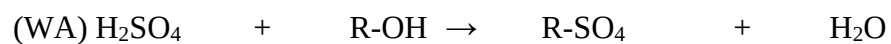
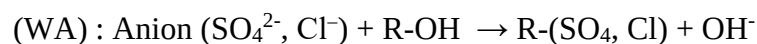
Air keluaran dari *cation exchanger* selanjutnya dialirkan menuju *degasifier* untuk menghilangkan gas-gas terlarut, terutama karbon dioksida (CO₂) dan oksigen (O₂). Karbon dioksida terbentuk dari penguraian asam karbonat (H₂CO₃) yang dihasilkan selama proses pertukaran ion pada *cation*

exchanger. Keberadaan CO₂ dan O₂ dapat menyebabkan korosi pada peralatan, sehingga perlu dihilangkan sebelum air diproses lebih lanjut. Di dalam *degasifier*, air disemprotkan ke dalam kolom dan dikontakkan dengan aliran udara sehingga CO₂ dan O₂ terlepas dari fase cair. Operasi berlangsung pada tekanan mendekati atmosfer hingga tekanan vakum sekitar 760 mmHg. Air hasil degasifikasi kemudian dialirkan ke unit *anion exchanger*. Reaksi yang terjadi pada proses degasifikasi adalah:



3. *Anion Exchanger*

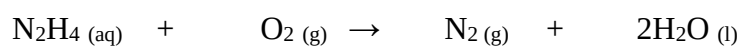
Air yang keluar dari *degasifier* kemudian dialirkan menuju *anion exchanger* untuk menghilangkan ion-ion negatif (anion) yang masih tersisa dalam air. Unit ini menggunakan resin penukar anion yang mampu menangkap ion klorida (Cl⁻), sulfat (SO₄²⁻), dan silika (SiO₂). Resin akan melepaskan ion hidroksida (OH⁻) yang selanjutnya bereaksi dengan ion H⁺ membentuk air. Pada unit ini digunakan dua jenis resin, yaitu *weak anion resin* (WA) untuk menyerap anion kuat seperti Cl⁻ dan SO₄²⁻, serta *strong anion resin* (SA) yang berfungsi untuk menghilangkan silika. Reaksi yang terjadi pada proses *anion exchanger* adalah sebagai berikut.



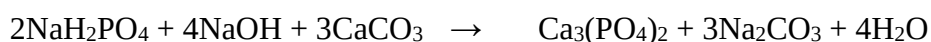
Air yang keluar dari unit *anion exchanger* memiliki kandungan ion yang sangat rendah dan selanjutnya ditampung dalam *storage tank* sebagai air demineralisasi (*demineralized water*) untuk memenuhi kebutuhan proses maupun umpan *boiler*.

4.2.5 Air Umpan Bahan Baku *Boiler*

Air umpan *boiler* merupakan air yang berfungsi untuk menghasilkan *steam* sebagai keberlangsungan proses yang diperoleh dari air demineraslisasi yang telah ditambahkan hidrazin untuk mengikat oksigen dan natrium dihidrogen fosfat untuk menstabilkan pH dan membuatnya menjadi lebih basa. Reaksi yang terjadi ketika ditambahkan hidrazin adalah sebagai berikut.



Reaksi yang terjadi ketika ditambahkan natrium dihidrogen



Air yang akan diumpankan ke dalam *boiler* haruslah memenuhi spesifikasi tertentu. Jika tidak memenuhi spesifikasi tersebut, maka dapat terjadi kesalahan yang akan berakibat membahayakan alat pada unit proses. Parameter yang harus dipenuhi untuk air umpan *boiler* adalah sebagai berikut.

Tabel 4.9 Parameter Air Umpan *Boiler*

Paremeter	Satuan	Persyaratan Maksimum
pH (pada 25 °C)	-	7 – 9
Kesadahan	ppm as CaCO_3	Max 1
Silica	ppm as SiO_2	Max 0,5
Lemak dan Minyak	mg/L	0
Oksigen Terlarut	mg/L	0
Ion klorida (Cl^-)	mg/L	Max 600
Ion Fosfat (PO_4^{3-})	mg/L	20 – 40
Ion Sulfat (SO_4^{2-})	mg/L	10 - 50
Hidrazin	mg/L	0,1 - 10

Kebutuhan air yang digunakan untuk air umpan boiler adalah sebagai berikut.

Tabel 4.10 Kebutuhan Air untuk Air Umpan *Boiler*

Kode	Nama Alat	Kebutuhan (kg/jam)
E-501	Kondensor Menara Distilasi	3.084,12
Total		3.084,12

4.3 Unit Pengadaan Udara Tekan

Udara tekan digunakan untuk memenuhi kebutuhan *instrument air* dan *plant air* di seluruh area pabrik. *Instrument air* digunakan untuk mengoperasikan *control valve*, *pneumatic actuator*, dan instrumen proses lainnya, sedangkan *plant air* digunakan untuk pekerjaan pembersihan peralatan, *maintenance* serta kebutuhan utilitas umum. Kebutuhan *instrument air* direncanakan sebesar 1.200 Nm^3/jam pada tekanan 4,5 kg/cm^2 , sedangkan kebutuhan *plant air* sebesar 800 Nm^3/jam pada tekanan 3,5 kg/cm^2 . Dengan demikian total kebutuhan udara tekan pabrik adalah 2.000 Nm^3/jam .

Udara bebas terlebih dahulu disaring menggunakan air filter untuk menghilangkan debu dan partikel padat. Selanjutnya udara dikeringkan menggunakan *air dryer* yang berisi *silica gel* sehingga diperoleh udara kering yang memenuhi spesifikasi instrument air. Udara yang telah dikeringkan kemudian ditampung pada *air receiver* sebelum didistribusikan ke seluruh area pabrik. Sistem udara tekan disuplai oleh dua unit kompresor dengan kapasitas masing-masing 2.000 Nm³/jam dan kebutuhan daya sekitar 150 kW, dengan konfigurasi 1 unit operasi dan 1 unit cadangan (*standby*) untuk menjamin kontinuitas operasi pabrik.

4.4 Unit Pengadaan Listrik

Kebutuhan tenaga listrik yang akan digunakan pada pabrik *Vinyl Chloride Monomer* (VCM) ini diperoleh dari beberapa sumber, yaitu suplai dari penyedia listrik. PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap Cilegon), serta Pembangkit Tenaga Listrik Sendiri (*Generator Set*) sebanyak 50% dari total kebutuhan listrik Industri. Generator yang digunakan merupakan generator arus bolak-balik (AC) 3 fase dengan pertimbangan:

- Daya lebih besar
- Tenaga listrik lebih stabil
- Kawat penghantar yang digunakan lebih sedikit
- Motor 3 fase relatif lebih ekonomis dan sederhana

4.4.1 Listrik Untuk Proses

Kebutuhan listrik untuk keperluan proses Industri dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Kebutuhan Listrik untuk Proses Industri

Kode Alat	Jumlah	<i>Power</i>		<i>Jumlah Power</i>	
		(HP)	(kW)	(HP)	(kW)
P-101	1	5,97	4,46	5,97	4,46
P-102	1	5,97	4,46	5,97	4,46
P-301	1	5,97	4,46	5,97	4,46
P-302	1	0,97	0,73	0,97	0,73
P-303	1	5,97	4,46	5,97	4,46
P-304	1	5,97	4,46	5,97	4,46
P-401	1	5,97	4,46	5,97	4,46
C-101	1	250,00	186,50	250,00	186,50
T-201	1	1,30	0,97	1,30	0,97
T-201	1	1,62	1,21	1,62	1,21

MX-101	1	125,00	93,25	125,00	93,25
TOTAL				414,74	309.40

4.4.2 Listrik Untuk Utilitas

Kebutuhan listrik untuk keperluan utilitas Industri dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Kebutuhan Listrik untuk Utilitas Industri

