

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES

Unit utilitas atau pendukung proses memiliki peran penting dalam menunjang kelancaran produksi di sebuah pabrik. Pada pabrik metil metakrilat yang dirancang, utilitas yang digunakan meliputi penyediaan air (air pendingin, air untuk konsumsi dan sanitasi, serta air umpan boiler), unit refrigerasi, sistem pendingin reaktor, penyediaan steam, udara tekan, listrik, bahan bakar, serta unit pengolahan limbah.

4.1. Unit Pengadaan dan Pengelola Air

4.1.1. Pengadaan Air

Unit pengadaan air berperan penting dalam menunjang proses produksi. Pada pabrik metil metakrilat di kawasan industri JIPE Gresik, kebutuhan air dipenuhi secara mandiri melalui *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO). Air baku diambil dari Laut Jawa, kemudian diolah menjadi air bersih sesuai standar industri. Air hasil olahan dialokasikan untuk pendingin, konsumsi dan sanitasi, umpan boiler, serta proses produksi. Dengan sistem SWRO mandiri, pabrik memiliki kemandirian pasokan sekaligus menjamin kualitas dan kontinuitas suplai air.

1. Air Proses

Air proses merupakan air yang berperan langsung dalam jalannya reaksi atau operasi peralatan karena kontak dengan bahan baku untuk menghasilkan produk, misalnya sebagai pelarut. Pada pabrik metil metakrilat, air proses tidak digunakan sehingga tidak perlu disuplai oleh unit utilitas. Untuk menghasilkan air proses dengan kualitas tinggi, umumnya dilakukan demineralisasi, yaitu penghilangan seluruh ion terlarut dalam air. Hasilnya disebut air demin (deionized water). Proses ini dilakukan dengan sistem penukar ion, di mana air bersih terlebih dahulu dialirkan ke Cation Exchanger berisi resin asam kuat untuk mengikat kation seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , dan Al^{3+} , lalu melepaskan ion H^+ . Selanjutnya, air masuk ke Anion Exchanger yang menukar anion seperti Cl^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , dan silika

dengan ion OH^- . Hasil keluaran hampir bebas mineral dan ditampung dalam Tangki Penyimpanan Air Demin.

2. Air Pendingin

Air dingin (*chilled water*) digunakan sebagai media pendingin pada *heat exchanger* HE-103 dan HE-105, dengan suhu masuk 1 °C dan keluar 10 °C. Kebutuhan chilled water adalah sebesar 84.628,334 kg/jam yang diperoleh melalui unit refrigerasi.

Jenis unit refrigerasi yang digunakan adalah Mechanical Compression karena memiliki rentang operasi luas (−20 hingga 40 °F), umum dipakai di industri, dan relatif ekonomis. Sistem ini menggunakan amonia cair sebagai refrigeran, dipilih karena titik didihnya rendah dan harganya murah. Unit refrigerasi berfungsi menurunkan suhu air dari 35 °C menjadi 1 °C dengan beban pendinginan 955,813 ton refrigerasi (1 ton = 12.000 Btu/jam). Komponen utama sistem ini meliputi evaporator, kompresor, kondensor, dan katup ekspansi. Adapun standar industri terhadap air pendingin yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4. 1. Syarat Mutu Air Pendingin (ASME Water Quality Standard, 2016)

Parameter	Air Pendingin	
	Circulating Water	Make Up Water
pH	6,5 – 8,2	6,0 – 8,0
Konduktivitas elektrik (mS/m)	<80	<30
Klorin (mg/l)	<200	<50
Sulfat (mg/l)	<200	<50
Alkali (mg/l)	<100	<50
Total hardness (mg/l)	<200	<70
Ca ²⁺ (mg/l)	<150	<50
Silica (mg/l)	<40	<30

Air pendingin harus memiliki sifat tidak korosif, tidak menimbulkan kerak, serta bebas dari mikroorganisme penyebab lumut. Untuk menjaga

kualitas tersebut, air pendingin perlu ditambahkan bahan kimia sebagai berikut:

- a. Trisodium fosfat, mencegah pembentukan kerak
- b. Klorin, membunuh mikroorganisme
- c. Zat dispersan, mencegah penggumpalan atau pengendapan fosfat

Kebutuhan Air pendingin pada pabrik pembuatan metil metakrilat ini disuplai untuk alat penukar panas, seperti *cooler*, jaket pendingin reaktor dan *condenser*, dimana ditunjukkan pada tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4. 2. Kebutuhan Air Pendingin

Nama alat	Kode	kg/jam
Koil Reaktor 1	-	5.017,462
<i>Heat Exchanger-01</i>	HE-01	108.604,4916
<i>Heat Exchanger-02</i>	HE-02	108.604,492
<i>Heat Exchanger-04</i>	HE-04	56.341,943
<i>Heat Exchanger-05</i>	HE-05	56.341,943
<i>Condenser MD-01</i>	CD-01	-65,013
<i>Condenser MD-02</i>	CD-02	220,451
<i>Condenser MD-03</i>	CD-03	435,155
Jumlah		335.500,923

3. Air Umpan

Boiler

Air umpan boiler (Boiler Feed Water/ BFW) merupakan air olahan dengan kualitas tinggi yang sangat penting untuk diperhatikan pengolahannya. Pada pabrik metil metakrilat, BFW diperoleh dari hasil pengolahan air laut dan dipasok oleh unit pengadaan air. Air ini kemudian dimanfaatkan pada unit pengadaan steam untuk dipanaskan hingga menjadi uap (steam), yang selanjutnya digunakan sebagai media pemanas pada reboiler dan peralatan lain di pabrik. Salah satu syarat utama BFW adalah harus bebas mineral agar tidak menimbulkan kerak pada boiler yang dapat menurunkan efisiensi dan merusak peralatan. Jumlah BFW yang disuplai selalu seimbang dengan kebutuhan steam yang diproduksi.

Beberapa hal penting yang harus diperhatikan dalam penanganan air umpan boiler antara lain:

a. Korosi

Korosi pada boiler dapat terjadi akibat adanya larutan asam, garam terlarut, padatan tersuspensi, serta gas-gas terlarut seperti O_2 , CO_2 , H_2S , dan NH_3 . Korosi dapat menimbulkan kerusakan luas pada permukaan logam dan menurunkan kinerja boiler.

b. Pembentukan kerak (*scale forming*)

Kerak timbul akibat pengendapan zat pengotor seperti garam karbonat dan silika pada permukaan perpindahan panas. Endapan ini kemudian mengeras dan dapat menyebabkan *local overheating* yang berisiko merusak peralatan.

c. Pembusaan (*foaming*)

Busa terbentuk akibat adanya zat organik atau pengendalian kimia air boiler yang kurang baik. Kondisi ini dapat mempersempit ruang pelepasan uap dan menyebabkan air serta kotoran ikut terbawa bersama uap.

