

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES

Sebagai penunjang kebutuhan operasi pabrik, unit utilitas berperan sebagai unit pendukung dalam proses operasi pabrik agar berjalan dengan optimal. Unit ini diantaranya yaitu unit pengolahan air bersih, air pendingin, air proses, steam, bahan bakar, udara tekan, tenaga listrik, dan pengolahan limbah.

4.1 Unit Pengadaan dan Pengolahan Air

4.1.1 Pengadaan Air

Unit pengadaan air memegang peran yang sangat penting dan memiliki dampak besar dalam operasional pabrik, sehingga proses pengolahan air di unit utilitas perlu terus dijaga dan dipantau dengan baik. Sumber air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan pabrik berasal dari air bersih yang ada di kawasan industri. Pemilihan air ini didasarkan pada lokasi pabrik yang berada di dalam kawasan industri, sehingga pengambilan air menjadi lebih mudah, serta biayanya yang relatif lebih terjangkau. Berdasarkan kebutuhannya, air dalam industri ini dibagi menjadi empat jenis diantaranya:

1. Air Proses

Air proses memiliki peran yang sangat penting dalam menjalankan berbagai tahapan di setiap peralatan pabrik. Air ini akan kontak langsung dengan bahan baku untuk menghasilkan produk akhir. Salah satu fungsi air proses adalah sebagai pelarut (*solvent*) dalam beberapa proses. Namun, pada pabrik pembuatan metil metakrilat, air proses tidak dibutuhkan, sehingga tidak perlu disediakan oleh unit utilitas. Proses demineralisasi bertujuan untuk menghilangkan semua ion yang terkandung dalam air. Air yang telah melalui proses ini dikenal sebagai air demin atau air deionisasi (*deionized water*). Sistem demineralisasi dirancang untuk mengolah air menggunakan penukar ion (*ion exchanger*), yang menghasilkan air bebas mineral yang akan digunakan dalam proses-proses tertentu di pabrik.

Untuk memenuhi kebutuhan air proses, air bersih saja tidak cukup. Oleh karena itu, air tersebut harus diproses lebih lanjut untuk menghilangkan kandungan mineral, khususnya garam-garam terlarut,

guna mencegah terjadinya korosi yang bisa merusak pipa dan katup (*valve*). Proses dimulai dengan mengalirkan air bersih (*Filtered Water*) ke dalam *Cation Exchanger*, yang berisi resin asam kuat. Resin ini akan mengikat ion-ion kation seperti kalsium, magnesium, natrium, kalium, besi, mangan, dan aluminium, sambil melepaskan ion H^+ . Setelah itu, air mengalir ke *Anion Exchanger*, di mana anion seperti klorida, karbonat, sulfat, nitrat, dan silika akan bertukar dengan ion OH^- dari resin anion. Setelah melalui proses ini, hampir seluruh garam terlarut dalam air telah dihilangkan. Air demin yang dihasilkan kemudian disimpan dalam tangki penyimpanan (*Demineralized Water Storage*).

2. Air Pendingin

Air pendingin mempunyai peran penting dalam proses perpindahan panas pada berbagai peralatan. Fungsinya adalah untuk menjaga agar suhu alat tetap stabil, mencegah terjadinya *overheating* sehingga alat tersebut dapat beroperasi dengan baik. Air pendingin tidak langsung bersentuhan dengan bahan baku, produk setengah jadi, atau produk jadi. Sistem yang digunakan dalam proses ini adalah sistem sirkulasi ulang (*recirculating system*), yang berarti setelah air digunakan untuk mendinginkan peralatan, air tersebut akan kembali disirkulasikan ke menara pendingin (*cooling tower*). Air pendingin harus memiliki sifat yang tidak mudah korosi, tidak menyebabkan pembentukan kerak, dan bebas dari mikroorganisme yang dapat menyebabkan pertumbuhan lumut. Apabila air tersebut hilang, maka perlu ditambahkan air pengganti (*make up water*). Untuk mempertahankan kondisi air agar seperti yang diinginkan, maka air diinjeksikan senyawa kimia sebagai berikut:

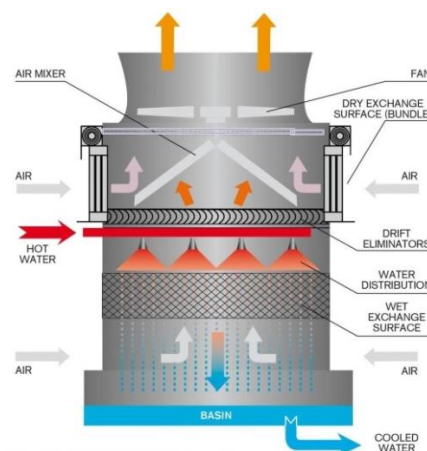
- Klorin untuk membunuh mikroorganisme dan mencegah timbulnya lumut pada menara pendingin
- Asam sulfat dan kaustik untuk mengatur pH air pendingin
- Seng kromat untuk anti korosi
- Dispersen untuk mencegah penggumpalan dan mengendapnya kotoran dalam air pendingin.

Menurut Setiadi (2007), Standar industri terhadap air pendingin yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Parameter Air Pendingin (ASME *Water Quality Standard*, 2016)

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Konduktivitas	mhos/cm	< 1000
2	Turbiditas	ppm	< 10
3	Suspended Solid	ppm	< 10
4	<i>Total Hardness</i>	ppm as CaCO ₃	< 100
5	<i>Total Iron</i>	ppm as Fe	< 1
6	<i>Residual Chlorine</i>	ppm as Cl ₂	0,5 – 1,0
7	Silicate	ppm as SiO ₂	< 150
8	Total Chromat	ppm as CrO ₄	1,5 – 2,5
9	pH	-	6,5 – 7,5

Cooling tower merupakan sebuah menara yang terbuat dari rangka besi tahan karat. Pada Pabrik Metil Metakrilat, jenis *cooling tower* yang digunakan adalah *mechanical cooling tower*. Pada sistem ini, air yang ingin didinginkan disemprotkan dengan udara yang dihisap oleh kipas. Proses ini menyebabkan udara menyerap panas dari air, dan sebagian air menguap, melepaskan panas laten yang mendinginkan air yang jatuh ke bawah. Setelah itu, air yang sudah dingin akan terkumpul di dalam basin dan digunakan lagi sebagai air pendingin. Ketinggian air dalam *cooling tower* dijaga dengan menambahkan air *make-up* dari sumber air bersih. Air pendingin yang terkumpul di basin kemudian dipompa kembali untuk mendinginkan proses-proses di pabrik.