Alat	Jumlah	Power		Jumlah Power	
		(HP)	(kW)	(HP)	(kW)
<i>Cooling Water Pump</i>	3	25	18.65	75	55,95
Pompa Sanitasi	3	10	7.46	30	22,38
Pompa <i>Hydrant</i>	5	10	7.7060308	51.649	38,53015
Pompa Umpan <i>Boiler</i>	3	20	14.92	60	44,76
Pompa Air Proses	3	15	11.19	45	33,57
Kompresor Udara	3	50	37.3	150	111,9
TOTAL				411,65	307,09

4.4.3 Listrik Untuk Penerangan

Perkiraan besar tenaga Listrik yang diperkukan untuk penerangan pabrik dapat ditentukan dengan melakukan pendekatan menggunakan konsep *Luminous Efficacy*, yaitu tenaga radiasi cahaya yang dikeluarkan oleh lampu dalam bentuk lumen. Kebutuhan penerangan per luas area dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Lumen = Area \times Lux$$

Di mana:

Area = Luas area yang membutuhkan pencahayaan (m²)

Lux = Kebutuhan energi cahaya per satuan luas (lumen/m²)

Besarnya Lux lampu nilainya bergantung pada luas area yang akan diberikan penerangan. Pada perencanaan ini, digunakan nilai lux standar berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 70 Tahun 2016 tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri. Kebutuhan Lumen pada pabrik *Vinyl Chloride Monomer* (VCM) dapat dilihat pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Kebutuhan Listrik untuk Keperluan Penerangan Pabrik

No	Bangunan <i>Indoor</i>	Luas (m ²)	Lux	Lumen
1	Pos keamanan	25	200	5.000
2	Gedung kantor utama	2.500	200	500.000
3	Kantor K3	300	200	60.000
4	Mess	600	200	120.000
5	Poliklinik	100	200	20.000
6	Kantin	150	200	30.000
7	Koperasi	60	200	12.000
8	Laboratorium	600	200	120.000
9	Gudang Bahan baku	500	200	100.000
10	Bengkel	300	200	60.000
11	Masjid	500	200	100.000
12	Aula	1.200	200	240.000
13	Ruang kontrol	400	200	80.000
14	Pemadam kebakaran	200	200	40.000
Jumlah		7.435		1.487.000
Bangunan <i>Outdoor</i>				
15	Unit Proses	9.000	300	2.700.000
16	Unit utilitas	2.000	200	400.000
17	Tank farm	2.500	50	125.000
18	IPAL	800	50	40.000
19	Parkir area	1.000	50	50.000
20	Jalan dan taman	4.000	20	80.000
21	Perluasan area	2.000	50	100.000
22	Power station	500	200	100.000
23	Titik kumpul (<i>Assembly</i>)	700	50	35.000
Jumlah		22.500		3.595.000

Pada ruangan *Indoor*, direncanakan menggunakan jenis lampu *Light-emitting diode* (LED) Philips *Downlight Meson Recessed*. Di mana tiap lampu lumennya sebesar 1.900 lumen (Philips.co.id). Sehingga dapat dihitung jumlah lampu yang digunakan dan total daya penerangan lampu sebagai berikut:

Jumlah lumen di dalam ruangan = 1.487.000 lumen

$$\begin{aligned}
\text{Jumlah lampu yang digunakan} &= (1.487.000)/1.900 \\
&= 783 \text{ lampu} \\
\text{Total daya penerangan untuk ruangan } indoor &= 24 \text{ Watt/lampu} \times 783 \\
&= 18.8 \text{ kW}
\end{aligned}$$

Sementara itu, untuk area *outdoor*, penerangan direncanakan menggunakan lampu LED 100 Watt merk Philips *SmartBright LED Floodlight*, di mana tiap lampu besar lumennya sebesar 10.000 lumen (Philips.co.id). Sehingga dapat dihitung jumlah lampu yang digunakan dan total daya penerangan lampu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Jumlah lumen di luar ruangan} &= 3.595.000 \text{ lumen} \\
\text{Jumlah lampu yang digunakan} &= (3.595.000)/10.000 \\
&= 360 \text{ lampu} \\
\text{Total daya penerangan untuk ruangan } outdoor &= 100 \text{ Watt/lampu} \times 360 \\
&= 36 \text{ kW}
\end{aligned}$$

Maka total kebutuhan listrik untuk penerangan yaitu:

$$\begin{aligned}
\text{Total kebutuhan listrik untuk penerangan} &= \text{Daya } indoor + \text{Daya } outdoor = (18.8 + \\
&36) \text{ kW} = 54.8 \text{ kW}.
\end{aligned}$$

4.4.4 Listrik Untuk AC

Kebutuhan listrik untuk pendingin ruangan (AC) terlebih dahulu menghitung jumlah luas ruangan yang memerlukan AC. Di mana jumlah luas ruangan yang memerlukan AC ditunjukkan pada Tabel 4.14

Tabel 4.14 Area Bangunan yang memakai AC

Bangunan	Luas (m ²)
Kantor utama	2.500
Kantor HSE/K3	300
Poliklinik	100
Koperasi	60
Lab	600
Ruang kontrol	400
Aula	1.000
Jumlah	4.960

Menghitung jumlah total daya yang diperlukan untuk keperluan AC. Merk AC yang dipilih adalah 2 PK TURBOCOOL *Air Conditioner Standard* dengan daya sebesar 1.617 Watt (LG.com). 1 unit AC digunakan untuk ruangan berukuran 49 m². Sehingga jumlah Unit AC yang diperlukan adalah:

Jumlah AC = Jumlah luas ruangan yang memerlukan AC/49 m²

Jumlah AC = 4.960/49 m² = 101 Unit AC

Daya listrik untuk keperluan AC = 1.617 Watt x 101 Unit
= 163,317 kW

4.4.5 Listrik Untuk Peralatan Kantor

Penggunaan listrik untuk keperluan peralatan kantor seperti komputer, server komputer, alat komputer untuk DCS di SSR diasumsikan total daya yang digunakan adalah sebesar 15kW.

4.4.6 Listrik Untuk Pengolahan Limbah

Direncanakan Pabrik *Vinyl Chloride Monomer* (VCM) ini memerlukan listrik untuk pengolahan limbah diperkirakan sebesar 20 kW.

4.4.7 Listrik untuk Bengkel dan Laboratorium

Direncanakan Pabrik *Vinyl Chloride Monomer* (VCM) ini memerlukan listrik untuk bengkel dan laboratorium diperkirakan sebesar 40 kW.