Air hasil desalinasi belum dapat langsung digunakan sebagai air umpan boiler karena belum memenuhi spesifikasi. Oleh karena itu, air harus melalui proses pengolahan lanjutan, yaitu demineralisasi untuk menghilangkan kandungan mineral dan deaerasi untuk mengurangi kadar gas terlarut. Pengendalian mutu air umpan boiler sangat penting, karena kesalahan pengolahan dapat menimbulkan kerusakan serius pada sistem boiler. Menurut SNI 7268:2009, terdapat beberapa parameter utama yang harus diperhatikan dalam pengawasan kualitas air boiler, yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 3. Persyaratan Mutu Air Umpan Boiler

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 sulfit (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

Make up air umpan boiler dipilih 5% dari Total air umpan boiler yang tersuplai. Suplai air umpan boiler yang digunakan dalam pabrik metil metakrilat dijelaskan pada tabel sebagai berikut.

Tabel 4. 4. Kebutuhan Umpan Boiler

No.	Alat	Kebutuhan (kg/jam)
1.	<i>Heat Exchanger</i> -03	915,751
2.	Reboiler-01	191,428
3.	Reboiler-04	926,914
Total		1.118,342

4. Air Domestik

Air Domestik adalah air yang digunakan untuk menunjang kebutuhan sehari-hari di lingkungan pabrik, seperti perkantoran, laboratorium, rumah tangga, dan fasilitas umum bagi pegawai. Air domestik yang dipakai untuk keperluan minum, laboratorium, pertamanan, hidran, serta cadangan harus memenuhi persyaratan fisik, kimia, dan bakteriologis.

Persyaratan kualitas air konsumsi dan sanitasi mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.5–4.6.

Tabel 4. 5.Parameter Fisis dalam Standar Baku Mutu Air

No.	Parameter Wajib	Satuan	Standar Baku Mutu
1	Kekeruhan	NTU	25
2	Warna	TCU	50
3	Zat padat terlarut (<i>total dissolved solid</i>)	mg/L	1.000
4	Suhu	°C	± 30
5	Rasa	-	Tidak berasa
6	Bau	-	Tidak berbau

Tabel 4. 6. Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Air

No.	Parameter Wajib	Satuan	Standar Baku Mutu
1	pH	mg/L	6,5-8,5
2	Besi	mg/L	1
3	Fluorida	mg/L	1,5
4	Kesadahan (CaCO ₃)	mg/L	500
5	Mangan	mg/L	0,5
6	Nitrat	mg/L	10
7	Nitrit	mg/L	1
8	Sianida	mg/L	0,1
9	Detergen	mg/L	0,05
10	Pestisida total	mg/L	0,1
11	Total <i>coliform</i>	CFU/100 mL	50
12	<i>E. coli</i>	CFU/100 mL	0

Pada pabrik metil metakrilat direncanakan terdapat 25 rumah dengan masing-masing rumah dihuni oleh 4 orang, serta jumlah karyawan sebanyak 147 orang yang juga memerlukan pasokan air. Rincian kebutuhan air domestik ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7. Kebutuhan Air Domestik

No.	Unit	Kebutuhan (kg/jam)
1.	Air Konsumsi dan Sanitasi	550,029
2.	Laboratorium dan Taman	71,618
3.	Hidran dan cadangan	28,647
Total		650,294

5. Air Hydrant

Air hydrant adalah air yang dipergunakan untuk keperluan pemadaman kebakaran. Ketersediaannya sangat penting apabila terjadi kebakaran di salah satu area pabrik. Penggunaan air hydrant bersifat insidental, hanya diperlukan pada saat kondisi darurat. Sistem distribusinya menggunakan jaringan pipa hydrant yang dipasang mengelilingi area pabrik dengan penempatan strategis agar mudah diakses dari seluruh lokasi.

Berdasarkan SNI 03-1735-2000, pasokan air hydrant harus memenuhi kapasitas minimal 2400 liter/menit dengan tekanan 3,5 bar, serta mampu menyuplai air sekurang-kurangnya selama 45 menit. Secara keseluruhan, kebutuhan air di pabrik metil metakrilat berkapasitas 80.000 ton/tahun mencakup air pendingin (cooling tower), air umpan boiler, dan air domestik. Jumlah kebutuhan total ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4. 8. Jumlah kebutuhan air di pabrik metil metakrilat