Gambar 4. 1 *Induced Draft Cooling Tower*

Air pendingin pada pabrik pembuatan metil metakrilat ini disuplai untuk alat penukar panas, diantaranya *cooler* dan *condenser*, dimana ditunjukkan pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Kebutuhan Air Pendingin

Peralatan	Kebutuhan (kg/jam)
<i>Condensor</i> E-03	65,9613
<i>Cooler</i> E-06	45463,4535
<i>Condensor</i> E-07	0,1204
Total	45.529,53

Penggunaan air pendingin dalam sistem dilakukan secara terus-menerus dan bersirkulasi. Suhu air pendingin yang keluar dari setiap peralatan akan meningkat. Peningkatan suhu ini disebabkan oleh perpindahan panas dari komponen atau senyawa ke air pendingin melalui media penghantar pada masing-masing alat. Karena air pendingin dipakai secara berulang, suhu air tersebut harus diturunkan lagi di *cooling tower*. Saat proses penurunan suhu ini berlangsung, terjadi kehilangan air yang disebut *losses* pada *cooling tower*. Terdapat tiga jenis *losses* yang terjadi, yaitu *evaporation loss*, *drift loss*, dan *blow down*.

1. *Evaporation Loss*

Evaporation loss dalam *cooling tower* terjadi karena sebagian kecil air pendingin yang masuk mengalami penguapan. Kehilangan air akibat evaporasi ini dapat dihitung menggunakan rumus yang terdapat dalam persamaan 12-10 pada buku Perry (1997), sebagai berikut:

$$We = 0,00085 \times 1,8 \times Wc \times (T1 - T2)$$

Keterangan:

We = *Evaporatoin Loss*

Wc = Jumlah sirkulasi air pendingin

$T1$ = Suhu air pendingin masuk *cooling tower* (°F)

$T2$ = Suhu air pendingin keluar *cooling tower* (°F)

$$\begin{aligned}
 W_e &= 0,00085 \times 1,8 \times W_c \times (T_1 - T_2) \\
 &= 0,00085 \times 1,8 \times 45.529,53 \times 24 \\
 &= 1671,844 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

2. *Drift Loss*

Drift loss pada *cooling tower* terjadi karena sebagian kecil air pendingin terbawa oleh aliran udara yang keluar dari *cooling tower*. Kehilangan air akibat *drift loss* ini biasanya berkisar antara 0,1% hingga 0,2%. Jumlah air yang hilang dapat dihitung menggunakan rumus yang tercantum dalam persamaan 12-11 pada buku Perry (1997), sebagai berikut:

$$W_d = 0,2\% \times W_c$$

Keterangan:

W_d = Drift Loss

W_c = Jumlah sirkulasi air pendingin

$$\begin{aligned}
 W_d &= 0,2\% \times 45.529,53 \\
 &= 91,059 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

3. *Blow Down*

Blow down adalah proses pembuangan sebagian air pendingin yang bertujuan untuk mengontrol konsentrasi padatan terlarut dalam air pendingin, yang meningkat akibat evaporasi. Jumlah air yang dibuang melalui *blow down* dapat dihitung berdasarkan perbandingan konsentrasi yang dijaga agar tidak terjadi pembentukan endapan (*scaling*) pada peralatan dan pipa. Perbandingan ini, yang disebut sirkulasi konsentrasi, mengukur kandungan padatan dalam air pendingin yang beredar dibandingkan dengan kandungan padatan dalam air tambahan. Sirkulasi konsentrasi biasanya dijaga pada rentang antara 3 hingga 5. Jumlah air yang dibuang dalam *blow down* dapat dihitung menggunakan rumus yang terdapat dalam persamaan 12-12 pada buku Perry (1997), sebagai berikut:

$$W_b = \frac{W_e}{cycle-1}$$

Dimana:

$W_b = \text{Blow down}$

$W_d = \text{Drift loss}$

$W_c = \text{Evaporation loss}$

$$W_b = \frac{1671,844}{3-1}$$

$$W_b = 835,922 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Make up air pendingin} &= W_e + W_d + W_b \\ &= (1671,844 + 91,059 + 835,922) \text{ kg/jam} \\ &= 2598,825 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor keamanan} &= 10\% \\ &= (10\% \times \text{make up air pendingin}) \\ &= 10\% \times 2598,825 \\ &= 259,882 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Total make up air pendingin} = 2858,707 \text{ kg/jam}$$

3. Air Umpan *Boiler*

Air umpan *boiler* yang disediakan oleh unit pengadaan air akan diubah menjadi uap pada unit pengadaan steam. Uap yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai pemanas untuk berbagai peralatan. Salah satu persyaratan penting bagi air umpan *boiler* yang diproduksi oleh unit pengadaan air adalah bebas dari kandungan mineral. Hal ini diperlukan untuk mencegah pembentukan kerak dalam *boiler*, yang dapat mengganggu kinerjanya. Jumlah air umpan boiler yang disuplai harus setara dengan jumlah uap yang diproduksi.

Berikut adalah beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan air umpan boiler:

- Zat Penyebab Korosi

Korosi yang terjadi dalam boiler dapat disebabkan oleh air yang mengandung asam atau gas-gas terlarut seperti O_2 , CO_2 , H_2S , dan NH_3 . Kehadiran zat-zat ini bisa memicu pembentukan kerak, yang pada gilirannya menyebabkan pemanasan lokal berlebihan (*local overheating*) dan kegagalan fungsi logam pada boiler.

- Zat penyebab pembentukan kerak
Pembentukan kerak terjadi karena adanya kandungan kesadahan air dan suhu tinggi, yang biasanya berupa garam karbonat dan silika.
- Zat penyebab pembentukan busa (*foaming*)
Air yang berasal dari proses pemanasan dapat menyebabkan busa pada boiler jika mengandung zat organik yang tidak larut dalam jumlah banyak. Fenomena busa ini biasanya terjadi pada kondisi alkalinitas yang tinggi.