4.4.8 Total Kebutuhan Listrik Industri

Kebutuhan listrik total yang diperlukan di pabrik VCM ini dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 4.15 Kebutuhan listrik total yang diperlukan Industri

Unit	Daya (kW)
Proses	309,40
Utilitas	307,09
Penerangan	54,79
AC gedung	163,32
Laboratorium dan Bengkel	40,23
Kantor dan Administrasi	15,00
Pengolahan limbah	20,12
TOTAL	909,94
Faktor keamanan 10%	1.000,84

4.4.9 Perancangan Generator Listrik

Pada pabrik *vinyl chloride monomer* (VCM), generator akan digunakan untuk menyuplai sebesar 50% dari total kebutuhan listrik selain dari PLN, terutama jika suplai listrik dari PLN sedang mengalami gangguan. Generator yang digunakan memiliki efisiensi 80%.

$$\begin{aligned}\text{Input generator} &= 579 \text{ kW}/80\% \\ &= 724 \text{ kW}\end{aligned}$$

Ditetapkan input generator sebesar 1.000 kW, sehingga untuk keperluan lain masih tersedia sebesar $= 1.000 \text{ kW} - 724 \text{ kW} = 276 \text{ kW}$

Spesifikasi Generator:

Tipe	: AC Generator
Kapasitas	: 1.000 kW
Tegangan	: 220/380 Volt
Frekuensi	: 50 Hz
Efisiensi	: 80%
Fasa	: 3 Fasa
Jumlah	: 1 unit
Bahan Bakar	: Natural Gas

Kebutuhan Bahan Bakar untuk generator:

Bahan bakar yang digunakan untuk mengoperasikan generator adalah gas alam (*natural gas*). Data yang digunakan dalam perhitungan kebutuhan bahan bakar adalah sebagai berikut:

<i>Lower Heating Value</i> (LHV)	: 51.639,22 kJ/kg
Densitas Natural Gas	: 0,7048 kg/m ³
Kapasitas Input	: 3.126.938 kJ/jam
Efisiensi Generator	: 80%

4.5 Unit Pengadaan Bahan Bakar

Unit penyediaan bahan bakar berfungsi untuk memenuhi kebutuhan energi pada *boiler*, *generator*, dan *furnace* yang digunakan dalam proses produksi. Bahan bakar yang dipilih adalah natural gas karena memiliki nilai kalor yang tinggi, pembakaran yang lebih bersih, serta lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar cair.

1. Kebutuhan Bahan Bakar *Boiler*

Boiler digunakan untuk menghasilkan steam yang diperlukan sebagai media pemanas dalam proses. Steam yang dihasilkan memiliki temperatur sebesar 168°C pada tekanan 7,5 atm. Air umpan *boiler* masuk pada temperatur 30°C dengan kebutuhan *steam* sebesar 408,62 kg/hari atau 17,03 kg/jam. Panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air dari 30°C hingga mencapai kondisi jenuh dihitung sebagai panas sensibel sebesar:

Panas sensibel yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air dari 30°C hingga temperatur operasi adalah sebesar 79,40 kJ/jam. Sedangkan panas laten yang diperlukan untuk mengubah air menjadi steam adalah sebesar 36.222,64 kJ/jam. Dengan demikian, total kebutuhan panas boiler adalah:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{sensibel}} + Q_{\text{laten}}$$

$$Q_{\text{total}} = 79,40 + 36.222,64 \text{ kJ/jam}$$

$$Q_{\text{total}} = 36.302,05 \text{ kJ/jam}$$

Natural gas yang digunakan memiliki nilai kalor bawah (LHV) sebesar 51.639,22 kJ/kg. Dengan efisiensi boiler sebesar 80%, kebutuhan bahan bakar dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} m_{\text{Bahan bakar}} &= Q / (\eta \times \text{LHV}) \\ &= 36.302,05 \text{ kJ/jam} / (0,8 \times 51.639,22 \text{ kJ/kg}) \\ &= 0,927 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

2. Kebutuhan Bahan Bakar *Generator*

Generator digunakan sebagai sumber listrik cadangan apabila terjadi gangguan pasokan listrik dari PLN. Kapasitas generator yang digunakan sebesar 579,06 kW dengan efisiensi operasi 80%.

Kebutuhan energi generator adalah:

$$\begin{aligned} Q &= 579,06 \text{ kW} \times 3600 \\ &= 2.084.625,17 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Kebutuhan natural gas dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} m_{\text{natural gas}} &= Q / (\eta \times \text{LHV}) \\ &= 2.084.625,17 \text{ kJ/jam} / (0,8 \times 51.639,22 \text{ kJ/kg}) \\ &= 50,46 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Dengan densitas natural gas sebesar 0,7048 kg/m³, kebutuhannya adalah:

$$\begin{aligned} V_{\text{natural gas}} &= m / \rho \\ &= 50,46 / 0,7048 \end{aligned}$$

$$= 71,60 \text{ m}^3/\text{jam}$$

3. Kebutuhan Bahan Bakar *Furnace*

Furnace digunakan untuk menyediakan panas pada proses reaksi. Kebutuhan panas *furnace* sebesar 19.587,62 kJ/jam. Dengan efisiensi *furnace* sebesar 80%, kebutuhan bahan bakar dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} m \text{ bahan bakar} &= Q / (\eta \times \text{LHV}) \\ &= 19.587,62 / (0,8 \times 51.639,22) \\ &= 0,474 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

4. Total Kebutuhan Bahan Bakar

Total kebutuhan natural gas diperoleh dari penjumlahan kebutuhan bahan bakar boiler, generator, dan *furnace*.

$$\begin{aligned} m \text{ total} &= m \text{ boiler} + m \text{ generator} + m \text{ furnace} \\ &= 0,927 + 50,461 + 0,474 \\ &= 51,863 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Dengan demikian, total kebutuhan natural gas untuk boiler, generator, dan *furnace* adalah 51,86 kg/jam.

4.6 Unit Laboratorium

Laboratorium merupakan salah satu bagian yang sangat penting dalam menunjang kelancaran proses produksi serta menjaga mutu produk. Selain itu, laboratorium juga berperan dalam pengendalian pencemaran lingkungan. Kegiatan laboratorium mencakup pemeriksaan bahan baku, pengawasan proses produksi, serta pengujian hasil produksi. Kegiatan tersebut dilakukan untuk meningkatkan dan menjaga kualitas maupun mutu produk perusahaan. Analisis yang dilakukan dalam rangka pengendalian mutu meliputi analisis bahan baku, analisis proses, serta analisis kualitas produk. Selain itu, laboratorium juga berperan dalam penelitian dan pengembangan guna mendukung kemajuan pabrik dan meningkatkan daya saing perusahaan. Adapun tugas laboratorium meliputi:

1. Menganalisis bahan baku yang akan digunakan.
2. Menganalisis dan meneliti produk yang dipasarkan.
3. Melakukan percobaan yang berkaitan dengan proses produksi.
4. Memeriksa kadar zat-zat yang berpotensi menyebabkan pencemaran pada buangan pabrik.
5. Melaksanakan penelitian dan pengembangan.

Laboratorium beroperasi selama 24 jam setiap hari yang dibagi ke dalam kelompok kerja *shift* dan *non-shift*.

a. Kelompok *non-Shift*

Kelompok *non-shift* memiliki tugas untuk melakukan analisis khusus, yaitu analisis yang sifatnya tidak rutin serta menyiapkan reagen kimia yang diperlukan oleh laboratorium dalam rangka mendukung kelancaran pekerjaan kelompok *shift*. Kelompok ini memiliki tugas sebagai berikut:

- Melakukan penelitian atau percobaan untuk mendukung kelancaran produksi.
- Menyediakan reagen kimia untuk kebutuhan analisis laboratorium.
- Melakukan analisis terhadap bahan buangan penyebab polusi.

b. Kelompok *Shift*

Kelompok *shift* bertugas melakukan pemantauan serta analisis rutin terhadap proses produksi. Dalam menjalankan tugasnya, kelompok ini menggunakan sistem kerja bergilir, yaitu bekerja selama 24 jam dengan masing-masing *shift* berlangsung selama 8 jam.

4.6.1 Program Kerja Laboratorium

Laboratorium pada pabrik VCM bertugas melaksanakan pengawasan terhadap proses produksi mulai dari bahan baku hingga produk akhir agar diperoleh produk dengan mutu yang baik dan seragam serta memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh SNI. Sarana yang tersedia pada pabrik pembuatan *Vinyl Chloride Monomer* adalah laboratorium pengujian produksi yang terdiri atas:

1. Laboratorium Pengamatan

Laboratorium ini bertugas melakukan analisis fisika terhadap seluruh sistem yang berasal dari proses produksi maupun hasil pengeluaran. Laboratorium pengamatan menerbitkan "*Certificate of Quality*" untuk menjelaskan spesifikasi hasil pengamatan. Dengan demikian, pengamatan dilakukan terhadap bahan baku maupun produk akhir.

