

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES

Unit pendukung proses atau utilitas adalah suatu bagian yang penting untuk menunjang keberlangsungan pada suatu proses produksi dalam suatu pabrik. Unit utilitas yang terdapat pada pabrik monoethanolamine (MEA) meliputi :

4.1 Unit Pengolahan Air

4.1.1 Pengadaan Air

1. Air Pendingin

Unit air pendingin memiliki fungsi utama sebagai media untuk menyerap dan memindahkan panas dari peralatan seperti heat exchanger, reaktor, dan kondensor. Sistem yang diterapkan adalah sistem sekali pakai (*once-through*), di mana setelah digunakan, air langsung dikembalikan ke lingkungan. Air pendingin harus memenuhi kriteria tertentu, yaitu tidak bersifat korosif, tidak menyebabkan pembentukan kerak, serta bebas dari mikroorganisme yang dapat memicu pertumbuhan lumut. Kehilangan air selama proses perlu diimbangi dengan penambahan *make up water*. Beberapa parameter penting yang harus diperhatikan dalam pengolahan air pendingin meliputi:

- a. Konduktivitas (mengindikasikan jumlah dissolve mineral dalam air)
- b. Ph (mengindikasikan tingkat keasaman atau kebebasan air)
- c. Alkalinitas (berupa ion karbonat dan ion bikarbonat)
- d. Hardness atau kesadahan (menunjukkan jumlah ion kalsium dan magnesium yang ada dalam air)

Persyaratan air sebagai *cooling water* yaitu :

Tabel 4.1 Syarat Air Pendingin (ASME Water Quality Standard, 1994).

Parameter	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 (Cfu/ml)	< 200	< 50
Alkali (mg/l)	< 100	< 50
Total Hardness (mg/l)	< 200	< 70

Silica (mg/l)	< 150	< 50
Ca ²⁺ (mg/l)	< 40	< 30

Kebutuhan Air Pendingin

Tabel 4.2 Kebutuhan Air untuk Pendingin

No.	Kode	Nama Alat	Kebutuhan Air (kg/jam)
1.	E – 313	Kondensor	641.132,390
2.	E – 325	Kondensor	6.503,570
3.	E – 333	Kondensor	37.950,994
4.	E – 342	Kondensor	81.515,730
5.	E – 336	Heat Exchanger	12.643
6.	E – 345	Heat Exchanger	2.614
7.	E – 3410	Heat Exchanger	4.491
8.	R – 210	Reaktor	543.557,799
TOTAL			1.330.408,098

Total kebutuhan air pendingin = 1.330.408,098 kg/jam

Sebagai factor keamanan 20%, maka jumlah kebutuhan air pendingin :

Jumlah kebutuhan air pendingin = 120% x total kebutuhan air pendingin

$$= 120\% \times 1.330.408,098 \text{ kg/jam}$$

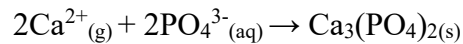
$$= 1.596.489,72 \text{ kg/jam}$$

2. Air Umpan Boiler

Air umpan boiler atau *Boiler Feed Water* (BFW) adalah air yang digunakan dalam proses pembangkitan uap (steam) pada unit boiler. Pada pabrik Monoethanolamine (MEA), jenis boiler yang digunakan dirancang untuk menghasilkan uap bertekanan rendah (*Low Pressure Steam*). Dalam pengelolaan air umpan boiler, terdapat beberapa aspek penting yang harus diperhatikan, antara lain:

- **Zat-zat yang dapat menyebabkan korosi**, hal ini disebabkan oleh adanya kandungan larutan asam dan gas-gas terlarut dalam air, seperti O₂, CO₂, H₂S, dan NH₃. Oleh karena itu, oksigen perlu dihilangkan dari air. Proses penghilangan oksigen ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu melalui proses deaerasi dan penambahan senyawa Hidrazin.

- **Zat yang menyebabkan kerak (*scale forming*)**, masalah ini muncul akibat adanya kesadahan dan suhu tinggi, yang umumnya disebabkan oleh keberadaan garam-garam karbonat dan silikat. Dampak dari kondisi ini meliputi penurunan efisiensi perpindahan panas, peningkatan *pressure drop*, serta terjadinya penyumbatan pada pipa-pipa berdiameter kecil. Untuk mengatasi pembentukan kerak akibat sisa kesadahan, ditambahkan senyawa fosfat. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



- **Zat yang menyebabkan *foaming***, air hasil proses pemanasan umumnya dapat menimbulkan *foaming* pada *boiler*, yang disebabkan oleh kandungan zat organik, anorganik, serta partikel tak larut dalam jumlah besar. Gejala *foaming* ini biasanya muncul akibat tingginya kadar alkalinitas dalam air. Syarat air pendingin berdasarkan (*Boiler Feed Water Characteristics as per IS : 10392-1982*) adalah seperti berikut :