Air yang akan digunakan sebagai umpan *boiler* harus memenuhi standar tertentu. Pengawasan terhadap kondisi air umpan *boiler* sangat penting, karena kesalahan dalam pengelolaannya dapat menimbulkan bahaya. Beberapa parameter yang perlu diawasi dalam air *boiler* sesuai dengan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Persyaratan Mutu Air Umpan *Boiler* (SNI 7268:2009)

No	Parameter	Satuan	Persyaratan Maksimum
1	pH (pada 25°C)	(Ppm as CaCO ₃)	7 s/d 9
2	Kesadahan	(mg/l)	Maksimum 1
3	Lemak dan minyak	(mg/l)	0
4	Oksigen terlarut	(mg/l)	0
5	Ion klorida (Cl)	(mg/l)	Maksimum 600
6	Ion fosfat (PO ₄ ³⁻)	(mg/l)	20 s/d 40
7	Ion sulfat (SO ₃)	(mg/l)	10 s/d 50
8	Hidrasin (N ₂ H ₄)	(mg/l)	0,1 s/d 10
9	Silica	(Ppm as SiO ₂)	Maks 0,5

Air *make-up* untuk umpan *boiler* dipilih sebesar 5% dari total pasokan air umpan *boiler* yang tersedia. Rincian mengenai suplai air umpan *boiler* yang digunakan di pabrik metil metakrilat dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 4 Kebutuhan Air Umpan *Boiler*

Peralatan	Kebutuhan (kg/jam)
<i>Heater</i> (E-01)	494,6099
<i>Heater-02</i> (E-02)	269,4158
Reboiler (E-04)	247,0918
Reboiler (E-05)	35,5405
Reboiler (E-08)	629,9150
Total	1676,573

Suplay air umpan *boiler* = 1676,573 kg/jam
 Faktor keamanan = 10% = 167,6573 kg/jam
 Total make up umpan boiler = 1844,2303 kg/jam

4. Air Domestik

Air domestik adalah air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, seperti di perkantoran, laboratorium, rumah tangga, dan fasilitas umum di pabrik. Air ini diperlukan untuk berbagai kebutuhan dalam pemerintahan, terutama untuk keperluan pegawai. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/X/2010 tentang persyaratan dan pengawasan kualitas air, air yang digunakan untuk sanitasi harus memenuhi kriteria tertentu diantaranya:

- Tidak berwarna, berbau dan berasa
- Jumlah zat padat terlarut (*total solid*)
- Maksimal 5 NTU (*Nephelometric Turbidity Units*)
- Warna maksimal 15 TCU (*True Colour Units*)

Syarat Kimia:

- Tidak mengandung bakteri patogen
- Tidak mengandung zat kimia beracun dan berbahaya
- pH 6,5 – 8,5

Terdapat 25 rumah yang direncanakan, dengan setiap rumah dihuni oleh 4 orang. Selain itu, terdapat 147 karyawan yang juga perlu dipenuhi kebutuhan airnya. Rincian kebutuhan air domestik yang diperlukan di pabrik metil metakrilat dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 5 Kebutuhan Air Domestik

Lokasi Kebutuhan	Jumlah Orang	Kebutuhan Air (L/orang/hari)	Kebutuhan Air (L/hari)	Kebutuhan Air (L/jam)
Kantor	40	10	400	16,667
Labolatorium	3	10	30	1,25
Mushola	35	15	525	21,875
Kantin	35	15	525	21,875
Poliklinik	2	10	20	0,833
Total			1500	62,5

Kebutuhan air domestik	= 62,5 L/jam
Densitas air	= 1 kg/L
Kebutuhan air domestik	= 1 kg/L x 62,5 L/jam
	= 62,5 kg/jam
Faktor keamanan	= 10%
Total <i>make up</i> air domestik	= 10% x 62,5 kg/jam
	= 6,25 kg/jam

5. Air Hydrant

Air *hydrant* adalah air yang digunakan untuk keperluan pemadam kebakaran. Kebutuhan air *hydrant* sangat penting apabila terjadi kebakaran di salah satu bagian pabrik. Penggunaan air *hydrant* bersifat situasional, hanya diperlukan saat kebakaran terjadi. Dalam pelaksanaannya, air *hydrant* dialirkan melalui pipa khusus yang tersebar di seluruh area pabrik. Pipa-pipa ini dipasang di lokasi-lokasi strategis untuk memastikan seluruh bagian pabrik dapat dijangkau dengan mudah. Persyaratan pasokan air *hydrant* adalah minimal 2400 liter per menit dengan tekanan 3,5 bar, serta mampu mengalirkan air selama setidaknya 45 menit (SNI 03-1735 2000).