2. Laboratorium Analisa

Secara umum, program kerja laboratorium analisa adalah melakukan analisis terhadap bahan baku, produk, dan proses sebagaimana ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 4.16 Program Kerja Laboratorium Analisa

Analisa	Analisa Meliputi
Bahan Baku EDC	Sifat Fisik: - Warna, kenampakan - Viskositas - Kadar air - Kadar Kotoran Sifat Kimia: - Komposisi dalam bahan baku (EDC, HCl, NaOH dan Fe)
Produk VCM dan HCl	Sifat Fisik: - Densitas - Warna, kenampakan - Viskositas Sifat Kimia: - Komposisi dalam produk (Kadar VCM, HCl, Air, Fe, Asetilen, Butadiene, <i>Methyl Chloride</i>, inhibitor).
Process dan Utilitas	
- Air Pendingin	pH, jumlah klorida, sulfat, alkali, kesadahan, kalsium, silika.
- Air Demineralisasi	pH, jumlah klorida, sulfat, alkali, kesadahan, kalsium, silika.
- Air Umpan Boiler	pH, jumlah zat padat terlarut, kadar Fe, kadar CaCO_3 , SO_3 , PO_4 , SiO_2 .
- Air Sanitasi	pH, temperatur, kebasaan, zat padat terlarut, kekeruhan, kadar Cl, Bakteri, kadar Fe, Nitrit dan Nitrat.
- Air Industri	Analisa pH, kekeruhan dan kadar Cl.

3. Laboratorium Penguji Limbah

Laboratorium penguji limbah dibagi menjadi dua, yaitu limbah padat dan limbah cair.

- a. Limbah Cair: Menguji pH, zat padat terlarut, kadar BOD, serta padatan tersuspensi.
- b. Limbah Padat: Menguji komposisi yang terdapat dalam limbah padat.
- c. Limbah Gas: Melakukan pengujian terhadap parameter pencemar udara yang terdapat pada gas buang proses, seperti kadar HCl, VCM, partikulat, serta parameter lainnya sesuai dengan baku mutu emisi yang berlaku. Pengujian juga meliputi analisis pH kondensat, konsentrasi gas pencemar, dan efisiensi unit pengendalian emisi untuk memastikan gas buang yang dilepaskan ke lingkungan memenuhi persyaratan lingkungan yang ditetapkan.

4.6.2 Alat Utama Laboratorium

Peralatan analisis utama yang digunakan untuk analisis bahan baku, analisis fisik, analisis penelitian, dan utilitas antara lain:

- *Water content tester* untuk menganalisis kandungan air serta kandungan kimia dalam bahan pengotor lainnya.
- pH meter untuk mengukur nilai pH (menentukan tingkat keasaman dan kebasaan air).
- *Gas chromatography* untuk menganalisis kemurnian produk.
- *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) untuk menganalisis kandungan senyawa dalam suatu material.
- Viskometer untuk mengukur viskositas cairan atau *slurry*.
- *Conductivity meter* untuk menganalisis konduktivitas pada air.

4.7 Unit Pengolahan Limbah

Limbah yang dihasilkan dari pabrik *Vinyl Chloride Monomer* (VCM) terdiri atas limbah cair, limbah padat, dan limbah gas. Sebelum dibuang ke lingkungan, limbah tersebut harus diolah terlebih dahulu agar tidak menimbulkan pencemaran dan memenuhi baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, pabrik dilengkapi dengan unit pengolahan limbah yang dirancang untuk mengurangi kandungan pencemar hingga berada di bawah batas yang diizinkan. Limbah *Vinyl Chloride Monomer* yang dibuang ke

lingkungan harus memenuhi baku mutu limbah yang ditetapkan oleh pemerintah, menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup tentang baku mutu limbah untuk kegiatan industri PVC. Sementara itu, menurut PerMen LH No. 10 Tahun 2006 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan atau kegiatan Industri *Vinyl Chloride Monomer* dan *Poly Vinyl Chloride* tanggal 23 Oktober 1995 dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 4.17 Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Industri

Parameter	VCM		PVC		VCM dan PVC	
	Kadar Maks. (mg/L)	Beban Pencemar Maks. (g/ton produk)	Kadar Maks. (mg/L)	Beban Pencemar Maks. (g/ton produk)	Kadar Maks. (mg/L)	Beban Pencemar Maks. (g/ton produk)
BOD	100	700	75	202,5	93	902,5
COD	250	1.750	150	405	222	2.155
TSS	100	700	100	270	100	970
TDS	(-)	(-)	(*)	(*)	(*)	(*)
Tembaga	2	14	(-)	(-)	0,2	14
Klorin Bebas (Cl ₂)	1	7	(-)	(-)	0,1	7
pH	6,0 – 9,0		6,0 – 9,0		6,0 – 9,0	
Volume air Limbah maksimum	7 m ³ /ton produk		2,7 m ³ /ton produk		7 m ³ /ton produk VCM dan 2,7 m ³ /ton produk PVC	

Keterangan:

(*) Artinya TDS dalam air limbah tidak boleh lebih besar dari TDS sumber air tempat pembuangan.

(-) Airnya tidak dipersyaratkan.

4.7.1 Limbah Cair

Pada pabrik *vinyl chloride monomer* dihasilkan limbah cair yang berasal dari berbagai sumber. Sumber limbah cair pada pabrik *vinyl chloride monomer* meliputi air sisa proses dan sanitasi yang mengandung senyawa organik. Senyawa organik tersebut dapat berupa senyawa beracun yang mengandung mikroorganisme

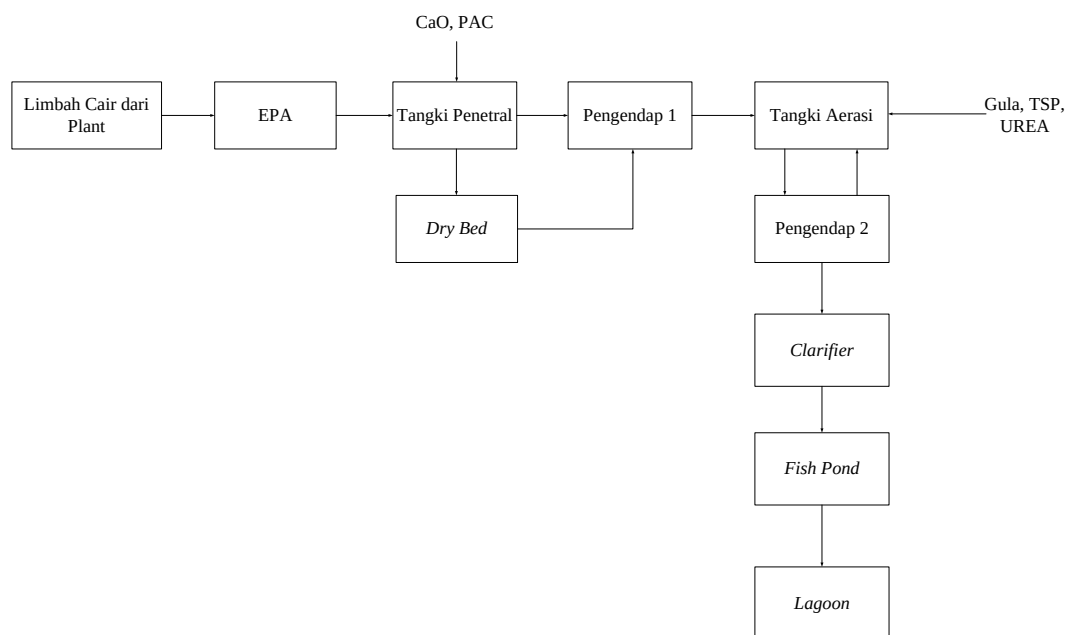
seperti bakteri, virus, protozoa, serta organisme-organisme lainnya yang berasal dari aktivitas industri pengolahan air limbah (IPAL).