Tabel 4.3 Syarat air umpan boiler

Parameter	Satuan	Pengendalian Batas
Total Hardness	<i>Ppm as CaO</i>	< 0,5
pH	<i>Unit</i>	8,9 – 9,5
<i>Dissolved Oxygen</i>	<i>Ppm</i>	0,01
Silika	<i>Ppm as SiO₂</i>	0,5

Kebutuhan Air Umpan Boiler

Tabel 4.4 Kebutuhan Air Umpan

No.	Kode	Nama Alat	Kebutuhan Air Umpan (kg/jam)
1.	E – 211	Heat Exchanger	4.173,93
2.	E – 312	Heat Exchanger	5.825,94
3.	E – 323	Heat Exchanger	445,97
4.	E – 338	Reboiler MD 01	4.109,97
5.	E - 347	Reboiler MD 02	12.447,57
TOTAL			27.003,40

Jumlah kebutuhan steam yang digunakan untuk proses adalah 27.003,40 kg/jam. Diperkirakan steam yang hilang 10% karena adanya steam trap dan 2% karena blowdown.

$$\begin{aligned}\text{Steam trap 10\%} &= 10\% \times 27.003,40 \text{ kg/jam} \\ &= 2.700,34 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Blowdown 2\%} &= 2\% \times 27.003,40 \text{ kg/jam} \\ &= 540,06 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

Sehingga total kebutuhan air pendingin pada pabrik ini adalah :

$$\begin{aligned}\text{Saat start-up} &= \text{kebutuhan BFW} + \text{steam trap} \\ &= 27.003,40 \text{ kg/jam} + 2.700,34 \text{ kg/jam} \\ &= 715.983 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Untuk make up steam} &= \text{trap} + \text{blowdown} \\ &= 2.700,34 \text{ kg/jam} + 540,06 \text{ kg/jam} \\ &= 78.107 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

3. Kebutuhan Air Sanitasi

Air sanitasi dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti air minum, laboratorium, perkantoran, serta kebutuhan sanitasi lainnya. Mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 mengenai Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk keperluan sanitasi, terdapat beberapa kriteria standar mutu air sanitasi, yaitu:

- Parameter Fisik

Tabel 4. 5 Parameter Fisik dalam Standar Baku Mutu untuk Air Sanitasi (PERMENKES Republik Indonesia No. 32 Tahun 2017).

No.	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
1.	Kekeruhan	NTU	25
2.	Warna	TCU	50
3.	Zat padat terlarut (TDS)	mg/l	1000
4.	Suhu	°C	Suhu udara $\pm$ 3
5.	Rasa		Tidak berasa
6.	Bau		Tidak berbau

- Parameter Biologi

Tabel 4.6 Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu untuk Air Sanitasi (PERMENKES Republik Indonesia No. 32 Tahun 2017).

No.	Parameter	Unit	Standar Baku Mutu
	Wajib		(kadar maksimum)
1.	Total coliform	CFU/ 100 ml	50
2.	E. coli	CFU/ 200 ml	0

- Parameter Kimia

Tabel 4.7 Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu untuk Air Sanitasi (PERMENKES Republik Indonesia No. 32 Tahun 2017).

No.	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu
			(kadar maksimum)
1.	pH		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

Kebutuhan Air Sanitasi

Kebutuhan air sanitasi terdiri dari 3 macam yaitu air untuk karyawan, laboratorium, pemeliharaan taman, kebakaran, dan cadangan air.

a. Air untuk karyawan

Persyaratan air bersih bagi kebutuhan karyawan mengacu pada Keputusan Menteri Kesehatan No. 1405 Tahun 2002, yang menyatakan bahwa setiap orang harus mendapatkan pasokan air bersih dengan kapasitas minimal 120 liter per hari per orang. Standar ini ditetapkan untuk memastikan kebutuhan dasar air bersih guna keperluan konsumsi, kebersihan pribadi, dan sanitasi lingkungan kerja terpenuhi

secara layak dan higienis. Sehingga untuk 191 orang karyawan, membutuhkan air sanitasi sebanyak :

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan air} &= \frac{120 \text{ l}}{24 \text{ jam.orang}} \times \text{jumlah karyawan} \times \frac{\text{jam kerja}}{24 \text{ jam}} \\ &= \frac{120 \text{ l}}{24 \text{ jam.orang}} \times 191 \text{ orang} \times \frac{8 \text{ jam}}{24 \text{ jam}} \\ &= 318,33 \text{ L/jam} \\ &= 316,94 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Air untuk laboratorium dan taman

Air yang dibutuhkan untuk laboratorium dan taman adalah berkisar 20% dari kebutuhan karyawan. Berikut perhitungan air untuk laboratorium dan taman :