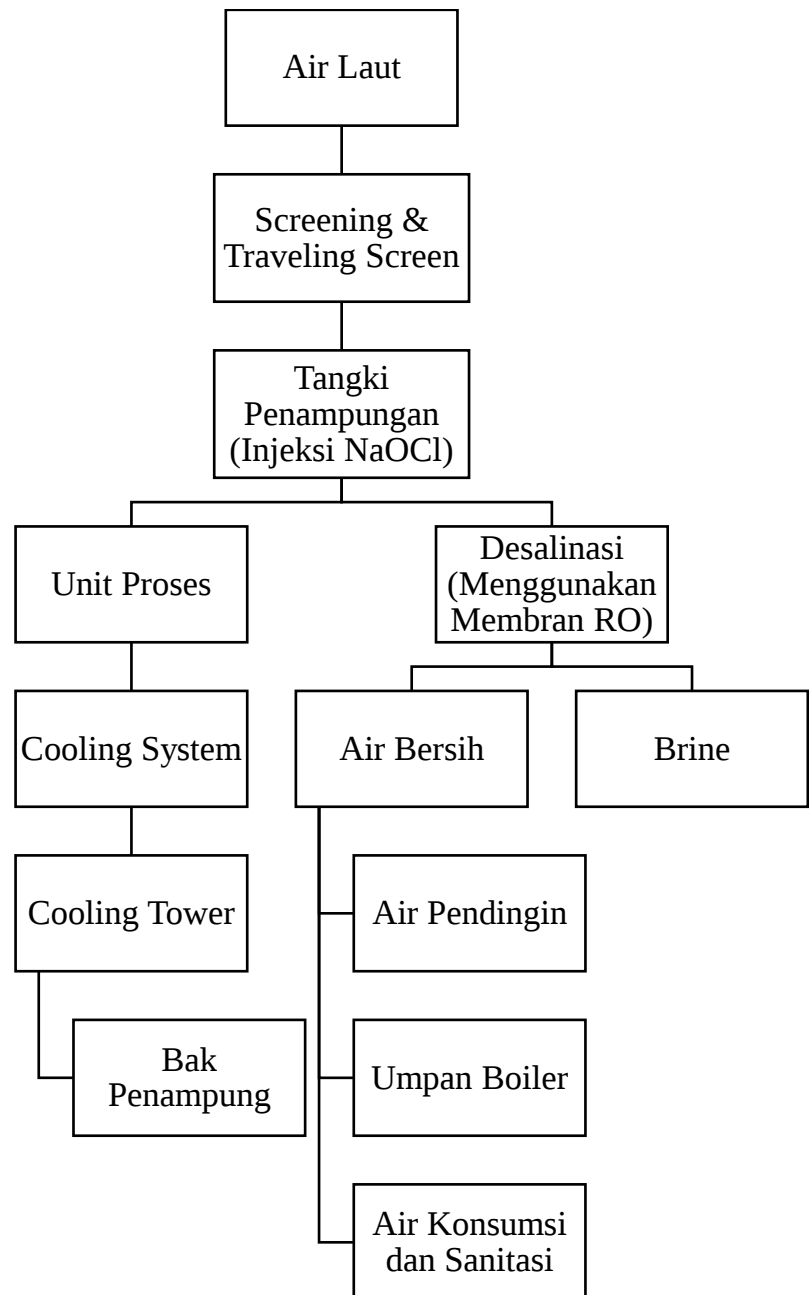
No.	Unit	Kebutuhan (kg/jam)
1.	Air pendingin	335.500,923
2.	Air umpan boiler	1.342,010
3.	Air konsumsi dan sanitasi	550,029
Total		377.392,962

4.1.2. Pengelolaan Air

Tujuan pengolahan air adalah untuk memastikan kualitas air sesuai dengan standar yang dipersyaratkan sebelum digunakan. Proses ini dapat meliputi pengolahan fisik, kimia, penambahan desinfektan, maupun penggunaan ion exchanger. Air yang digunakan dalam proses industri harus memenuhi beberapa kriteria, antara lain:

- a. Sebagai air pendingin
 - Bebas dari kotoran yang dapat menyebabkan penyumbatan pada pipa maupun peralatan.
 - Tidak mengandung mikroorganisme, zat pencemar, maupun organisme air lainnya.
- b. Sebagai air umpan boiler
 - Bebas dari kotoran yang berpotensi menyumbat aliran pada pipa dan peralatan.
 - Tidak mengandung mikroorganisme, zat pencemar, maupun organisme air lainnya.
 - Tidak mengandung zat yang dapat menimbulkan kerak.
 - Kandungan oksigen berada dalam batas yang diperbolehkan.
 - Kandungan silika sesuai dengan batas yang ditentukan.

Pengolahan air untuk kebutuhan pabrik dilakukan melalui proses fisik, kimia, penambahan desinfektan, serta penggunaan ion exchanger. Alur umum pengolahan ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1. Diagram Alir Pengolahan Utilitas Air Pabrik Metil Metakrilat

1. Unit Desalinasi

Kebutuhan air pendingin, konsumsi umum, sanitasi, dan umpan boiler dipenuhi dengan teknologi Reverse Osmosis (RO). Unit desalinasi ditempatkan di tepi pantai untuk mempermudah pengambilan air laut.

Air laut yang masuk terlebih dahulu melewati tahap penyaringan awal dan *travelling screen* untuk memisahkan padatan dan partikel kecil. Selanjutnya, air ditampung dalam bak penampungan dan diinjeksi dengan natrium hipoklorit 1,7 ppm guna mengendalikan aktivitas mikroorganisme. Sebagian air dari bak penampungan dipompa ke unit proses sebagai air pendingin menggunakan sistem terbuka (*open recirculating cooling system*). Air pendingin yang keluar dari proses dialirkan kembali ke cooling tower untuk didinginkan sebelum ditampung kembali dan digunakan ulang.

Tahapan berikutnya adalah proses desalinasi dengan RO, yang memisahkan air dari kandungan garam menggunakan membran semipermeabel. Proses berlangsung jika umpan diberi tekanan lebih tinggi dari tekanan osmosis. Dari unit RO dihasilkan air bersih dengan perbandingan produk dan brine sekitar 2:1, di mana brine dikembalikan ke laut. Air bersih selanjutnya ditampung dalam bak air bersih dan digunakan sebagai air pendingin, air umpan boiler, serta untuk kebutuhan konsumsi dan sanitasi.

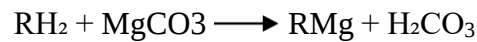
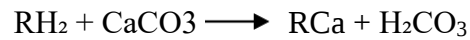
2. Unit Demineralisasi

Air tawar hasil desalinasi dibagi ke dalam dua aliran, yaitu untuk kebutuhan air minum dan sanitasi, serta untuk kebutuhan proses dan umpan boiler. Agar dapat digunakan sebagai air umpan boiler maupun air proses, kualitas air harus memenuhi syarat tertentu: tidak mengandung ion penyebab kerak, tidak mengandung zat yang bersifat korosif, bebas bakteri, serta tidak mengandung senyawa yang dapat menimbulkan pembusaan. Oleh karena itu, air baku perlu melalui tahap pengolahan lanjutan.

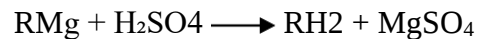
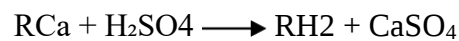
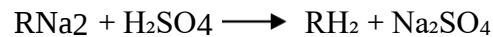
Fungsi utama demineralisasi adalah menghilangkan ion-ion terlarut dalam air, sehingga diperoleh air demineral (deionized water). Proses ini dilakukan dengan sistem penukar ion (ion exchanger) yang terdiri dari cation exchanger dan anion exchanger.

a. Cation Exchanger

Resin penukar kation berfungsi mengikat ion logam (kation) seperti K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^+ , dan Al^{3+} , sehingga ion-ion tersebut digantikan oleh ion H^+ dari resin. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.