Limbah cair yang berasal dari plant diolah terlebih dahulu pada suatu tempat pengolahan limbah, yaitu unit *Water Waste Treatment Plant* (WWTP). Di dalam unit WWTP terdapat beberapa tahapan proses pengolahan. Proses pengolahan limbah pada WWTP diawali dengan mengalirkan limbah cair dari plant menuju *equalizer pond*. Bak *equalizer* berfungsi sebagai tempat penampungan sementara sebelum limbah dialirkan ke tangki penetral. Aliran limbah dari bak *equalizer* menuju tangki penetral dilakukan terlebih dahulu melalui tangki penetral untuk penambahan *suspense kapur* (CaO) sebanyak 3 kg dan *poly aluminium chloride* (PAC) sebanyak 1 L. Penambahan kapur bertujuan untuk mengontrol pH limbah agar tidak terlalu asam, sedangkan PAC berfungsi sebagai koagulan untuk menjernihkan limbah cair. Selanjutnya, pada tangki produk dilakukan agitasi yang bertujuan membentuk flok sehingga mempercepat proses koagulasi dan flokulasi. Setelah itu, limbah dari tangki produk dialirkan menuju tangki pengendap I dan diendapkan dengan bantuan gaya gravitasi pada kondisi aliran *dry bed*. Tangki pengendap I ini berfungsi sebagai penampung awal limbah dari bak penetral sebelum memasuki tahap berikutnya.

Limbah dari tangki pengendap I yang berupa air kemudian dialirkan menuju unit aerasi yang berfungsi sebagai proses pengolahan secara aerob. Pada bak aerasi ditambahkan bakteri aerob serta disuplai oksigen menggunakan *blower*. Penambahan bakteri dilakukan untuk menurunkan kandungan pengotor yang terdapat di dalam limbah secara biologis. Bakteri yang digunakan memiliki kemampuan menguraikan senyawa organik sehingga dapat memecah berbagai jenis pengotor organik yang terdapat dalam limbah. Di dalam bak aerasi juga ditambahkan 1,5 kg urea, 1,2 kg urea, dan 1,2 kg *trinatrium fosfat* (TSP) sebagai nutrisi bagi bakteri. Bakteri yang mengendap di bagian bawah akan dialirkan kembali menuju bak aerasi, sedangkan aliran limbah cair diteruskan ke *clarifier*. Fungsi *clarifier* adalah menyaring sejumlah kecil partikel-partikel halus yang masih tersisa sehingga menghasilkan limbah yang lebih jernih dan bebas dari partikel *solid* atau *suspense* maupun bakteri yang masih terbawa.

Partikel-partikel padatan yang mengendap pada bagian bawah *clarifier* akan dipindahkan menuju unit *drying bed*. Pada unit ini terdapat sistem filtrasi yang

digunakan untuk memisahkan kandungan air dari endapan lumpur. Air hasil filtrasi kemudian dialirkan kembali ke dalam *lagoon* menggunakan vakum agar terjadi proses pemurnian secara biologis sesuai dengan tingkat pengolahan yang ditetapkan. Jika air limbah masih memiliki nilai COD yang tinggi, maka aliran akan dikembalikan ke *lagoon* menuju bak aerasi untuk diproses kembali hingga kandungan COD mencapai kondisi yang diharapkan. Apabila kandungan COD pada *final lagoon* telah berada di bawah angka 250, maka limbah dianggap aman untuk dibuang ke lingkungan (Pranoto, 2019).



Gambar 4.1 Diagram alir pengolahan limbah cair

4.7.2 Limbah Padat

Limbah padat yang paling banyak dihasilkan oleh industri *vinyl chloride monomer* adalah limbah serat serta sisa kegiatan produksi, seperti kaleng bekas pengemasan dan limbah lainnya. Limbah padat yang terdapat pada pabrik *Vinyl Chloride Monomer* berasal dari berbagai sumber, baik yang berasal dari aktivitas manusia, kegiatan proses produksi, maupun limbah hasil konstruksi secara alami. Limbah padat yang dihasilkan antara lain berupa sisa proses dan berbagai jenis plastik, kertas, kaleng-kaleng, botol bekas kemasan, serta limbah lainnya. Limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik *Vinyl Chloride Monomer* umumnya menerima perlakuan yang sama dengan sampah yang biasa dijumpai di lingkungan rumah tangga dan ditampung pada area pabrik. Karakteristik serta jenis sampah yang ditemukan tidak jauh berbeda dengan sampah rumah tangga. Namun demikian,

sampah tersebut dipisahkan berdasarkan warna tempat sampah yang digunakan, yaitu sebagai berikut:

1. Warna Hijau: Digunakan untuk jenis sampah organik, seperti dedaunan dan berbagai sampah yang mudah terurai.
2. Warna Kuning: Digunakan untuk jenis sampah anorganik, seperti plastik, kaleng, botol, serta berbagai jenis sampah lain yang tidak mudah terurai.
3. Warna Hitam: Digunakan untuk jenis sampah yang mengandung B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun).

Setelah dilakukan pemisahan berdasarkan jenisnya, seluruh limbah padat yang dihasilkan akan dikelola lebih lanjut. Pengelolaan limbah padat untuk limbah yang dihasilkan pada pabrik dijelaskan sebagai berikut:

1. Untuk sampah anorganik dan organik, limbah akan dikumpulkan pada TPS (Tempat Pembuangan Sementara) yang berada di area pabrik. Selanjutnya, sampah organik dan anorganik akan diangkut oleh pihak Pemda Cilegon menuju TPA (Tempat Pembuangan Akhir) untuk dilakukan pengelolaan lebih lanjut.
2. Selain metode pengolahan limbah padat di atas, limbah padat juga dapat dikelola dengan menerapkan metode 3R yang dikenal sebagai *Reduce*, *Reuse*, dan *Recycle*. Berikut penjelasan dari masing-masing metode tersebut:
 - a. *Reduce* : Merupakan upaya untuk mengurangi jumlah sampah yang dihasilkan dari sumbernya.
 - b. *Reuse* : Merupakan kegiatan menggunakan kembali barang-barang yang masih dapat dimanfaatkan tanpa mengubah fungsi utamanya.
 - c. *Recycle* : Merupakan proses mendaur ulang sampah menjadi suatu barang atau produk baru yang memiliki nilai guna dan manfaat.

4.7.3 Limbah Gas

Limbah gas yang mengandung hidrogen klorida (HCl) dihasilkan dari unit *cracking* etilen diklorida (EDC). Gas HCl yang terbentuk tidak langsung dilepas ke lingkungan karena bersifat korosif dan dapat menyebabkan pencemaran udara. Oleh karena itu, dilakukan pengolahan menggunakan menara absorpsi (*scrubber*) dengan media penyerap berupa air. Gas HCl dialirkan menuju bagian bawah *scrubber*, sedangkan air diumpankan dari bagian atas menara secara berlawanan arah

(*counter-current flow*). Pada saat terjadi kontak antara fase gas dan fase cair di dalam *packing*, HCl akan larut ke dalam air sehingga terbentuk larutan asam klorida ($\text{HCl}_{(\text{aq})}$).

Penggunaan air sebagai absorben dipilih karena HCl memiliki kelarutan yang sangat tinggi dalam air sehingga efisiensi penyerapannya dapat mencapai lebih dari 99%. Larutan asam klorida yang terbentuk pada dasar *scrubber* selanjutnya ditampung dalam tangki penyimpanan untuk dimanfaatkan kembali sebagai produk samping atau dialirkan ke unit pengolahan limbah cair apabila tidak digunakan lebih lanjut. Gas keluaran scrubber yang telah memiliki kandungan HCl sangat rendah kemudian dilewatkan melalui *mist eliminator* untuk memisahkan droplet cairan yang terbawa sebelum akhirnya dilepaskan ke atmosfer melalui cerobong (*stack*) sesuai baku mutu emisi yang berlaku.