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan air} &= 20\% \times \text{kebutuhan air karyawan} \\ &= 20\% \times 316,94 \text{ kg/jam} \\ &= 63,38 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

c. Air untuk *hydrant* dan cadangan air

Kebutuhan akan air *hydrant* sangat penting untuk mendukung kegiatan pemadaman api apabila sewaktu-waktu terjadi kebakaran di area pabrik. Umumnya, air yang digunakan untuk keperluan ini tidak memiliki syarat khusus. Volume air yang dibutuhkan untuk sistem hydrant dan persediaan cadangan ditetapkan sebesar 140% dari total kebutuhan air sanitasi, yang mencakup kebutuhan karyawan, laboratorium, serta area taman. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Kebutuhan sanitasi} = 316,948 \text{ kg/jam} + 63,390 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Kebutuhan sanitasi} = 380,337 \text{ kg/jam}$$

Maka, kebutuhan air untuk kebakaran dan cadangan air :

$$\text{Kebutuhan air} = 140\% \times \text{kebutuhan sanitasi}$$

$$\text{Kebutuhan air} = 140\% \times 380,33 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Kebutuhan air} = 532,47 \text{ kg/jam}$$

Total Kebutuhan Air

a. Total kebutuhan air yang digunakan saat start-up

$$\text{Start-up} = (\text{air pendingin} + \text{air umpan boiler} + \text{air sanitasi})$$

$$\text{Start-up} = 1.596.489,72 + 29.703,74 + 469,08 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Start-up} = 1.626.662,54 \text{ kg/jam}$$

Start-up = 39.039,9 m³/hari

b. Total kebutuhan air yang digunakan saat normal operasi

Normal = (make up air pendingin + make up BFW + air sanitasi)

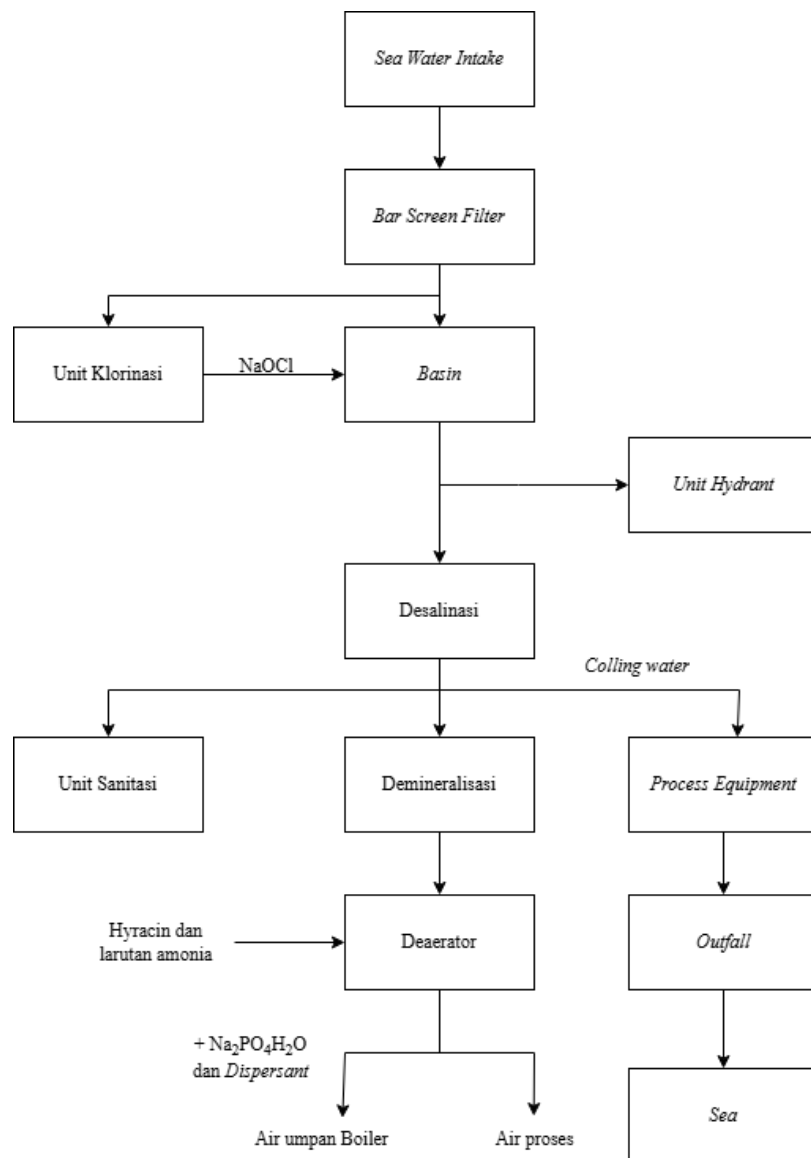
= 1.596.489,72 + 3.240,41 + 469,08 kg/jam

= 1.600.199,21 kg/jam

= 38.404,78 m³/hari

4.1.2 Pengolahan Air

Jika air yang digunakan berasal dari laut, maka proses yang diterapkan adalah desalinasi air laut. Secara umum, tahapan pengolahan air ini terdiri dari beberapa proses bertingkat. Pada **Gambar 4.1** menggambarkan diagram alir yang menjelaskan tahapan-tahapan dalam pengolahan air laut.