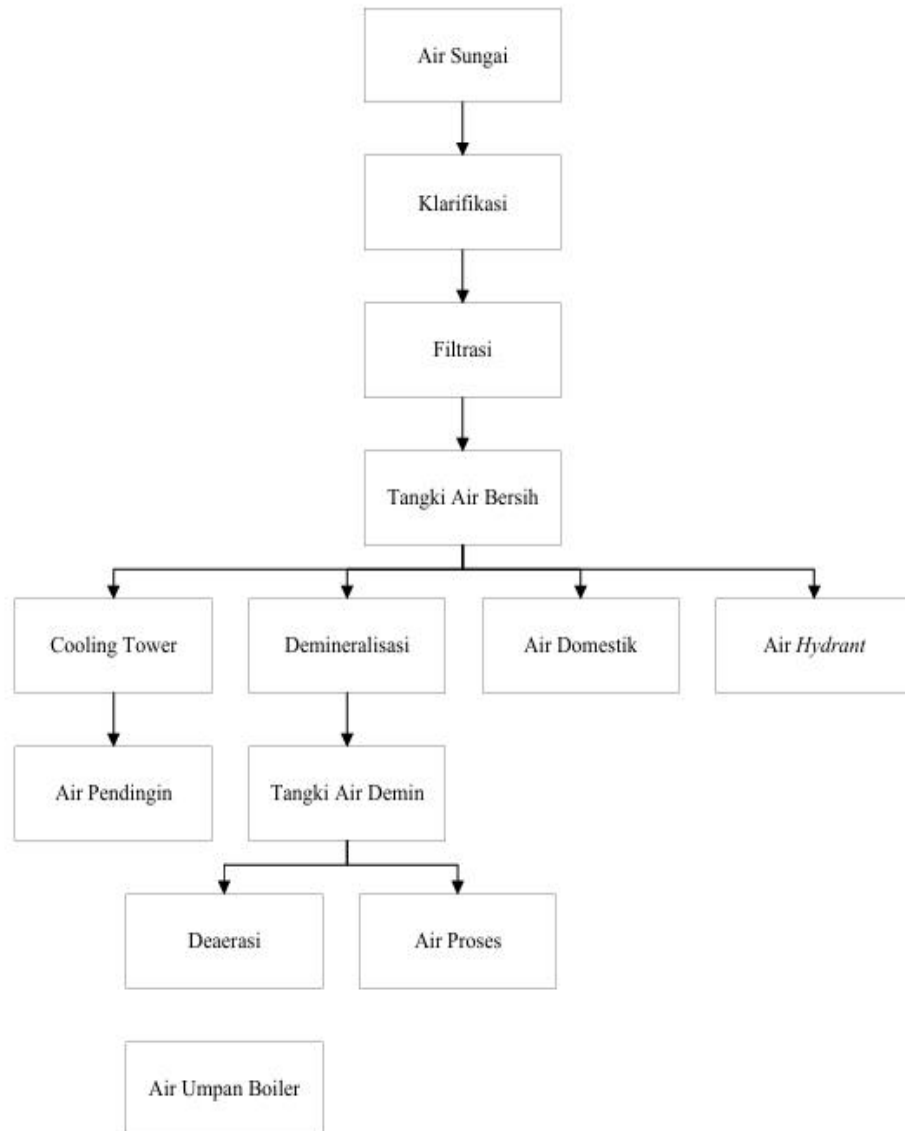
Kebutuhan total air di pabrik metil metakrilat dengan kapasitas 80.000 ton per tahun terbagi menjadi beberapa kategori, yaitu air untuk pendinginan (cooling tower), air untuk umpan boiler, dan air untuk keperluan domestik. Jumlah total air yang perlu disuplai dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. 6 Jumlah kebutuhan air di pabrik metil metakrilat

Jenis Air	Kebutuhan (kg/jam)		Total (kg/jam)
	Kebutuhan Awal	<i>Make up</i>	
Air pendingin	45529,53	2858,707	48388,237
Air umpan <i>boiler</i>	1676,573	1844,2303	3520,803
Air domestik	62,5	68,75	131,25
Total	47268,603	4771,687	52040,29

4.1.2 Pengolahan Air

Pengolahan air bertujuan untuk memastikan air memenuhi standar yang diperlukan agar dapat digunakan. Proses pengolahan ini bisa meliputi langkah-langkah fisik dan kimia, penambahan desinfektan, atau penggunaan *ion exchanger*. diagram alir pengolahan air dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 2 Diagram Alir Pengolahan Air Pabrik Metil Metakrilat

a) Penjernihan (*Purification*)

Bahan baku air diambil dari sungai dan dialirkan menuju sistem intake air yang terdiri dari saringan (*screen*) dan pompa. Saringan digunakan untuk memisahkan kotoran dan benda asing yang ada dalam

aliran menuju pompa hisap (*suction pump*). Setelah melewati saringan, air yang sudah terbersihkan masuk ke pompa hisap dan diteruskan melalui pipa ke unit pengolahan air.

Di dalam tangki sedimentasi, air akan mengendapkan lumpur yang mungkin terbawa, yang dapat menyebabkan gangguan pada proses penyediaan air bebas mineral. Partikel-partikel besar akan dihilangkan melalui penyaringan, sementara partikel koloidal dibersihkan melalui proses klarifikasi, yang melibatkan penetralan dan penggumpalan (*coagulation*). Sebelum air dikeluarkan, dilakukan injeksi larutan alum, kaustik, dan klorin. Jumlah bahan kimia yang digunakan diatur secara otomatis sesuai dengan volume air yang masuk. Besarnya injeksi bahan kimia bergantung pada kualitas air sungai dan kondisi operasional yang ada. Semua air alami mengandung berbagai jenis dan jumlah pengotor. Dalam proses penjernihan air, digunakan bahan kimia seperti larutan alum (Aluminium Sulfat), soda kaustik (NaOH), dan klorin/kaporit. Bahan-bahan kimia ini berfungsi sebagai *floculant* untuk menggumpalkan partikel, mengatur pH, serta membunuh bakteri, jamur, dan mikroorganisme, sehingga mempermudah pembentukan flok. Setelah air sungai melalui proses pengolahan di unit pemurnian, air tersebut kemudian diproses lebih lanjut di unit filtrasi, yaitu pada Sand Filter.

b) Penyaringan (*Filtration*)

Air yang disiapkan untuk proses pertukaran ion (*ion exchanger*) perlu disaring terlebih dahulu untuk mencegah kerusakan pada penukar ion akibat kotoran yang terbawa. Beberapa kotoran yang ada akan dikoagulasikan selama proses penjernihan, termasuk bahan organik, warna, dan bakteri. Setelah melalui proses penjernihan, tingkat kekeruhan (*turbiditas*) air akan turun menjadi 5 ppm atau lebih rendah. Selama operasi penyaringan, kotoran yang masih terbawa setelah proses penjernihan akan tertangkap oleh filter dan terkumpul di permukaan media filter.