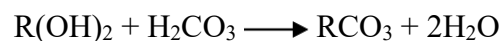
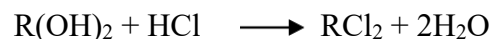
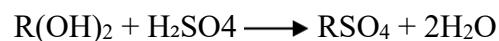


Ketika resin sudah jenuh, regenerasi dilakukan dengan larutan asam (H_2SO_4) agar resin kembali ke bentuk awal, dengan reaksi sebagai berikut.

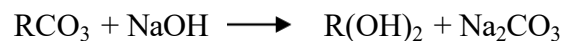
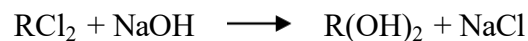


b. Anion Exchanger

Air hasil cation exchanger kemudian dialirkan ke anion exchanger untuk menghilangkan anion mineral seperti HCO_3^- , SiO_3^{2-} , Cl^- , NO_3^- , dan CO_3^{2-} . Resin anion akan menukar ion-ion tersebut dengan ion OH^- , dengan reaksi sebagai berikut.



Jika resin telah jenuh, regenerasi dilakukan dengan larutan basa ($NaOH$) agar resin dapat kembali mengikat ion OH^- .



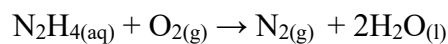
Air hasil dari kedua tahap ini memiliki pH sekitar 7–8 dan disalurkan ke tangki penyimpanan air demineralisasi. Dari sini, air didistribusikan ke unit proses maupun ke deaerator untuk diolah lebih lanjut menjadi Boiler Feed Water (BFW).

3. Unit Deaerasi

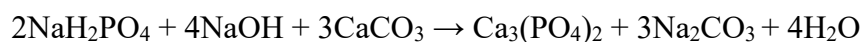
Air hasil demineralisasi selanjutnya dialirkan ke tangki deaerator dengan tujuan menghilangkan gas-gas terlarut, terutama oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2), karena keduanya dapat menimbulkan korosi pada peralatan proses maupun sistem boiler. Proses ini dilakukan dengan pemanasan menggunakan steam (stripping) sehingga sebagian besar gas terlepas ke atmosfer, kemudian dilanjutkan dengan penambahan bahan kimia untuk memastikan sisa gas benar-benar hilang.

Penghilangan oksigen dilakukan dalam dua tahap:

- 1) Mekanis; stripping menggunakan steam tekanan rendah (LS steam) mampu menurunkan kadar oksigen terlarut hingga sekitar 0,007 ppm.
- 2) Kimiawi; penambahan hidrazin (N_2H_4) untuk mengikat sisa oksigen dan mencegah korosi alat proses, melalui reaksi:



Selain itu, larutan $Ca(OH)_2$ ditambahkan untuk mengatur pH air di kisaran 8,5–9,5. Selanjutnya ditambahkan natrium fosfat (NaH_2PO_4) guna mencegah terbentuknya kerak silika maupun kalsium pada steam drum dan pipa boiler, dengan reaksi sebagai berikut.



Untuk meningkatkan keandalan sistem, air keluaran deaerator juga diberi *dispersant* agar partikel padat yang mungkin terbawa tidak menggumpal. Setelah melalui tahapan ini, air dianggap siap sebagai umpan boiler maupun air proses.

4.2. Unit Pengadaan Listrik

Kebutuhan listrik pada pabrik metil metakrilat kapasitas 80.000 ton/tahun dipenuhi dari dua sumber, yaitu pasokan PLN sebagai sumber utama dan generator arus bolak-balik (Generator Set) sebagai cadangan. Pemilihan generator arus bolak-balik didasarkan pada:

- a. Kemampuan menghasilkan daya listrik dalam jumlah besar
- b. Tegangan dapat dinaikkan atau diturunkan sesuai kebutuhan

Kebutuhan listrik di pabrik ini dapat diperkirakan sebagai berikut.

4.2.1. Listrik untuk Keperluan Proses dan Utilitas

Pabrik metil metakrilat direncanakan beroperasi selama 330 hari dalam setahun. Kebutuhan listrik pada unit proses dan utilitas dihitung dalam satuan kilowatt jam (kWh) sesuai dengan kebutuhan masing-masing peralatan proses.

Tabel 4. 9. Kebutuhan Listrik Proses dan Utilitas

Nama Alat	Jumlah	Daya (HP)	Total HP	Total kW	Total kWh 1 tahun
P-01	1	0,05	0,05	0,04	295,30
P-02	2	20,00	40,00	29,83	236.241,61
P-03	2	20,00	40,00	29,83	236.241,61
P-04	1	0,05	0,05	0,04	295,30
P-05	2	20,00	40,00	29,83	236.241,61
P-06	1	5,00	5,00	3,73	29.530,20
P-07	1	3,00	3,00	2,24	17.718,12
P-08	1	1,50	1,50	1,12	8.859,06
P-09	1	2,00	2,00	1,49	11.812,08
P-10	1	1,00	1,00	0,75	5.906,04
P-11	1	2,00	2,00	1,49	11.812,08
P-12	1	1,00	1,00	0,75	5.906,04
P-13	1	0,05	0,05	0,04	295,30
P-14	1	0,75	0,75	0,56	4.429,53
P-15	1	0,50	0,50	0,37	2.953,02
P-16	1	0,08	0,08	0,06	492,17
P-17	1	0,75	0,75	0,56	4.429,53
P-18	1	7,50	7,50	5,59	44.295,30
P-19	1	0,25	0,25	0,18	1.459,65
P-20	1	0,25	0,25	0,19	1.476,51
P-21	1	0,25	0,25	0,19	1.476,51
P-22	1	0,25	0,25	0,19	1.476,51
Jumlah			145,98	108,86	862166,58

4.2.2. Listrik untuk Penerangan

Sistem penerangan dalam gedung menggunakan lampu LED Osram Bulb 19 Watt Cool Daylight dengan output cahaya sekitar 2.300 lumen per unit. Jumlah lampu yang dipasang di dalam ruangan sebanyak 8.567 unit. Untuk penerangan luar ruangan digunakan lampu LED Osram Floodlight 80 Watt

dengan output cahaya sekitar 7.800 lumen per unit, dengan jumlah sebanyak 1.901 unit.