Gambar 4.1 Pengolahan Air Laut (Veera, 2018).

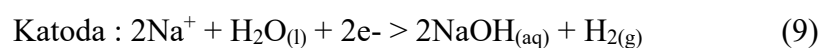
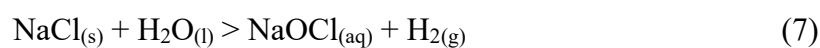
1. Proses Sea Water Intake dan Screening

Air laut diambil dari sumber (biasanya pantai atau laut terbuka) menggunakan pipa atau pompa. Kemudian air laut dialirkan melalui saringan berupa *trash rack* untuk menghilangkan kotoran berukuran besar seperti sampah dan hewan laut. Selanjutnya, air disaring lagi menggunakan *rotary screen* yang dirancang untuk menangkap partikel-partikel yang lebih kecil. Setelah melewati proses penyaringan, air laut memasuki bagian *Sea Water Intake*, di mana natrium hipoklorit disuntikkan untuk membasmi mikroorganisme yang berpotensi tumbuh di dalam penukar panas dan dapat menyebabkan penyumbatan pada sistem pendingin (*cooling water*). Air yang telah disterilkan ini kemudian dipompa menuju bak penampung (*basin*). Dari bak ini, air laut dialirkan ke beberapa unit lanjutan, yaitu unit klorinasi, unit hydrant, dan unit desalinasi.

2. Unit Chlorinasi

Unit klorinasi berperan dalam menghasilkan larutan natrium hipoklorit (NaOCl) dengan konsentrasi antara 1.000 hingga 1.500 ppm melalui proses elektrolisis air laut. Larutan NaOCl ini digunakan sebagai disinfektan untuk mencegah atau menekan pertumbuhan ganggang dan mikroorganisme lainnya yang berpotensi menimbulkan kerak (*scaling*) atau pembentukan karang. Hal ini penting untuk mencegah penyumbatan pipa dan menjaga kelancaran proses perpindahan panas pada peralatan penukar panas.

Air laut yang dialirkan dari unit *sea water intake* terlebih dahulu disaring menggunakan *strainer* untuk memisahkan padatan tersuspensi (*suspended solid*) yang terkandung di dalamnya. Penyaringan ini penting karena partikel tersuspensi tersebut dapat menempel pada elektroda-elektroda di dalam sel elektrolit, yang dapat mengganggu proses elektrolisis. Proses elektrolisis sendiri berlangsung di dalam *cell bank* yang berisi elektroda, yaitu anoda dan katoda. Pada permukaan anoda akan terbentuk gas klorin, sementara pada katoda akan dihasilkan *caustic soda* (natrium hidroksida). Kedua zat ini kemudian bereaksi di ruang antar elektroda dan membentuk larutan natrium hipoklorit. Reaksi kimia yang terjadi dalam proses klorinasi dijelaskan sebagai berikut:



Larutan natrium hipoklorit (NaOCl) yang dihasilkan kemudian disimpan dalam tangki penyimpanan (*storage tank*). Dari tangki ini, larutan NaOCl disuntikkan secara terus-menerus ke sistem *sea water intake* dengan konsentrasi sebesar 1 ppm. Selain itu, dilakukan juga *shock dosing* atau injeksi dengan dosis tinggi secara periodik, yaitu dengan konsentrasi mencapai 10 ppm.

3. Unit Hydrant

Air *hydrant* tidak memerlukan spesifikasi yang rumit, sehingga proses penyediaannya cukup sederhana. Air laut dari *basin* langsung dipompa menuju tangki penyimpanan khusus untuk air *hydrant*, lalu dialirkan melalui jaringan pipa hydrant yang tersebar di seluruh area pabrik. Instalasi pipa ini terutama difokuskan di titik-titik strategis di dalam kawasan pabrik, dengan tujuan utama memastikan kemudahan akses ke semua area saat dibutuhkan.

Menurut SNI 03-1735-2000, tangki penyimpanan air untuk sistem *hydrant* harus memiliki kapasitas efektif yang mampu menyediakan air dengan laju aliran 1.620 liter per menit selama kurang dari 30 menit.