4.8 Instrumentasi

Pada pabrik *vinyl chloride monomer*, terdapat beberapa instrumen yang digunakan, yaitu sebagai berikut:

1. *Temperature Indicator* (TI)

Temperature Indicator merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur serta menampilkan suhu dari suatu sistem atau lingkungan. Instrumen ini digunakan pada aplikasi yang membutuhkan pengukuran suhu dengan tingkat akurasi yang tinggi dan stabil.

2. *Temperature Controller* (TC)

Temperature Controller adalah instrumen yang digunakan untuk mengatur sekaligus mengendalikan suhu suatu sistem proses. Alat ini bekerja dengan cara membandingkan suhu aktual dengan set point, kemudian mengatur jumlah energi panas atau pendinginan yang diberikan agar suhu sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Prinsip kerjanya melibatkan pembacaan sinyal dari *thermocouple* yang kemudian diteruskan ke controller untuk menjaga kestabilan suhu sesuai set point.

3. *Pressure Controller* (PC)

Pressure Controller adalah alat instrumentasi yang berfungsi mengontrol tekanan suatu proses agar tetap berada pada kondisi yang diinginkan. Alat ini menerima sinyal tekanan dari sistem, kemudian membandingkannya dengan nilai set point, lalu melakukan pengaturan pada valve agar tekanan tetap stabil.

4. *Level Controller* (LC)

Level Controller merupakan instrumen yang digunakan untuk mengontrol ketinggian permukaan cairan dalam suatu tangki atau sistem proses. Perubahan *level* cairan akan dideteksi dan dikonversi menjadi sinyal, kemudian digunakan untuk mengatur aliran masuk maupun keluar agar *level* tetap sesuai set point.

5. *Flow Controller* (FC)

Flow Controller adalah instrumen yang digunakan untuk mengatur laju aliran fluida di dalam pipa atau sistem proses. Pengaturan dilakukan dengan mengendalikan kecepatan aliran yang masuk maupun keluar agar sesuai dengan kebutuhan operasi. Prinsip kerjanya adalah dengan membandingkan debit aktual terhadap nilai yang diinginkan, kemudian mengatur *control valve* sehingga laju aliran tetap stabil. *Flow controller* juga membantu menjaga keseimbangan tekanan di dalam sistem perpipaan.

4.9 Sistem Keamanan Kerja

Sistem keselamatan kerja di perusahaan bertujuan untuk memberikan perlindungan kepada pekerja dari berbagai potensi bahaya yang dapat terjadi selama aktivitas kerja. Untuk mendukung terciptanya lingkungan kerja yang aman, perusahaan menyediakan berbagai fasilitas keselamatan bagi tenaga kerja, antara lain sebagai berikut:

1. Alat Pelindung Diri (APD)

Alat pelindung diri digunakan untuk melindungi pekerja dari berbagai risiko yang mungkin timbul selama melakukan pekerjaan. Jenis-jenis APD yang disediakan meliputi:

a. *Helm*

Helm merupakan alat pelindung diri yang digunakan untuk melindungi kepala dari risiko benturan maupun kejatuhan benda keras.

b. *Safety Glass*

Safety glass berfungsi sebagai pelindung mata dari berbagai potensi bahaya di area kerja. Penggunaannya diperuntukkan bagi tenaga kerja yang berada di bagian *maintenance*, *workshop*, serta ruang pengendalian kualitas (QC) atau laboratorium.

c. Masker

Masker digunakan untuk melindungi pekerja dari paparan bahaya yang terdapat di udara, seperti debu, gas beracun, maupun gas yang bersifat korosif.

d. Sarung Tangan

Sarung tangan digunakan oleh pekerja yang melakukan kontak langsung dengan bahan tertentu atau bekerja pada area yang berpotensi menimbulkan panas maupun iritasi pada kulit.

e. *Safety Shoes*

Safety shoes merupakan alat pelindung diri yang berfungsi melindungi kaki dari risiko tertimpa benda keras maupun terkena percikan bahan kimia.

2. Pengaman Mesin

Pabrik menggunakan berbagai mesin berukuran besar dalam proses produksi. Oleh karena itu, setiap mesin dilengkapi dengan sistem pengaman guna mencegah terjadinya kecelakaan kerja. Beberapa jenis pengaman mesin yang digunakan antara lain *safety guard* dan *emergency stop button*.

3. Penanggulangan Kebakaran

Dalam upaya mengatasi potensi kebakaran, pabrik membentuk tim pemadam kebakaran yang jumlah personelnnya disesuaikan dengan kebutuhan pada setiap bagian produksi. Sistem penanggulangan kebakaran berada di bawah pengawasan bagian SHE (*Safety Health and Environment*). Penanganan kebakaran dilakukan melalui sistem terpadu dan mandiri yang meliputi:

a. Sistem Isyarat Bahaya Kebakaran

Sistem peringatan kebakaran di pabrik menggunakan *fire alarm system* yang dipasang pada setiap unit proses. Apabila terjadi kebakaran, alarm akan berbunyi sebagai tanda peringatan. Sistem alarm tersebut telah didistribusikan ke seluruh area dan dipasang pada lokasi yang mudah terlihat.

b. Sistem Pemadam Kebakaran

- Alat Pemadam Api Ringan (APAR)

Jenis APAR yang digunakan di pabrik terdiri dari tipe *foam* dan *powder*.

Ketentuan pemasangan APAR meliputi:

1. APAR dipasang pada ketinggian 150 cm dari permukaan lantai.
2. Jarak antar APAR sekitar 15 meter.
3. Setiap APAR dilengkapi Work Instruction (WI) yang memuat jenis APAR, tanggal pemeriksaan, serta tanggal kedaluwarsa.
4. Tempat pemasangan APAR diberi nomor identifikasi dan informasi mengenai kondisi APAR, misalnya kondisi baik dan masih berada dalam masa berlaku penggunaan.

- *Hydrant*

Hydrant merupakan sistem pemadam kebakaran yang ditempatkan pada titik-titik strategis di lingkungan pabrik. Pemeriksaan *hydrant* dilakukan setiap dua minggu sekali oleh petugas keamanan, meliputi pemeriksaan *sprayer*, *nozzle*, tanggal kedaluwarsa, tekanan air, serta kondisi *hydrant* secara keseluruhan. Sumber air yang digunakan berasal dari sumur dan tandon air.

c. Regu Pemadam Kebakaran

Regu pemadam kebakaran terdiri atas pekerja yang bertugas berdasarkan sistem *shift*, dengan setiap *shift* beranggotakan minimal dua orang. Tanggung jawab utama dalam penanganan kebakaran berada pada bagian HSE dan *Safety Committee*.

4. Sistem Izin Kerja

Sistem izin kerja diterapkan untuk memastikan bahwa pekerjaan berisiko tinggi dapat dilaksanakan secara aman dan tidak menimbulkan kecelakaan kerja. Jenis izin kerja yang diterapkan meliputi izin kerja panas, izin pengelasan, izin kerja di ketinggian, izin masuk ruang terbatas (*confined space*), dan izin kerja kelistrikan. Pekerja yang akan melaksanakan pekerjaan tersebut wajib memperoleh persetujuan dari atasan atau *supervisor* terkait yang kemudian diteruskan kepada petugas keselamatan kerja.