1) Penerangan area pabrik

Jumlah lampu = 8.567 unit

Jenis lampu = Osram LED Bulb 19 W (2.300 lumen/lampu)

Daya yang dibutuhkan = $8.567 \times 19 \text{ W}$
 $= 162.773 \text{ W} = 162,77 \text{ kW}$

2) Penerangan area kantor dan fasilitas lainnya

Jumlah lampu = 1.901 unit

Jenis lampu = Osram LED Floodlight 80 W (7.800 lumen/lampu)

Daya yang dibutuhkan = $1.901 \times 80 \text{ W}$
 $= 152.080 \text{ W} = 152,08 \text{ kW}$

4.2.3. Listrik untuk AC

Penggunaan AC ditempatkan pada beberapa area tertentu, antara lain kantor keamanan utama, laboratorium, control room, masjid, poliklinik, gedung K3, perkantoran, serta perpustakaan. Perhitungan kebutuhan listrik AC mengacu pada SNI 03-6389-2000 (Badan Standardisasi Nasional, 2000) mengenai konservasi selubung bangunan gudang, fisika bangunan, dan kenyamanan termal.

Beban AC = Luas ruangan x koefisien

Setiap 1 m^2 membutuhkan 500 Btu/jam

Luas bangunan yang memerlukan AC = $6.637,50 \text{ m}^2$

Beban AC = $6.637,50 \text{ m}^2 \times 500 \text{ Btu/jam}$
 $= 3.318.750 \text{ Btu/jam}$

$\frac{1}{2} \text{ PK} = 5.000 \text{ Btu/jam}$, maka kebutuhan PK dapat dihitung sebagai berikut :

Kebutuhan PK =
$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Beban AC}}{\text{Daya AC}} \\ &= \frac{3.318.750 \text{ Btu/jam}}{2 \times 5.000 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}} / \text{PK}} \\ &= 331,875 \text{ PK} \end{aligned}$$

1 PK = 745,7 Watt, maka kebutuhan listrik dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\text{Kebutuhan listrik} &= 331,875 \text{ PK} \times 745,7 \text{ Watt/PK} \\
&= 247.479,2 \text{ Watt} \\
&= 247,479 \text{ kW}
\end{aligned}$$

Maka, diperkirakan kebutuhan listrik untuk AC sebesar 247,479 kW

4.2.4. Listrik untuk Laboratorium dan Instrumentasi

Total luas ruangan laboratorium yang digunakan sebagai tempat analisis adalah 450 m². Mengacu pada Sawyer (2011), ruangan dengan luas 465 m² memerlukan daya listrik sebesar 50 kW. Berdasarkan pendekatan ini, kebutuhan listrik laboratorium dan instrumentasi ditetapkan sebesar 50 kW.

4.2.5. Listrik untuk Alat-alat Elektronik

Kebutuhan listrik untuk komputer diperkirakan mencakup 35 unit PC dengan daya 250 Watt per unit. Dengan demikian, total kebutuhan listrik untuk PC adalah 8.759 W atau sekitar 8,75 kW.

Secara keseluruhan, kebutuhan listrik pabrik mencapai 818,200 kW per jam. Jika dihitung untuk satu tahun operasi, total kebutuhan listrik adalah 5.499.832,588 kWh. Untuk cadangan, digunakan generator dengan efisiensi 80%, sehingga kapasitas output yang dibutuhkan sebesar 1.022,750 kW. Generator yang dipilih memiliki kapasitas 1.200 kW sebanyak 1 unit, sehingga mampu menyuplai kebutuhan daya total.

Tabel 4. 10. Total Kebutuhan Listrik Pabrik

Kebutuhan	kW	kWh/tahun
1. Listrik untuk keperluan proses dan utilitas	108,860	1572640,167
2. Listrik untuk keperluan penerangan	287,850	2463523,920
3. Listrik untuk AC	247,479	980017,583
4. Listrik untuk laboratorium dan instrumentasi	50,000	396000,000
5. Listrik untuk alat elektronik	8,750	69300,000
Total	702,939	5481481,669

Kebutuhan listrik total yang dibutuhkan 702,939 kW per jam. Total kebutuhan listrik dalam satu tahun sebesar 5,481,481,669 kWh. Generator

yang digunakan sebagai cadangan sumber listrik mempunyai efisiensi 80%, sehingga generator yang disiapkan harus mempunyai *output* :

$$\text{Output generator} = 1.022,750 \text{ kW}$$

Generator yang dipilih adalah generator dengan daya 1200 kW sebanyak 1 buah sehingga dapat menyuplai energi total sebesar 1200 kW.

Spesifikasi *generator* yang diperlukan :

Jenis : AC *generator*

Jumlah : 1 buah

Kapasitas : 1200 kW

Tegangan : 230/400 Volt

Efisiensi : 80%

Bahan bakar : HSD

4.3. Unit Pengadaan Steam

Steam digunakan sebagai media pemanas pada berbagai unit perpindahan panas di pabrik. Pada pabrik metil metakrilat dengan kapasitas produksi 80.000 ton/tahun, steam yang disediakan memiliki temperatur 300°C. Steam tersebut dipasok dari unit utilitas pabrik dalam bentuk *superheated steam*. Daftar peralatan yang memanfaatkan steam 300°C beserta kebutuhan masing-masing ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 4. 11. Kebutuhan steam 300°C

Alat	Kode	Kebutuhan (kg/jam)
Reboiler-01	RB-01	191,4278
Reboiler-04	RB-04	1396,4006
Jumlah		1587,8283

4.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar

Unit penyediaan bahan bakar berfungsi untuk memenuhi kebutuhan energi pada boiler dan generator. Bahan bakar yang digunakan pada boiler adalah Marine Fuel Oil (MFO), sedangkan generator menggunakan High Speed Diesel (HSD) yang dipasok dari Pertamina maupun distributor resminya. Pemilihan bahan bakar cair didasarkan pada pertimbangan berikut:

1. Ketersediaan bahan bakar yang mudah diperoleh di sekitar lokasi pabrik.

2. Kestabilan pasokan yang terjamin.
3. Proses penyimpanan yang relatif sederhana.

Kebutuhan bahan bakar dapat diperkirakan sebagai berikut.