Penyaringan dilakukan menggunakan media pasir atau sand filter berbentuk silinder vertikal. Ketika sand filter sudah jenuh, filter perlu diregenerasi dengan cara melakukan *backwash*, yaitu pembersihan dengan aliran air balik yang lebih tinggi dari aliran filtrasi. Proses ini bertujuan untuk mengeluarkan kotoran yang menempel pada permukaan filter dan memperluas area penyaringan. Setelah *backwash*, air hasil saringan selama beberapa menit pertama akan dibuang untuk membersihkan sistem dari partikel padat yang masih tertinggal. Proses *backwash* filter terjadi secara otomatis ketika terjadi penurunan tekanan tinggi (*high pressure drop*) atau setelah mencapai waktu operasi tertentu. Larutan kaustik kemudian diinjeksi melalui pipa keluar (*line header outlet*) dari sand filter untuk mengatur pH air yang keluar menuju tangki penyimpanan air filter. Untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme dalam air filter, dilakukan injeksi klorin. Setelah itu, air dari tangki filter didistribusikan ke berbagai kebutuhan, seperti *cooling tower*, air umum, air *hydrant*, dan unit demineralisasi.

c) Demineralisasi

Fungsi dari demineralisasi ialah untuk menghilangkan semua ion yang ada dalam air. Air yang telah melalui proses ini dikenal dengan sebutan air demin (*deionized water*). Sistem demineralisasi dirancang untuk mengolah air yang telah disaring menggunakan penukar ion, dengan tujuan menghilangkan padatan terlarut dalam air, sehingga menghasilkan air demin yang akan digunakan sebagai air umpan boiler. Unit penyediaan air bebas mineral terdiri dari dua jenis penukar ion, yaitu penukar kation (*cation exchanger*) dan penukar anion (*anion exchanger*).

a. Proses pada *Cation Exchanger*

Fungsi utama *Cation exchanger* adalah untuk mengikat ion-ion bermuatan positif atau kation mineralnya seperti Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} dan Al^{3+} , dari air dan melepas ion Hydrogen (H^+) sehingga air bersifat asam dalam kondisi pH antara 3,2-3,3 ; konduktifitas antara 300 – 460 mmhos, dan *free mineral acid* 30 – 60 ppm. Ketika daya

penukaran kation pada resin telah jenuh (pada *analyzer conductivity* dan silika menunjukkan kenaikan) dan telah mencapai kapasitas produksi (total liter), regenerasi harus dilakukan dengan menggunakan asam sulfat (H_2SO_4). Regenerasi ini dilakukan dalam empat tahap, yaitu back wash, regenerasi menggunakan asam sulfat (H_2SO_4), pembilasan dengan air demin, dan pencucian kembali *Cation Exchanger* dengan arah aliran yang sama dengan tahap *service* yang bertujuan untuk membersihkan *Cation Exchanger* dari kemungkinan sisa asam maupun garam – garam yang tersisa.

b. Proses pada *Anion Exchanger*

Fungsi *anion exchanger* adalah untuk mengikat ion-ion bermuatan negatif atau anion mineral sisa asam yang masih terkandung dalam air, seperti : HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- NO^- dan SiO_3^{2-} diikat oleh resin dan menggantikanya dengan ion Hydroksil (OH^-), Sehingga air yang keluar dari proses ini mempunyai pH sekitar 8,6 - 8,9, konduktifitas < 25 mmhos, dan kadar silika < 0,1 ppm. Ketika resin sudah mencapai kapasitas produksi (total liter) atau sudah jenuh (pada *conductivity analyzer* dan *silica analyzer* naik), tahapan regenerasi harus dilakukan setelah. Regenerasi dilakukan dengan menambahkan larutan NaOH 4% dengan suhu 490°C . Sebelumnya *Anion Exchanger* di *backwash* terlebih dulu, kemudian diinjeksikan larutan NaOH 4%, direndam, diinjeksikan larutan NaOH 4% kembali untuk menyempurnakan pengeluaran anion, dan dibilas agar kemungkinan larutan kaustik maupun garam natrium yang masih tersisa.

d) Deaerasi

Air yang sudah mengalami proses demineralisasi masih mengandung gas terlarut terutama oksigen dan karbon dioksida. Gas tersebut dihilangkan dari air karena dapat menimbulkan korosi. Gas – gas tersebut dihilangkan dalam deaerator dengan di stripping menggunakan uap bertekanan rendah ($0,6 \text{ kg/cm}^2$) dengan temperatur 150°C . Pada deaerator diinjeksikan bahan kimia seperti hidrazin sebagai pengikat oksigen, amonia untuk menaikkan pH menjadi 10 sehingga tidak

terjadi korosi, $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ untuk mengatur kesadahan air. Keluaran deaerator diharapkan kadar oksigen kurang dari 0,007 ppm.

4.2 Unit Pembangkit Listrik

Unit ini bertugas untuk menyediakan pasokan listrik yang stabil ke seluruh pabrik. Unit penyedia tenaga listrik juga memiliki peran penting dalam menjaga keamanan operasi pabrik karena harus memastikan sistem listrik terlindungi dari gangguan seperti lonjakan tegangan atau pemadaman listrik yang dapat merusak peralatan dan mengancam keselamatan pekerja. Kebutuhan listrik pabrik metil metakrilat dengan kapasitas 80.000 ton/tahun yang digunakan berasal dari PLN (Perusahaan Listrik Negara) dan sebagai cadangan dihasilkan dari Pembangkit tenaga listrik sendiri (Generator). Listrik di pabrik digunakan untuk keperluan peralatan dan penerangan.

4.2.1 Listrik Untuk Peralatan

Kebutuhan daya listrik untuk peralatan yang digunakan dalam pabrik pembuatan metil metakrilat dibutuhkan untuk mengoperasikan berbagai mesin. Setiap peralatan memiliki kebutuhan daya listrik yang berbeda, yang dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. 7 Kebutuhan Listrik Peralatan

Peralatan	Kebutuhan (kg/jam)
<i>Mixing Tank</i> (M-01)	1
<i>Mixing Tank</i> (M-02)	1
<i>Mixing Tank</i> (M-03)	1
Pompa	6
Total	9

4.2.2 Listrik Untuk Penerangan

Setiap area di pabrik umumnya memiliki tingkat penerangan yang bervariasi. Untuk menghitung kebutuhan penerangan, digunakan satuan iluminasi yang disebut lux. Lux sendiri merupakan satuan yang turunan dari lumen, sementara lumen adalah satuan yang turunan dari candela.