5. Rambu-Rambu dan Poster

Guna menciptakan lingkungan kerja yang aman, perusahaan memasang berbagai poster serta rambu-rambu K3 pada area umum yang mudah terlihat oleh seluruh pekerja sehingga informasi keselamatan dapat tersampaikan dengan baik.

6. *Behavior Based Safety Management (BBSM)*

Behavior Based Safety Management (BBSM) merupakan suatu program yang bertujuan mengubah perilaku pekerja guna mencegah terjadinya kecelakaan kerja maupun penyakit akibat kerja. Penerapan program ini diawali dengan identifikasi perilaku kerja yang berpotensi menimbulkan masalah, kemudian manajemen menunjuk pengawas untuk memantau aktivitas pekerja. Selanjutnya, proses pemantauan dilakukan secara berkelanjutan oleh rekan kerja masing-masing. Meskipun demikian, BBSM memiliki beberapa kelemahan, di antaranya dapat menimbulkan rasa takut di lingkungan kerja serta menurunkan motivasi pekerja dalam melaporkan kecelakaan atau penyakit akibat kerja karena adanya kekhawatiran bahwa mereka akan dianggap sebagai pihak yang bersalah oleh manajemen.

BBSM mengajarkan pekerja untuk bekerja secara aman dengan memberikan pemahaman mengenai seluruh risiko yang mungkin terjadi serta menyediakan langkah-langkah pengendalian yang sesuai, baik melalui pengendalian administratif maupun *engineering control*. Selain itu, program ini memberikan penghargaan kepada pekerja yang mampu bekerja dengan aman dan menyelesaikan tugasnya dengan menerapkan seluruh prinsip keselamatan kerja, bukan kepada pekerja yang hanya menyelesaikan pekerjaan paling cepat. Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan BBSM secara konsisten dapat menurunkan angka kecelakaan kerja maupun penyakit akibat kerja dari waktu ke waktu (Anggit Pratiwi, 2017).

4.10 Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup (K3LH)

Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup (K3LH) merupakan upaya perlindungan yang bertujuan untuk menjamin tenaga kerja tetap berada dalam kondisi aman dan sehat selama melaksanakan pekerjaan di lingkungan pabrik. Selain melindungi pekerja, penerapan K3LH juga ditujukan untuk menjamin keselamatan pihak lain yang berada di area kerja serta memastikan proses produksi berlangsung secara aman. Oleh karena itu, aspek K3LH perlu diterapkan secara menyeluruh dan berkesinambungan dalam kegiatan operasional pabrik.

Penerapan K3LH bertujuan untuk mengendalikan berbagai potensi bahaya dan risiko kecelakaan yang dapat mengakibatkan cedera, kerusakan peralatan, maupun gangguan proses produksi. Selain itu, penerapan K3LH juga berfungsi untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja, mengurangi kerugian terhadap aset perusahaan, serta

meminimalkan dampak kerugian yang dapat dialami perusahaan akibat kecelakaan kerja (Gozan, 2010). Dalam operasional pabrik *vinyl chloride monomer* (VCM), perusahaan menerapkan kebijakan keselamatan, kesehatan kerja, dan lingkungan yang meliputi:

- a. Melaksanakan perbaikan dan peningkatan kinerja K3LH secara berkelanjutan.
- b. Mematuhi seluruh peraturan dan perundang-undangan yang berkaitan dengan keselamatan dan kesehatan kerja yang berlaku.
- c. Menyampaikan kebijakan K3LH kepada seluruh pekerja agar memiliki kesadaran dan tanggung jawab terhadap keselamatan diri maupun lingkungan kerja.
- d. Menyediakan informasi K3LH yang dapat diakses oleh pihak-pihak yang berkepentingan serta melakukan evaluasi secara berkala untuk menjaga kesesuaiannya dengan kondisi perusahaan.
- e. Melakukan identifikasi bahaya, penilaian risiko, dan pengendalian risiko yang terdokumentasi serta diperbarui sesuai perkembangan kondisi operasional pabrik.

Pada pabrik *Vinyl Chloride Monomer* (VCM), aspek perencanaan, pelaksanaan, dan pemeliharaan keselamatan instalasi, peralatan proses, serta tenaga kerja berada di bawah pengawasan unit yang bertanggung jawab terhadap keselamatan proses dan lingkungan. Manajemen perusahaan mendukung penerapan program pencegahan kerugian yang bertujuan melindungi pekerja, menjaga aset perusahaan, menjamin kelangsungan operasi, serta meminimalkan dampak terhadap masyarakat dan lingkungan sekitar akibat aktivitas pabrik. Pelaksanaan program K3LH berpedoman pada peraturan perundang-undangan yang berlaku, antara lain:

- a. Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja.
- b. Undang-Undang Nomor 2 Tahun 1951 tentang Ganti Rugi Kecelakaan Kerja.
- c. Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 1982 tentang Ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- d. Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 1986 tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL).

Upaya yang dilakukan dalam rangka penerapan K3LH meliputi pengawasan terhadap keselamatan proses produksi, pengelolaan dan pemeliharaan peralatan keselamatan kerja, pelaksanaan pelatihan keselamatan bagi pekerja, penyusunan program pencegahan kecelakaan, penyusunan prosedur tanggap darurat untuk kebakaran dan kecelakaan proses, serta pengawasan terhadap kuantitas dan kualitas limbah agar tidak menimbulkan dampak yang merugikan lingkungan.

Penerapan sistem keselamatan kerja yang baik akan menciptakan lingkungan kerja yang aman dan nyaman sehingga dapat meningkatkan produktivitas tenaga kerja. Oleh karena itu, aspek keselamatan harus menjadi salah satu pertimbangan utama dalam perancangan pabrik. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan pabrik untuk menjamin keselamatan kerja antara lain:

- Meminimalkan kegiatan penanganan dan pemindahan bahan secara manual oleh pekerja.
- Menyediakan sistem penerangan dan ventilasi yang memadai.
- Mengatur jarak antarperalatan dan mesin sehingga aktivitas operasi dapat dilakukan dengan aman.
- Menyediakan area kerja yang aman, bersih, dan tidak licin.
- Melengkapi setiap peralatan dengan sistem proteksi dan pencegahan kebakaran.
- Memasang rambu-rambu keselamatan pada area yang memiliki potensi bahaya.
- Menyediakan jalur evakuasi dan fasilitas keadaan darurat untuk menghadapi kondisi kebakaran atau kecelakaan.

4.11 Fasilitas Pelayanan Kesehatan

Fasilitas pelayanan kesehatan merupakan salah satu sarana penunjang yang sangat penting dalam suatu pabrik. Ketersediaan fasilitas kesehatan yang memadai dapat mendukung produktivitas tenaga kerja sekaligus memberikan penanganan yang cepat pada kondisi darurat yang berpotensi membahayakan keselamatan pekerja. Penyediaan fasilitas kesehatan juga menjadi salah satu upaya perusahaan dalam mengurangi dampak kecelakaan kerja sehingga tingkat fatalitas dan kerugian yang ditimbulkan dapat diminimalkan. Fasilitas pelayanan kesehatan yang perlu disediakan di lingkungan pabrik meliputi:

a. Kotak P3K

Kotak Pertolongan Pertama Pada Kecelakaan (P3K) ditempatkan pada setiap unit produksi, umumnya berada di kantor unit terkait. Pemeriksaan kelengkapan isi kotak P3K dilakukan secara berkala setiap bulan oleh petugas poliklinik dan bagian keselamatan kerja. Peralatan yang tersedia antara lain *ongin spray*, celemek, *tongue spatel*, *tourniquet*, kasa steril, perban, sarung tangan karet, serta kacamata keselamatan.

b. Petugas P3K

Setiap unit kerja memiliki petugas P3K yang bertugas memberikan tindakan awal pada kondisi darurat yang dapat mengancam keselamatan dan kesehatan kerja pekerja sebelum penanganan lebih lanjut dilakukan.