a. Kebutuhan bahan bakar untuk *boiler*

$$\begin{aligned}
 \text{Jenis bahan bakar} &= \text{Marine Fuel Oil (MDO)} \\
 \text{Heating value} &= 17.196 \text{ Btu/lb} \\
 \text{Efisiensi pembakaran} &= 80\% \\
 \text{Kapasitas boiler} &= 11.883,693,15 \text{ Btu/jam} \\
 \text{Kebutuhan bahan bakar} &= \frac{\text{kapasitas boiler}}{\text{efisiensi} \times \text{heating value} \times \rho} \\
 &= 130,918 \text{ L/jam}
 \end{aligned}$$

b. Kebutuhan bahan bakar untuk *generator*

$$\begin{aligned}
 \text{Jenis bahan bakar} &= \text{High Speed Diesel (HSD)} \\
 \text{Heating value} &= 21.312 \text{ Btu/lb} \\
 \text{Efisiensi pembakaran} &= 85\% \\
 \text{Kapasitas generator} &= 1200 \text{ kW} \\
 &= 4.094.584,91 \text{ Btu/jam} \\
 \text{Kebutuhan bahan bakar} &= \frac{\text{kapasitas generator}}{\text{efisiensi} \times \text{heating value} \times \rho} \\
 &= 124,08 \text{ L/jam}
 \end{aligned}$$

4.5. Unit Pengadaan Udara Tekan

Udara tekan pada pabrik metil metakrilat dimanfaatkan untuk mengoperasikan sistem instrumentasi pneumatik. Perhitungan kebutuhan udara tekan dilakukan dengan mengacu pada jumlah control valve yang digunakan, yaitu sebanyak 60 unit. Setiap valve membutuhkan suplai udara sekitar 1,7 m³/jam. Dengan penambahan faktor keamanan sebesar 15% untuk mengantisipasi kebocoran selama distribusi, maka total kebutuhan udara tekan pabrik diperkirakan mencapai 117,3 m³/jam pada kondisi operasi 4 atm dan suhu 35 °C. Penyediaan udara tekan ini menggunakan kompresor yang dilengkapi dryer berisi silica gel, yang berfungsi untuk mengurangi kadar uap air sehingga kualitas udara tekan tetap terjaga.

Daya kompresor dihitung menggunakan persamaan Branen (2002) dengan eksponen adiabatik $K=1,19$, tekanan hisap 1 atm, kapasitas 69,040 ft³/menit, rasio kompresi 4, dan efisiensi 80%, sehingga diperoleh daya sebesar 15 HP. Kompresor yang digunakan adalah tipe single stage reciprocating dengan kapasitas 156,4 m³/jam, tekanan hisap 1 atm, tekanan buang 4 atm, suhu udara 35°C, dan efisiensi 80%.

Kebutuhan udara tekan pabrik selama satu tahun adalah 929.016 m³, sehingga kebutuhan spesifiknya sebesar 6,0214 m³ udara per ton metil metakrilat.

4.6. Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah bertujuan untuk menurunkan tingkat pencemaran sehingga limbah menjadi aman untuk dibuang, sekaligus memenuhi standar baku mutu limbah yang ditetapkan pemerintah sesuai Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. Limbah yang dihasilkan pabrik metil metakrilat terdiri dari limbah cair dan limbah padat, dan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun).

1. Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan berupa:

a) Limbah Proses

Limbah cair dari proses, terutama air yang keluar dari bagian bawah Menara Distilasi (MD-02), ditampung terlebih dahulu di bak penampung sebelum dialirkan ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk pengolahan lebih lanjut.

b) Limbah Pencucian Peralatan

Limbah cair hasil pencucian peralatan pabrik mengandung kerak dan kotoran yang menempel pada permukaan peralatan, sehingga dikumpulkan dan diolah melalui IPAL agar aman untuk dibuang.

c) Limbah Domestik dan Kantor

Air buangan dari kamar mandi, sisa makanan, dan limbah cair maupun padat dari kantin dikumpulkan dan diolah menggunakan lumpur aktif serta desinfektan Na-hipoklorit di unit sanitasi, kemudian dialirkan ke IPAL sesuai standar lingkungan.

d) *Oily Water* dari Mesin Proses

Oily water yang berasal dari buangan pelumas pompa dan alat proses dipisahkan berdasarkan berat jenis; minyak dialirkan ke penampungan minyak dan kemudian dibakar di tungku, sedangkan air bagian bawah dialirkan ke IPAL untuk pengolahan lebih lanjut.

e) Air Sisa Proses

Air regenerasi dari unit demineralisasi yang mengandung NaOH dan H₂SO₄ dinetralkan dengan HCl dan NaOH hingga mencapai pH 6,5–7 dan kandungan O₂ minimal 3 ppm, lalu dialirkan ke IPAL agar aman bagi lingkungan.

f) Limbah Laboratorium (B3)

Limbah laboratorium yang mengandung bahan kimia digunakan untuk analisis kualitas bahan baku, produk, dan penelitian proses termasuk kategori limbah B3, sehingga dikirim ke PT. Prasadha Pamunah Limbah Industri (PT. PPLI) di Sidoarjo untuk pengolahan profesional. Pemilihan PT. PPLI didasarkan pada jaraknya yang relatif dekat, layanan pengangkutan dan pengolahan limbah B3 yang lengkap, serta kepatuhan terhadap regulasi pemerintah.

2. Limbah Padat

Pengelolaan limbah padat di pabrik metil metakrilat mengacu pada SNI 19-2454-2002 tentang tata cara teknik operasional pengelolaan sampah. Limbah padat yang dihasilkan berasal dari unit pengolahan air (*sludge*) dan kegiatan domestik, seperti sisa makanan dan sampah kantor. *Sludge* dari unit pengolahan air terlebih dahulu dikurangi kadar airnya sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk, sedangkan limbah rumah tangga dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

a. Pewadahan Sampah

Sampah dikumpulkan sesuai dengan jenisnya: sampah anorganik seperti gelas, plastik, dan logam diberi wadah berwarna terang; sampah organik seperti sisa makanan, kulit buah, dan daun diberi wadah berwarna gelap;

sedangkan limbah B3 diberi wadah berwarna merah dengan lambang khusus.

b. Kriteria Lokasi dan Penempatan Wadah

Wadah individual ditempatkan di halaman depan dan belakang sumber sampah, sedangkan wadah komunal ditempatkan dekat sumber sampah, tidak mengganggu trotoar, jalan, atau fasilitas umum lainnya.

c. Pengumpulan Sampah

Pengumpulan dilakukan 1–2 hari sekali atau maksimal tiga hari, menyesuaikan komposisi sampah. Semakin besar proporsi sampah organik, pengambilan sampah kering dapat dilakukan lebih dari tiga hari sekali. Sampah B3 dikumpulkan sesuai ketentuan yang berlaku, dengan petugas tetap, lokasi pelayanan yang pasti, dan jadwal periodik agar distribusi pekerjaan merata.