Maka volume minimum tangki penyimpanan adalah :

$$V = Q \times t$$

$$= 1620 \text{ L/menit} \times 30 \text{ menit} = 486.000 \text{ liter}$$

4. Unit Desalinasi

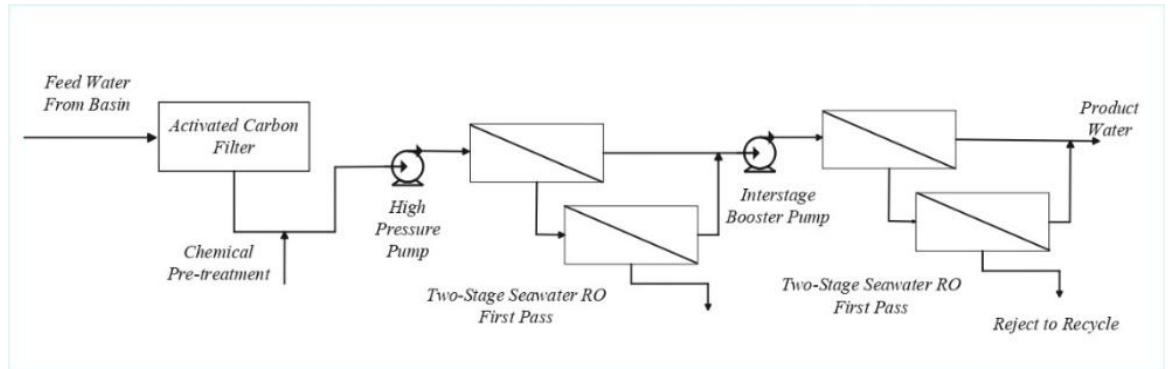
Unit desalinasi merupakan unit yang berperan dalam mengubah air laut menjadi air tawar (air desal) yang digunakan untuk keperluan sistem pendingin dan sebagai air umpan boiler. Kualitas air hasil dari proses ini dikendalikan agar sesuai dengan standar yang ditetapkan. Parameter kualitas air desalinasi dapat dilihat pada **Tabel 4.8** berikut.

Tabel 4.8 Spesifikasi Air Desalinasi (Hernández, 2021).

Parameter	Nilai
Konduktivitas Elektrik	< 0,1 $\mu\text{S/cm}$
Salinitas	< 0,05%
pH	6,5 – 7,5
TDS	12 ppm
Cl	< 5 ppm

Di pabrik ini, proses desalinasi dilakukan menggunakan metode Reverse Osmosis (RO), yang berfungsi menyaring molekul-molekul besar serta ion-ion dari

air laut seperti Na^+ , Cl^- , K^+ , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan CO_3^{2-} . Membran yang digunakan bersifat selektif, artinya hanya memungkinkan pelarut atau partikel berukuran kecil dari larutan untuk melewati, sementara zat terlarut seperti molekul besar dan ion-ion tidak dapat melaluinya. Ilustrasi sederhana dari proses desalinasi dengan *reverse osmosis* ini dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4.2 Skema Sederhana Desalinasi menggunakan RO (Reverse Osmosis) (Veera, 2018)

Dari skema proses desalinasi menggunakan RO diatas terdapat 4 tahapan proses, yaitu :

- i. **Pengolahan Awal (*pre-treatment*)**, Sebelum digunakan, air umpan terlebih dahulu diproses agar sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan oleh membran. Parameter seperti kekeruhan, klorin sisa, senyawa organik yang mudah menguap, serta logam-logam yang terkandung dalam air umpan dihilangkan dengan cara mengalirkan air melalui *Activated Carbon Filter* (ACF) dari bagian atas ke bawah wadah, melewati lapisan karbon aktif. Selanjutnya, dilakukan injeksi bahan kimia untuk menyesuaikan pH sesuai kondisi operasi dan penambahan inhibitor guna mengendalikan pembentukan kerak (*scaling*).
- ii. **Pemberian Tekanan**, Pompa bertekanan tinggi (*high pressure pump*) digunakan untuk memberikan tekanan yang diperlukan pada air umpan, sehingga dapat mendorongnya melewati membran *reverse osmosis*. Tekanan ini berfungsi sebagai gaya pendorong utama (*driving force*) yang memungkinkan proses pemisahan terjadi dengan mengatasi perbedaan konsentrasi antara larutan pekat dan larutan yang telah dimurnikan. Dengan demikian, proses osmosis terbalik dapat berlangsung secara efektif.

iii. Membrane Separation, Membran permeabel yang digunakan dalam proses reverse osmosis dirancang untuk menghambat atau menahan garam-garam terlarut serta kontaminan lainnya agar tidak melewatinya. Pada saat yang sama, membran ini tetap memungkinkan molekul-molekul air murni atau air hasil desalinasi untuk menembus dan keluar sebagai produk akhir. Dengan selektivitas ini, membran berperan penting dalam memastikan bahwa hanya air bersih yang lolos, sementara zat terlarut seperti ion garam tertahan di sisi umpan

iv. Stabilisasi, Air hasil keluaran dari membran, yang disebut sebagai air produk, umumnya mengalami penyesuaian pH terlebih dahulu sebelum dialirkan ke sistem distribusi. Penyesuaian ini penting dilakukan untuk memastikan bahwa air memiliki tingkat keasaman atau kebasaan yang sesuai dengan standar operasional, serta untuk mencegah korosi pada jaringan perpipaan dan peralatan di hilir. Proses ini biasanya melibatkan penambahan bahan kimia penyeimbang pH agar kualitas air tetap terjaga dan aman untuk digunakan lebih lanjut.