1) Penerangan area pabrik

Luas area = $10.000 \text{ m}^2 = 1 \text{ Ha}$

Tipe lampu = Lampu Halogen

$$\begin{aligned}
 \text{Intensitas penerangan} &= 150 \text{ lumen/m}^2 \\
 \text{Iluminasi lampu} &= 90 \text{ lumen/W} \\
 \text{Daya yang dibutuhkan} &= \frac{10.000 \text{ m}^2 \times 150 \text{ lumen/m}^2}{90 \text{ lumen/W}} \\
 &= 16.666,67 \text{ W} \\
 &= 16,66 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

2) Penerangan area kantor dan fasilitas lainnya

$$\begin{aligned}
 \text{Luas area} &= 11.000 \text{ m}^2 = 1 \text{ Ha} \\
 \text{Tipe lampu} &= \text{Lampu bohlam LED} \\
 \text{Intensitas penerangan} &= 300 \text{ lumen/m}^2 \\
 \text{Iluminasi lampu} &= 60 \text{ lumen/W} \\
 \text{Daya yang dibutuhkan} &= \frac{11.000 \text{ m}^2 \times 300 \text{ lumen/m}^2}{60 \text{ lumen/W}} \\
 &= 55.000 \text{ W} \\
 &= 55 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

3) Penerangan perluasan area pabrik

$$\begin{aligned}
 \text{Luas area} &= 9000 \text{ m}^2 = 0,9 \text{ Ha} \\
 \text{Tipe lampu} &= \text{Lampu fuerezen} \\
 \text{Intensitas Penerangan} &= 150 \text{ lumen/m}^2 \\
 \text{Iluminasi lampu} &= 90 \text{ lumen/W} \\
 \text{Daya yang dibutuhkan} &= \frac{9.000 \text{ m}^2 \times 150 \text{ lumen/m}^2}{90 \text{ lumen/W}} \\
 &= 15.000 \text{ W} \\
 &= 15 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Kebutuhan Listrik Penerangan} &= (16,66 + 55 + 15) \text{ kW} \\
 &= 86,66 \text{ kW} \\
 &= 116,212 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 8 Total Kebutuhan Listrik Pabrik Metil Metakrilat

Keperluan	Kebutuhan (HP)	Kebutuhan (kW)
Peralatan	9	6,7113
Penerangan	116,212	86,66
Total	125,212	93,371

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor keamanan} &= 20\% \\
 \text{Total kebutuhan listrik} &= (100\% + 20\%) \times 93,371 \\
 &= 112,04 \text{ kW} \\
 &= 150,248 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

Untuk memenuhi kebutuhan listrik, dipilih generator dengan kapasitas 300 kW

4.3 Unit Pengadaan Steam

Steam digunakan sebagai media pemanas dalam berbagai peralatan untuk proses perpindahan panas. Pada pabrik pembuatan metil metakrilat yang memiliki kapasitas 80.000 Ton/Tahun, yaitu *steam* dengan temperatur 150°C. *Steam* yang dipasok oleh unit utilitas pabrik ini adalah jenis *saturated steam*. Peralatan yang memanfaatkan *steam* pada suhu 150°C beserta jumlah kebutuhan *steam* untuk masing-masing peralatan ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 9 Kebutuhan *Steam* 150°C

Peralatan	Kebutuhan (kg/jam)
Heater (E-01)	494,6099
Heater-02(E-02)	269,4158
Reboiler (E-04)	247,0918
Reboiler (E-05)	35,5405
Reboiler (E-08)	629,9150
Total	1676,573

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor keamanan suplai steam} &= 20\% \\
 \text{Total kebutuhan steam} &= (100\% + 20\%) \times \text{kebutuhan total steam} \\
 &= (100\% + 20\%) \times 1676,573 \\
 &= 2011,887 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

4.4 Unit Pengadaan Bahan Bakar

Bahan bakar yang disuplai merupakan Industrial Diesel Oil (IDO). Kebutuhan bahan bakar dibagi menjadi dua, yaitu untuk keperluan boiler dan keperluan generator.

1. Bahan bakar *boiler* untuk *steam* pemanas

Steam yang diproduksi utilitas adalah *saturated steam* dengan suhu 150°C.

Temperature air masuk = 30°C

Temperature steam = 150°C

Kebutuhan steam, $m_{\text{steam}} = 1676,573 \text{ kg/jam}$

Tabel 4. 10 Data Cp dalam Fase Liquid

Komponen	A	B	C	D
H ₂ O	92,053	-0,039953	-0,00021	5,347 x 10 ⁻⁷

(Sumber: Yaws, C.L., 1999)

Menghitung kapasitas panas komponen (Cp) dalam fase liquid dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{sensibel}} &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 93,142 \times 75,443 \\ &= 7027,057 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Berdasarkan steam tabel (Smith, 2001), didapatkan data entalpi dan laten sebagai berikut:

$$\text{Entalpi saturated vapor (Hv)} = 2746,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Entalpi saturated liquid (Hl)} = 632,2 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Panas laten } (\lambda) = 2113,7 \text{ kJ/kg}$$

Panas yang dibutuhkan dalam menghasilkan steam yaitu:

$$\begin{aligned} Q_{\text{laten}} &= m_{\text{steam}} \times \lambda \\ &= 1676,573 \times 2113,7 \\ &= 3.543.772,350 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan steam (Kapasitas steam):

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_{\text{sensibel}} + Q_{\text{laten}} \\ &= 7027,057 + 3.543.772,350 \\ &= 3.550.799,407 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Spesifikasi bahan bakar Industrial Diesel Oil (IDO) yang dipakai, yaitu:

$$\text{Nilai kalor bahan bakar (LHV)} = 19300 \text{ Btu/lb} = 44.891,8 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = 80\% \text{ (Tabel 4.8, Ulrich, 1984:109)}$$

Kebutuhan bahan bakar =

$$\begin{aligned} m_{\text{bahan bakar}} &= \frac{Q}{\eta \times LHV} \\ m_{\text{bahan bakar}} &= \frac{3.550.799,407}{0,80 \times 44.891,8} \\ m_{\text{bahan bakar}} &= 98,871 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