d. Peralatan Pengangkut Sampah

Peralatan pengangkut sampah harus memiliki penutup, minimal berupa jaring, dengan tinggi bak maksimum 1,6 meter. Kapasitas bak disesuaikan dengan kelas jalan yang dilalui, dan bak truk atau kontainer sebaiknya dilengkapi sistem pengelolaan air limbah.

e. Teknik Pengolahan Sampah

Pengolahan dilakukan melalui pengomposan secara alami, biologis menggunakan cacing, atau dengan organisme tambahan. Daur ulang dilakukan sesuai jenis sampah, baik organik maupun anorganik. Volume sampah dapat dikurangi melalui pencacahan, biogasifikasi, atau pemanfaatan energi dari hasil pengolahan sampah.

f. Pemilihan Lokasi TPA

Pembuangan akhir dilakukan dengan metode penimbunan terkendali yang mencakup pengolahan lindi dan gas. Untuk daerah pasang surut, sistem penimbunan dilakukan dengan kolam anaerob, fakultatif, dan maturasi untuk mengelola limbah secara efektif dan aman bagi lingkungan.

3. Limbah B3

Pengelolaan limbah B3 pabrik metil metakrilat bertujuan untuk mencegah pencemaran dan kerusakan lingkungan serta memulihkan kualitas lingkungan yang telah tercemar. Pengelolaan limbah B3 mencakup penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan, dan penimbunan limbah.

Tahapan pengelolaan limbah B3 meliputi:

- 1) Reduksi limbah, dilakukan dengan optimasi penyimpanan bahan baku, housekeeping, substitusi bahan berbahaya, modifikasi proses, atau metode reduksi lainnya.
- 2) Pengemasan, diberi simbol atau pelabelan sesuai karakteristik limbah B3 mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 14/2013.
- 3) Penyimpanan, dilakukan di lokasi sesuai ketentuan Peraturan Pemerintah Nomor VI/2014.
- 4) Pengumpulan, mengikuti ketentuan Peraturan Pemerintah Nomor 101/2014 yang mengatur karakteristik limbah, fasilitas laboratorium, perlengkapan penanggulangan kecelakaan, dan lokasi.
- 5) Pengangkutan, dilakukan dengan dokumen resmi dan sesuai ketentuan teknis.
- 6) Pemanfaatan, dapat berupa daur ulang (recycle), perolehan kembali (recovery), penggunaan ulang (reuse), atau bentuk pemanfaatan lainnya.
- 7) Pengolahan, dapat menggunakan metode thermal, stabilisasi, solidifikasi fisika, kimia, atau biologi dengan teknologi ramah lingkungan.
- 8) Penimbunan, dilakukan sesuai persyaratan Peraturan Pemerintah Nomor 101/2014.

Limbah laboratorium, yang mengandung bahan kimia untuk analisis kualitas bahan baku, produk, dan penelitian proses, termasuk kategori limbah B3. Karena pengelolaan limbah B3 memerlukan izin khusus dari Kementerian Lingkungan Hidup, limbah laboratorium ini dikirim ke pihak ketiga berizin, yaitu PT. Prasadha Pamunah Limbah Industri (PT. PPLI) di Sidoarjo. Pemilihan PT. PPLI didasarkan pada jaraknya yang relatif dekat dari pabrik, kemampuan

menyediakan layanan pengangkutan dan pengolahan limbah B3 secara lengkap, serta kepatuhan terhadap regulasi pemerintah. Dengan cara ini, limbah laboratorium dapat dikelola secara profesional dan aman bagi lingkungan.

4.7. Laboratorium

Laboratorium merupakan bagian penting dalam pabrik metil metakrilat karena berperan dalam menjaga kelancaran proses produksi dan memastikan mutu produk sesuai spesifikasi. Dengan data yang diperoleh dari laboratorium, proses produksi dapat dikendalikan dan kualitas produk terjaga, sekaligus membantu pengendalian pencemaran lingkungan melalui pemantauan polusi udara, limbah cair, dan limbah padat. Laboratorium juga mengawasi mutu air proses, air umpan, steam, dan utilitas lainnya yang berkaitan langsung dengan proses produksi.

Laboratorium dibagi menjadi tiga unit utama:

- 1) Laboratorium Fisika, yang mengamati sifat fisik bahan baku, produk, dan bahan penunjang proses.
- 2) Laboratorium Analitik, yang menganalisis sifat kimia bahan baku, produk, utilitas, dan limbah, termasuk impuritas, kandungan logam, dan kemurnian.
- 3) Laboratorium Penelitian dan Pengembangan, yang melakukan penelitian untuk meningkatkan kualitas material dan efisiensi proses produksi.

4.7.1. Program Laboratorium

Untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas, program laboratorium di pabrik ini dibagi menjadi beberapa sistem kerja yang menyesuaikan dengan kebutuhan operasional:

- 1) Sistem Shift (Monitoring Produksi dan Analisis Rutin)
 - Shift utama bertugas memantau proses produksi secara rutin, memastikan kualitas bahan baku, produk intermediate, dan produk akhir sesuai spesifikasi.
 - Setiap shift bekerja selama 8–12 jam dengan sistem bergilir sehingga laboratorium tetap beroperasi 24 jam sehari.
 - Shift ini juga melakukan analisis rutin terhadap utilitas yang berpengaruh pada proses produksi, seperti air proses, air boiler, steam, dan limbah cair.

2) Sistem Non-Shift (Analisis Khusus dan Dukungan R&D)

- Non-shift bertugas melakukan analisis khusus yang tidak rutin, penelitian proses, dan pengembangan produk baru.
- Kelompok ini menyediakan reagen kimia, kalibrasi alat, dan dukungan teknis untuk tim shift.
- Selain itu, non-shift melakukan analisis bahan buangan atau limbah yang berpotensi menimbulkan polusi, sehingga mendukung program pengendalian lingkungan.
- Tim non-shift dapat bekerja secara on-demand, mengambil sampel langsung dari unit produksi untuk analisis kritis.