5. Cooling Water untuk Process Equipment

Pada industri ini, air laut dimanfaatkan sebagai media pendingin. Proses pembuatan *cooling water* dimulai dengan memompa sebagian air hasil desalinasi menuju peralatan proses untuk mendinginkan mesin atau alat-alat produksi. Setelah digunakan untuk proses pendinginan, air ini kemudian dialirkan ke outfall untuk dibuang kembali ke laut. Penempatan outfall dan intake air laut harus dirancang dengan cermat agar tidak terjadi sirkulasi kembali air panas dari outfall ke sistem pengambilan air (intake). Berdasarkan ketentuan dari Kementerian Lingkungan Hidup, air buangan dari outfall tidak boleh mengandung limbah B3, minyak dan turunannya, serta harus bebas dari bahan kimia berbahaya, dengan suhu maksimum yang diizinkan sebesar 40°C. Ketentuan lebih rinci mengenai hal ini tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2006.

6. Unit Sanitasi

Air yang dihasilkan dari unit desalinasi merupakan air bebas garam atau air tawar, sehingga aman dan layak untuk berbagai keperluan non-proses. Setelah diproses, air ini langsung dipompa menuju tangki penyimpanan yang disiapkan khusus untuk kebutuhan sanitasi. Dari tangki tersebut, air dialirkan melalui jaringan perpipaan ke berbagai area penggunaan, seperti fasilitas kebersihan, irigasi taman,

serta kebutuhan umum lainnya di lingkungan industri. Penggunaan air hasil desalinasi untuk keperluan ini membantu mengurangi ketergantungan pada sumber air tawar alami dan mendukung pengelolaan air yang lebih berkelanjutan.

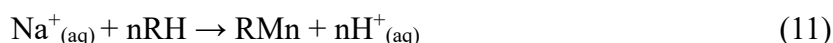
7. *Unit Demineralisasi*

Unit ini berfungsi untuk mencegah masuknya mineral, baik kation maupun anion tertentu, yang terbawa oleh recovery condensate ke dalam air hasil desalinasi. Dalam unit demineralisasi, air menjalani proses pemurnian untuk mengurangi kandungan ion-ion yang tidak diinginkan. Proses ini dilakukan dengan mengalirkan air melalui tangki yang berisi resin penukar ion, baik resin kation maupun anion. Adapun peralatan yang digunakan dalam proses ini adalah sebagai berikut:

- ***Cation Exchanger***

Cation exchanger merupakan alat yang berisi resin khusus yang berfungsi untuk menghilangkan tingkat kesadahan air yang disebabkan oleh keberadaan kation-kation tertentu. Ion-ion yang umumnya diserap oleh resin ini meliputi Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , Mn^+ , dan Al^{3+} , yang jika tidak dihilangkan dapat mempengaruhi kualitas air dan kinerja peralatan.

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Ion logam Na^+ dalam air akan ditukar dengan ion H^+ yang terdapat pada resin, sehingga air hasil proses akan memiliki sifat asam. Jika pH air keluaran melebihi ambang batas yang ditentukan, hal ini menandakan bahwa resin telah mencapai titik jenuh dan tidak lagi efektif, sehingga perlu dilakukan regenerasi. Proses regenerasi dilakukan dengan mengalirkan larutan asam klorida melalui resin, di mana ion H^+ dari asam tersebut akan menggantikan ion Na^+ yang telah menempel pada resin, memungkinkan resin untuk digunakan kembali dalam proses penukaran ion.

- ***Anion Exchanger***

Setelah melewati *cation exchanger*, air selanjutnya dialirkan ke *anion exchanger* untuk menghilangkan berbagai jenis anion yang terkandung di dalamnya. Beberapa anion yang diserap dalam tahap ini meliputi HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , dan SiO_3^{2-} . Tahap ini penting untuk memastikan air yang dihasilkan bebas dari ion-ion negatif yang dapat mengganggu proses lebih lanjut atau merusak peralatan.

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

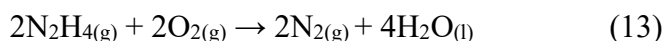


Ion-ion negatif dalam air akan ditukar dengan ion OH^- yang berasal dari resin anion, sehingga air yang semula bersifat asam menjadi netral. Bila pH air keluaran melebihi ambang batas yang ditetapkan, hal ini menunjukkan bahwa resin telah jenuh dan perlu dilakukan regenerasi. Proses regenerasi dilakukan dengan mengalirkan larutan natrium hidroksida (NaOH), di mana ion OH^- dari larutan tersebut akan menggantikan ion-ion negatif yang telah terserap oleh resin, sehingga resin dapat digunakan kembali.