4.5 Unit Pengadaan Udara Tekan

Unit pengadaan udara tekan pada pabrik metil metakrilat ini berfungsi untuk mengatur aliran udara bertekanan yang digunakan untuk menggerakkan peralatan. Udara tekan ini digunakan untuk menggerakkan instrumen yang telah dilengkapi dengan sistem kontrol otomatis, seperti katup otomatis dan instrumen lain yang memerlukan udara tekan untuk operasionalnya. Untuk memenuhi kebutuhan ini, pabrik menggunakan tiga kompresor yang mendistribusikan udara melalui jaringan pipa. Agar distribusi udara sesuai dengan kebutuhan masing-masing instrumen, diperlukan tekanan catu udara yang tepat, sehingga tekanan yang diberikan tidak kurang atau lebih dari spesifikasi yang dibutuhkan oleh setiap instrumen. Udara untuk instrumen didistribusikan melalui pipa galvanis schedule 40 dengan diameter 2 inci, yang terbuat dari bahan baja karbon. Cabang-cabang catu udara kemudian menghubungkan pipa 2 inci ke pipa 1 inci schedule 40 dengan material yang sama. Untuk menjaga agar sistem tetap aman, juga dipasang *pressure safety valve* untuk mengalirkan udara berlebih.

4.6 Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah berfungsi untuk mengurangi dampak pencemaran yang ditimbulkan oleh limbah, sehingga limbah tersebut menjadi aman untuk dibuang dan memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah, sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup tentang baku mutu limbah. Di pabrik metil metakrilat, limbah yang dihasilkan berupa limbah cair dan limbah padat.

Limbah yang dihasilkan oleh pabrik metil metakrilat diantaranya:

1. Limbah padat

Limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik metil metakrilat ini bukan berasal dari proses produksi, melainkan berasal dari kantin dan kantor. Limbah seperti sisa makanan dari kantin dan kertas dari kantor tidak melalui proses pengolahan, melainkan langsung dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA).

2. Limbah cair

- Limbah cair sisa proses
- *Blow down cooling tower*
- *Backwash filter* air berminyak dari pompa dan kompresor

- Buangan air sanitasi

3. Limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun)

Berdasarkan pada jenis buangannya, pengolahan limbah yang dilakukan di pabrik metil metakrilat diantaranya:

a. Pengolahan limbah cair

- Air buangan sanitasi

Air buangan sanitasi berasal dari toilet di sekitar pabrik dan perkantoran. Air tersebut dikumpulkan dan diolah dalam unit stabilisasi dengan menggunakan lumpur aktif, aerasi dan injeksi klorin.

- Air sisa proses

Air sisa dari proses regenerasi di unit demineralisasi mengandung NaOH dan H₂SO₄, yang kemudian dinetralkan di kolam penetralan menggunakan HCl dan NaOH hingga pH-nya mencapai sekitar 6,5-7, serta mengandung O₂ minimal 3 ppm. Setelah dinetralkan, air tersebut selanjutnya dialirkan ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).

- Air berminyak dari mesin proses

Air berminyak berasal dari sisa pelumas pada pompa dan peralatan lainnya. Pemisahan dilakukan berdasarkan perbedaan berat jenisnya. Minyak yang terpisah di bagian atas dialirkan ke penampungan minyak untuk kemudian dibakar di tungku pembakar, sementara air yang terpisah di bagian bawah dialirkan ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).

b. Pengolahan limbah padat

Limbah padat berupa *sludge* yang dihasilkan dari unit pengolahan air serta kegiatan domestik (rumah tangga) akan diproses. *Sludge* dari unit pengolahan air akan dikurangi kandungan airnya sehingga bisa dimanfaatkan sebagai pupuk. Sedangkan limbah rumah tangga akan dibuang langsung ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

c. Pengolahan limbah B3

Tujuan pengelolaan B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) adalah untuk mencegah dan mengatasi pencemaran atau kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh limbah B3, serta memulihkan kualitas lingkungan yang telah tercemar agar bisa kembali berfungsi dengan baik. Pengelolaan limbah B3

meliputi serangkaian kegiatan, mulai dari penyimpanan, pengumpulan, pemanfaatan, pengangkutan, hingga pengolahan limbah B3, termasuk penimbunan hasil pengolahan tersebut.

4.7 Labolatorium

Laboratorium memiliki peranan yang sangat penting dalam mendukung kelancaran proses produksi dan memastikan mutu produk tetap terjaga. Melalui data yang diperoleh dari laboratorium, proses produksi dapat dikendalikan dengan baik, dan kualitas produk dapat dipertahankan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Selain itu, laboratorium juga berperan dalam pengendalian pencemaran lingkungan. Beberapa tugas utama laboratorium antara lain:

1. Sebagai pengawas kualitas bahan baku serta produk yang dihasilkan.
2. Sebagai pengawas proses produksi dengan melakukan analisis terhadap dampak lingkungan, termasuk polusi udara, limbah cair, dan limbah padat yang dihasilkan oleh unit produksi.
3. Sebagai pengawas kualitas air yang digunakan dalam proses, air umpan, uap, dan berbagai hal lain yang berhubungan langsung dengan proses produksi.

Dalam pelaksanaan tugasnya, labolatorium pada pabrik metil metakrilat dikelompokkan menjadi:

a. Labolatorium Penelitian dan Pengembangan

Laboratorium ini fokus pada penelitian dan pengembangan terkait masalah yang berhubungan dengan kualitas material dalam proses produksi, dengan tujuan untuk meningkatkan hasil akhir yang dihasilkan.

b. Labolatorium Fisika

Laboratorium ini melakukan pemeriksaan atau pengamatan terhadap sifat fisik bahan baku, produk, serta bahan yang digunakan dalam proses produksi.

c. Labolatorium Analitik

Laboratorium ini bertugas memeriksa bahan baku, produk, utilitas, dan limbah dengan menganalisis sifat kimiawi mereka. Beberapa analisis yang dilakukan meliputi kandungan impuritas, logam, kemurnian, dan sebagainya.

Beberapa macam analisa yang dilakukan labolatorium pada pabrik metil metakrilat diantaranya:

1. Analisa Bahan Baku

Analisis dilakukan terhadap bahan baku yang digunakan, yaitu metanol dan asam metakrilat, pada saat bahan tersebut diterima di pabrik. Hal ini memungkinkan pabrik untuk menolak bahan baku yang tidak memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan berdasarkan hasil analisis tersebut.