3) Sistem Hybrid (*Preventive, Predictive, dan Compliance*)

- Program *preventive & predictive* dilakukan untuk memantau tren kualitas bahan baku, produk, dan proses, sehingga potensi masalah dapat dideteksi lebih awal.
- Program *compliance & lingkungan* fokus pada pengawasan limbah cair, limbah padat, dan emisi udara agar standar lingkungan terpenuhi.
- Beberapa analisis rutin dapat dilakukan secara otomatis melalui sistem monitoring online, sehingga tim shift dapat lebih fokus pada analisis kritis dan non-rutin

4.7.2. Analisis Bahan Baku dan Produk

Beberapa macam analisis yang dilakukan laboratorium terdeskripsi pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12. Analisis Laboratorium

No.	Sampel	Titik Pengambilan	Parameter yang Diuji	Metode Analisis	Alat	Frekuensi
1.	Asam Metakrilat	Arus 2	Kemurnian	ASTM D3126-18	<i>Gas chromatography</i>	2 jam sekali
			Densitas	ASTM 167-73	<i>Densitymeter</i>	2 jam sekali

2.	Metanol	Arus 1	Kandungan air	ASTM D 1687-92	Spektrofotometer	2 jam sekali
3.	Asam Sulfat	Arus 3	Kandungan air	ASTM D 6304	<i>Water content analyzer</i>	24 jam sekali
4.	Metil Metakrilat	Arus 11	Kemurnian	ASTM D3126-18	<i>Gas chromatography</i>	2 jam sekali
			Densitas	ASTM 167-73	<i>Densitymeter</i>	2 jam sekali
5.	Gliserin	MP-04	Kemurnian	ASTM D6584	<i>Gas chromatograph</i>	2 jam sekali
			Kandungan air	ASTM D6304	<i>Water Content Analyzer</i>	2 jam sekali
			Densitas	ASTM D4052	<i>Densitymeter</i>	2 jam sekali
6.	Boiler Feed Water	Utilitas	pH	ASTM D 1293	pH meter	24 jam sekali
			Konduktivitas	ASTM D 1125	Konduktometer	24 jam sekali
			TDS	ASTM D 5907	TDS meter	24 jam sekali
			<i>Alkalinity</i>	ASTM D 1067	Spektrofotometer	24 jam sekali
			Silika	ASTM D 8016	Spektrofotometer	24 jam sekali
			Besi	ASTM D 1068	Spektrofotometer	24 jam sekali
			Fosfat	ASTM D 1091	Spektrofotometer	24 jam sekali
			Sulfit	ASTM D 1339	Spektrofotometer	24 jam sekali

4.8. Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup

Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup (K3LH) merupakan upaya perlindungan agar karyawan atau tenaga kerja tetap selamat dan sehat selama

melaksanakan pekerjaan di tempat kerja, termasuk pihak lain yang memasuki area kerja, serta agar proses produksi berlangsung dengan aman. Oleh karena itu, aspek ini perlu mendapat perhatian serius dan diterapkan secara menyeluruh.

Baik pengusaha, pekerja, dan pihak Depnakertrans perlu menyadari pentingnya peningkatan performa K3 di seluruh organisasi di Indonesia, karena standar K3 di Indonesia masih rendah dan tingkat kecelakaan kerja termasuk tertinggi di Asia Tenggara. Fokus perhatian pada keselamatan dan kesehatan kerja bertujuan untuk:

- a. Mengendalikan semua risiko dan potensi kecelakaan yang dapat menyebabkan cedera dan kerusakan
- b. Mencegah terjadinya kecelakaan
- c. Menghindari kerugian material
- d. Melindungi kepentingan perusahaan

Perusahaan memiliki kebijakan untuk selalu memperhatikan dan menjamin penerapan peraturan keselamatan, kesehatan, dan lingkungan, yang mencakup:

- a. Peningkatan secara berkelanjutan
- b. Mematuhi aturan dan perundangan keselamatan dan kesehatan yang berlaku
- c. Menginformasikan kepada seluruh karyawan agar sadar dan waspada terhadap kewajiban keselamatan serta kesehatan pribadi
- d. Menjadi transparan bagi pihak terkait dan melakukan evaluasi berkala agar tetap relevan dan sesuai kondisi perusahaan

Pabrik Metil Metakrilat menerapkan kebijakan K3LH dalam aspek perencanaan, pelaksanaan, dan pemeliharaan keselamatan instalasi, peralatan, dan karyawan di bawah Unit Inspeksi Proses dan Keselamatan Lingkungan. Manajemen perusahaan memberikan dukungan penuh serta berpartisipasi dalam program pencegahan kerugian, baik terhadap karyawan, aset perusahaan, kelancaran operasional, maupun keamanan masyarakat sekitar. Pelaksanaan K3LH mengacu pada:

1. UU No. 1/1970, mengenai keselamatan kerja karyawan, dikeluarkan oleh Departemen Tenaga Kerja

2. UU No. 2/1951, mengenai kompensasi akibat kecelakaan kerja, dikeluarkan oleh Departemen Tenaga Kerja
3. PP No. 4/1982, mengenai ketentuan pokok pengelolaan lingkungan hidup, dikeluarkan oleh Menteri Negara Kelestarian Lingkungan Hidup
4. PP No. 29/1986, mengenai ketentuan AMDAL, dikeluarkan oleh Menteri Negara Kelestarian Lingkungan Hidup

Kegiatan yang dilakukan untuk menjamin K3LH antara lain: mengawasi keselamatan jalannya produksi, bertanggung jawab terhadap alat keselamatan kerja, bertindak sebagai instruktur *safety*, menyusun rencana pencegahan kecelakaan, membuat prosedur darurat penanggulangan kebakaran dan kecelakaan proses, serta mengawasi kuantitas dan kualitas limbah pabrik agar tidak membahayakan lingkungan.

Semakin tinggi tingkat keselamatan kerja di pabrik, semakin meningkat pula produktivitas karyawan. Hal ini disebabkan oleh rasa aman dalam bekerja dan terciptanya suasana kerja yang nyaman. Tanggung jawab perancang pabrik adalah merencanakan langkah-langkah untuk menjamin keselamatan kerja, dengan mempertimbangkan hal-hal berikut:

- Penanganan dan pengangkutan bahan oleh manusia seminimal mungkin
- Penerangan yang memadai dan sistem sirkulasi udara yang baik
- Jarak antar mesin dan peralatan cukup luas
- Area gerak aman dan tidak licin
- Mesin dan peralatan dilengkapi alat pencegah kebakaran
- Pemasangan tanda peringatan di tempat berbahaya
- Penyediaan jalur evakuasi jika terjadi kebakaran