c. Asuransi Kesehatan

Perusahaan perlu memberikan jaminan kesehatan kepada seluruh pekerja, misalnya melalui program Jamsostek atau BPJS Ketenagakerjaan. Jaminan tersebut mencakup perlindungan hari tua, kecelakaan kerja, kematian, serta pelayanan kesehatan.

d. Kendaraan Gawat Darurat

Kendaraan gawat darurat harus selalu dalam kondisi siap digunakan untuk memberikan bantuan dan mengantarkan korban menuju fasilitas kesehatan apabila terjadi kecelakaan kerja. Perawatan, kelengkapan peralatan, dan pengoperasian kendaraan menjadi tanggung jawab pengemudi yang bertugas secara bergiliran sesuai sistem shift.

e. Poliklinik

Poliklinik perusahaan berfungsi memberikan pelayanan kesehatan yang menyeluruh bagi pekerja dan keluarganya, baik untuk menangani penyakit akibat kerja maupun gangguan kesehatan umum lainnya.

f. Tenaga Kesehatan

Pelaksanaan layanan kesehatan di perusahaan memerlukan tenaga medis yang kompeten, seperti dokter umum dan perawat, yang bertugas memberikan pelayanan kesehatan serta mendukung penanganan medis bagi pekerja.

g. Pelayanan Kesehatan

Perusahaan menyediakan berbagai layanan kesehatan sebagai bentuk perlindungan terhadap pekerja. Layanan tersebut meliputi pemeriksaan kesehatan sebelum bekerja, pemeriksaan kesehatan berkala, pemeriksaan kesehatan khusus, serta penanganan terhadap kecelakaan kerja.

h. Gizi Kerja

Pemenuhan kebutuhan gizi pekerja perlu mendapat perhatian untuk menjaga kesehatan dan produktivitas kerja. Oleh karena itu, perusahaan sebaiknya menyediakan kantin khusus bagi karyawan dengan standar kebersihan yang baik serta menyediakan makanan bergizi yang memenuhi prinsip gizi seimbang.

4.12 Faktor Bahaya di Pabrik

Proses produksi di suatu pabrik juga dapat menimbulkan adanya faktor bahaya yang apabila tidak ditangani dapat mengganggu proses kerja dan juga kesehatan tenaga kerja. Faktor bahaya di pabrik yaitu sebagai berikut.

1. Getaran

Getaran di lingkungan pabrik umumnya berasal dari mesin maupun peralatan mekanis yang beroperasi menggunakan motor penggerak. Keberadaan getaran tersebut dapat menimbulkan gangguan terhadap kenyamanan pekerja selama melakukan aktivitas kerja.

2. Kebisingan

Kebisingan di area pabrik sebagian besar bersumber dari mesin-mesin yang digunakan dalam proses produksi. Tenaga kerja yang berada pada area dengan tingkat kebisingan tinggi dalam jangka waktu lama berisiko mengalami gangguan pendengaran. Oleh karena itu, salah satu upaya pengendalian yang dilakukan adalah penggunaan *ear plug* pada lokasi kerja dengan tingkat kebisingan yang tinggi.

3. Penerangan

Sistem penerangan di pabrik memanfaatkan kombinasi pencahayaan alami dan pencahayaan buatan. Apabila cahaya alami belum mampu memenuhi kebutuhan penerangan kerja, maka digunakan lampu sebagai sumber pencahayaan tambahan. Penerangan buatan diperlukan terutama pada bangunan yang membutuhkan intensitas cahaya yang memadai, seperti ruang administrasi dan area produksi, karena aktivitas kerja pada area tersebut memerlukan ketelitian sehingga membutuhkan pencahayaan yang cukup.

4.13 Potensi Bahaya di Pabrik

Berdasarkan proses produksi yang berlangsung di pabrik, terdapat berbagai potensi bahaya yang dapat memengaruhi keselamatan dan kesehatan kerja. Potensi bahaya tersebut dapat berasal dari lingkungan kerja, proses produksi, maupun faktor manusia yang berperan dalam pengoperasian pabrik. Adapun potensi bahaya yang dapat terjadi antara lain sebagai berikut.

1. Percikan Bahan Kimia

Pekerja di pabrik *vinyl chloride monomer* (VCM) harus selalu waspada terhadap kemungkinan terjadinya kecelakaan, terutama yang disebabkan oleh tumpahan

bahan kimia, kebocoran pipa, tangki, maupun peralatan proses lainnya, termasuk pelepasan gas hasil reaksi ke lingkungan.

2. Temperatur Benda Panas

Bahaya temperatur tinggi tidak hanya berasal dari sifat bahan kimia, tetapi juga dari proses pembakaran dan peralatan yang beroperasi pada suhu tinggi. Kondisi tersebut dapat menyebabkan pekerja harus melakukan aktivitas pada area yang berdekatan dengan sumber panas.

3. Tertabrak

Risiko tertabrak dapat terjadi karena adanya kendaraan operasional seperti truk pengangkut bahan baku maupun produk serta *forklift* yang digunakan dalam aktivitas pabrik dan berada pada area kerja tertentu.

4. Terjatuh

Potensi bahaya jatuh umumnya terjadi pada area yang memiliki ketinggian. Risiko ini dapat muncul ketika pekerja melakukan pekerjaan pada platform, tangga, atau fasilitas lain yang berada di atas permukaan tanah.

5. Kejatuhan Benda

Bahaya tertimpa benda dapat terjadi pada beberapa bagian pabrik, terutama area penyimpanan peralatan kerja. Aktivitas penempatan maupun pemindahan barang dapat menyebabkan benda jatuh dan menimbulkan cedera bagi pekerja yang berada di sekitarnya.

6. Ledakan

Potensi ledakan dapat terjadi akibat kegagalan operasi maupun kebocoran sistem yang menyebabkan pelepasan energi secara tiba-tiba. Kejadian tersebut dapat memicu kebakaran dan menimbulkan kerusakan pada fasilitas pabrik.

7. Kebakaran

Risiko kebakaran dapat terjadi terutama pada area pemeliharaan (*maintenance*) akibat percikan api saat pekerjaan pengelasan atau pemotongan logam. Selain itu, keberadaan bahan-bahan yang mudah terbakar juga dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya kebakaran.

4.14 Analisis Dampak Lingkungan (AMDAL)

Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) merupakan kajian mengenai dampak besar dan penting yang ditimbulkan oleh suatu rencana usaha dan/atau kegiatan terhadap lingkungan hidup sebagai dasar pengambilan keputusan dalam penyelenggaraan

usaha atau kegiatan. Kajian ini mencakup aspek fisik-kimia, ekologi, sosial ekonomi, sosial budaya, dan kesehatan masyarakat sebagai pelengkap studi kelayakan. Selain menjadi bagian dari studi kelayakan, AMDAL juga merupakan persyaratan untuk memperoleh izin usaha dan/atau kegiatan. Melalui AMDAL, dampak positif maupun negatif yang mungkin timbul terhadap lingkungan hidup dapat diketahui secara lebih jelas.

Berdasarkan identifikasi dampak lingkungan yang dilakukan, dampak utama dari pendirian pabrik *Vinyl Chloride Monomer* (VCM) berasal dari emisi udara hasil pembakaran bahan bakar pada *furnace* dan *boiler*, limbah cair yang mengandung senyawa organik terklorinasi, serta potensi kebocoran bahan kimia berbahaya. Dampak tersebut dapat diminimalkan melalui penerapan sistem proses tertutup, penggunaan *absorber* HCl, instalasi pengolahan air limbah (IPAL), pemanfaatan bahan bakar gas alam yang lebih ramah lingkungan, serta penerapan sistem keselamatan dan kesehatan kerja yang memadai.