2. Analisa Produk Setengah Jadi dan Produk Komersial

Analisa dilakukan setiap 4 jam sekali untuk menganalisis kemurnian metil metakrilat diantaranya:

- Kandungan kemurnian metil metakrilat
- Densitas metil metakrilat

3. Analisa Utilitas

Analisa laboratorium dilakukan terhadap beberapa jenis air dan bahan, diantaranya sebagai berikut:

- Air proses penjernihan: Menganalisis pH, kadar silikat (SiO_2), kalsium (Ca) dalam bentuk CaCO_3 , kadar sulfur (SO_4^{2-}), klor (Cl_2), dan zat padat terlarut.
- Resin penukar anion: Menganalisis tingkat kesadahan dalam bentuk CaCO_3 dan silikat (SiO_2).
- Air bebas mineral: Menganalisis pH, kesadahan, kadar oksigen terlarut, dan kadar besi (Fe).
- Air dalam boiler: Menganalisis pH, zat padat terlarut, kadar besi (Fe), oksigen (O_2), kalsium karbonat (CaCO_3), dan silikat (SiO_2).
- Air minum: Menganalisis pH, kadar klor sisa, dan tingkat kekeruhan.
- Air buangan: Menganalisis pH, kekeruhan, COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), dan kandungan logam besi (Fe).

Alat alat laboratorium yang dibutuhkan untuk kebutuhan analisa pada pabrik metil metakrilat diantaranya:

- 1) pH meter digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan pada air, bahan baku, maupun produk.
- 2) *Gas chromatography* digunakan untuk menentukan komposisi serta kemurnian suatu sampel.
- 3) Spektrofotometri digunakan untuk mengukur konsentrasi suatu sampel berdasarkan serapan cahaya.

- 4) Termometer digunakan untuk mengukur suhu atau perubahan suhu suatu zat.
- 5) *Hydrometer* digunakan untuk mengukur gravitasi spesifik suatu cairan.
- 6) BOD meter digunakan untuk mengukur kadar BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dalam air.
- 7) *Turbidity meter* digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan pada air.
- 8) *Densitymeter* digunakan untuk mengukur massa jenis suatu sampel.
- 9) *Viscometer* digunakan untuk mengukur tingkat kekentalan suatu cairan.

4.8 Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup

Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup (K3LH) merupakan langkah perlindungan yang bertujuan untuk memastikan karyawan atau tenaga kerja selalu dalam keadaan aman dan sehat selama bekerja, serta melindungi orang lain yang berada di area kerja. Selain itu, aspek ini juga mencakup jaminan bahwa proses produksi dapat berlangsung dengan aman. Oleh karena itu, K3LH harus mendapatkan perhatian yang serius dan terintegrasi. Penerapan K3LH bertujuan untuk:

1. Mengelola semua risiko dan potensi bahaya yang dapat menyebabkan kecelakaan serta kerusakan.
2. Mengupayakan pencegahan terhadap terjadinya kecelakaan.
3. Mencegah kerugian yang bisa merugikan perusahaan karena kecelakaan
4. Menjaga agar tidak terjadi kerusakan pada harta dan benda (Gozan, 2011).

Pabrik Metil Metakrilat menerapkan kebijakan yang menyeluruh dalam merencanakan, melaksanakan, dan memelihara keselamatan peralatan serta karyawan, yang dikelola oleh Unit Inspeksi Proses dan Keselamatan Lingkungan. Perusahaan sangat mendukung dan berperan aktif dalam program pencegahan kerugian, baik yang terkait dengan keselamatan karyawan, perlindungan aset perusahaan, kelancaran operasi, maupun keamanan masyarakat sekitar yang dipengaruhi oleh keberadaan perusahaan. Pelaksanaan program kesehatan dan keselamatan kerja ini didasarkan pada prinsip-prinsip yang kuat dan terorganisir berlandaskan:

1. UU No. 1/1970

Mengenai keselamatan kerja karyawan, dikeluarkan oleh Departemen Tenaga Kerja

2. UU No. 2/1951

Mengenai ganti rugi akibat kecelakaan kerja, dikeluarkan oleh Departemen Tenaga Kerja.

3. PP No. 4/1982

Mengenai ketentuan pokok pengolahan lingkungan hidup, dikeluarkan oleh Menteri Negara Kelestarian Lingkungan Hidup.

4. PP No 29 / 1986

Mengenai ketentuan AMDAL. dikeluarkan oleh Menteri Negara Kelestarian Lingkungan Hidup.

Aktivitas yang dilakukan untuk menciptakan Kesehatan dan Keselamatan Kerja serta menjaga Lingkungan Hidup meliputi pengawasan terhadap keselamatan selama proses produksi, bertanggung jawab atas penyediaan alat-alat keselamatan kerja, berperan sebagai instruktur keselamatan, menyusun rencana pencegahan kecelakaan, menyusun prosedur darurat untuk penanggulangan kebakaran dan kecelakaan di proses, serta mengawasi jumlah dan kualitas limbah pabrik agar tidak membahayakan lingkungan sekitar.

Semakin baik tingkat keselamatan kerja di sebuah pabrik, semakin meningkat pula produktivitas dan kinerja karyawan. Hal ini terjadi karena keselamatan kerja yang terjamin menciptakan lingkungan kerja yang lebih nyaman dan aman. Untuk mencapainya, tanggung jawab perancangan pabrik ada di tangan para perancang yang harus memastikan hal ini. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam merancang pabrik guna menjamin keselamatan kerja antara lain:

- Penggunaan tenaga manusia dalam penanganan dan pengangkutan bahan harus diminimalkan.
- Penerangan yang memadai dan sistem ventilasi yang baik harus tersedia.
- Jarak antara mesin-mesin dan peralatan lainnya harus cukup lebar.
- Setiap area kerja harus aman, bebas dari licin, dan mudah dijangkau.
- Mesin dan peralatan harus dilengkapi dengan alat pencegah kebakaran.
- Pemasangan tanda peringatan keselamatan harus dilakukan di setiap area yang berisiko.
- Fasilitas evakuasi harus disediakan jika terjadi kebakaran.