Air hasil dari unit demineralisasi dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti air umpan boiler, proses regenerasi, pencucian balik (backwash) resin, dan kebutuhan lainnya. Sebelum digunakan sebagai boiler feed water (BFW), air demineralisasi dialirkan terlebih dahulu ke dalam deaerator, yang berfungsi untuk menghilangkan oksigen terlarut dalam air. Selain itu, bahan kimia khusus juga ditambahkan ke dalam BFW untuk mengurangi risiko terbentuknya kerak dan mencegah terjadinya korosi pada sistem :

1) *Hydrazin*

Memiliki fungsi untuk mengikat oksigen dengan reaksi sebagai berikut :



Hasil reaksi yang berupa nitrogen bersama-sama dengan gas lain dihilangkan dengan cara di *stripping*.

2) Larutan Amonia

Memiliki fungsi sebagai pengontrol pH. Air yang keluar dari deaerator memiliki pH berkisar 8,5-9,5.

3) Larutan Fosfat ($\text{Na}_3\text{PO}_4\text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})}$)

Sebelum dialirkan ke dalam boiler, air tersebut terlebih dahulu ditambahkan zat dispersant atau bahan penyebar mikroflok guna mencegah partikel-partikel halus menempel pada permukaan pipa *boiler*. Setelah itu, dilakukan proses *blowdown* untuk membuang flok atau endapan yang terbentuk, sehingga kebersihan dan efisiensi sistem *boiler* tetap terjaga.

4.2 Unit *Power Station* (Penyediaan Tenaga Listrik)

Dalam perancangan pabrik monoethanolamine, pasokan energi listrik utama berasal dari PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara), sementara untuk kondisi darurat disediakan generator cadangan berbahan bakar diesel. Oleh karena itu, pabrik perlu dilengkapi dengan transformator (trafo) tegangan guna mengkonversi listrik dari tegangan tinggi menjadi tegangan rendah, yaitu 380 volt AC 3 fasa dan 220 volt AC 1 fasa, agar sesuai dengan kebutuhan operasional peralatan di pabrik.

Generator yang digunakan merupakan jenis generator AC 3 phase yang memiliki keuntungan :

- Daya lebih besar
- Tenaga listrik stabil
- Kawat penghantar yang digunakan lebih sedikit
- Motor 3 phase harganya relatif lebih murah dan sederhana

4.2.1 Listrik Untuk Kegiatan Produksi

a. Keperluan Proses

Tabel 4.9 Kebutuhan Listrik Unit Proses

No	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	Hp	kWh
1	Pompa	L - 111	1	0,28	0,21
2	Pompa	L -121	1	6,96	5,19
3	Pompa	L - 131	1	1,05	0,78
4	Pompa	L - 322	1	0,21	0,16
5	Pompa	L - 331	1	0,21	0,16
6	Pompa	L - 335	1	0,21	0,16
7	Pompa	L - 341	1	0,23	0,17
8	Pompa	L - 344	1	0,21	0,16
9	Pompa	L - 349	1	0,46	0,34
10	Pompa	L - 337	1	0,40	0,30
11	Pompa	L - 346	1	0,42	0,31
12	Kompresor	C - 324	1	323,73	241,40
TOTAL				334,36	249,329

b. Keperluan Utilitas

Tabel 4.10 Kebutuhan Listrik Unit Utilitas

No.	Nama alat	HP	kWh
1	Pompa air pendingin	20	14,91
2	Pompa sanitasi	2	1,491
3	Pompa <i>hydrant</i>	3	2,24
4	Pompa air umpan boiler	2	1,49
5	Kompresor udara	5	3,73
TOTAL		32	23,86

c. Pengolahan Limbah

Kebutuhan energi untuk pengolahan limbah diperkirakan 15 HP

$$= 15 \times 0,75 \text{ kW} = 11,19 \text{ kWh}$$

d. Laboratorium, bengkel dan instrumentasi

Kebutuhan listrik untuk laboratorium, bengkel, dan instrumentasi diperkirakan

sebesar 15 HP

$$= 15 \times 0,75 \text{ kW} = 11,19 \text{ kWh}$$

e. Total kebutuhan daya untuk proses produksi

$$= 249,33 \text{ kWh} + 23,86 \text{ kWh} + 11,19 \text{ kWh} + 11,19 \text{ kWh}$$

$$= 376,04 \text{ kWh}$$

4.2.2 Listrik untuk Kegiatan Operasional

a. Listrik untuk Penerangan

Perkiraan jumlah energi listrik yang diperlukan untuk keperluan penerangan dapat dihitung dengan pendekatan berdasarkan konsep *Luminous Efficacy* atau efikasi cahaya. Konsep ini mengacu pada seberapa efisien sebuah lampu mengubah energi listrik menjadi cahaya tampak, yang diukur dalam satuan lumen. Dengan kata lain, efikasi cahaya menunjukkan besarnya radiasi cahaya yang dihasilkan oleh sumber pencahayaan per satuan daya listrik. Untuk menentukan kebutuhan pencahayaan pada suatu area, pendekatan ini dikombinasikan dengan standar jumlah pencahayaan (lumen) yang dibutuhkan per satuan luas, sehingga dapat diperoleh estimasi kebutuhan daya listrik secara lebih akurat berdasarkan ukuran dan fungsi

ruang yang akan diterangi. Kebutuhan pencahayaan per luas area dapat ditentukan sebagai berikut:

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

Dimana:

Area = Luas daerah yang membutuhkan pencahayaan (m^2)

Lux = Kebutuhan energi cahaya per satuan luas (lumen/m^2)

Tingkat pencahayaan dalam satuan lux bervariasi tergantung pada jenis dan fungsi area yang akan diterangi. Dalam perancangan ini, digunakan nilai standar lux yang mengacu pada pedoman yang tercantum dalam (SNI03-6197-2000)

Kebutuhan lumen ditunjukkan pada perhitungan berikut ini :

Tabel 4.11 Kebutuhan Listrik untuk Penerangan

Bangunan Indoor	Luas (m^2)	Lux (lumen/m^2)	Lumen
Pos keamanan	25	80	2.000
Gedung kantor utama	2.500	200	500.000
Kantor K3	300	200	60.000
Mess	600	200	120.000
Poliklinik	200	200	40.000
Kantin	80	150	12.000
Koperasi	40	150	6.000
Laboratorium	400	500	200.000
Gudang	300	100	30.000
Bengkel	200	100	20.000
Masjid	400	200	80.000
Gedung Seba Guna (Aula)	1.000	200	200.000
Ruang control	800	350	280.000
Pemadam kebakaran	500	100	50.000
TOTAL	7.345		1.600.000
Bangunan Outdoor	Luas (m^2)	Lux (lumen/m^2)	Lumen
Lapangan Parkir	1.000	60	60.000
Unit proses	5.000	100	500.000
Unit utilitas	2.500	100	250.000
IPAL	600	100	60.000

Unit penyimpanan	2.400	100	240.000
Power station	600	100	60.000
Jalan, taman, & meeting point	1.000	75	75.000
Daerah perluasan pabrik	1.000	60	60.000
TOTAL	14.100		1.305.000

Pada seluruh area di dalam bangunan direncanakan akan menggunakan lampu hemat energi Philips LED tipe spiral (Helix) dengan daya 24 watt. Lumen output pada tiap lampu adalah 1.450 lumen (www.philips.co.id).

Jumlah Lumen didalam ruangan = lumen / jumlah lampu

$$= 1.600.000(\text{lumen})/1450(\text{lumen/lampu})$$

$$= 1.104 \text{ lampu}$$

$$\text{Total daya penerangan} = 1.104 \times 24 \text{ watt} / 1000 = 26,50 \text{ kW}$$

Untuk area outdoor akan menggunakan lampu Philips LED tipe spiral (Helix Spiralenergy saving bulb) dengan daya 42 watt. Untuk output tiap lampu adalah 2.650 lumen (www.philips.co.id).

$$\text{Jumlah lumen di luar ruangan} = 1.305.000 \text{ lumen} / \text{jumlah lampu}$$

$$= 1.305.000 / 2650$$

$$= 493 \text{ lampu}$$

$$\text{Total daya penerangan} = 493 \times 42 \text{ watt} / 1000 = 20,706 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \text{Total daya yang dibutuhkan untuk penerangan} &= 26,496 + 20,706 \\ &= 47,202 \text{ kW} \end{aligned}$$

b. Listrik untuk Air Conditioner (AC)

Pada air conditioner rencananya akan menggunakan AC inverter LG D13CMV HYBRID ULTIMA SERIES – 1.5 PK. Pada AC dengan kapasitas 1.5 PK biasanya memerlukan daya listrik sebesar 970 watt untuk 49 m² (www.lg.com).

Luas area yang memerlukan AC adalah sebagai berikut :

Tabel 4.12 Luas Ruangan yang Memerlukan AC

Ruang	Luas (m ²)
Gedung Kantor Utama	1500

Kantor K3	300
Poliklinik	100
Koperasi	40
Laboratorium	200
Masjid	300
Aula	300
Ruang Control	500
TOTAL	3240

Sebuah AC diperkirakan cukup untuk memenuhi kebutuhan ruangan seluas 7 x 7 meter

$$\begin{aligned}\text{Jumlah AC yang dibutuhkan} &= 3240 \text{ m}^2 / 49 \text{ m}^2 \\ &= 67 \text{ AC}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan Listrik} &= 67 \times 970 \text{ watt} \times 0,001 \text{ kW/watt} \\ &= 64,99 \text{ kWh}\end{aligned}$$

c. Listrik untuk Peralatan Lain

Penggunaan listrik untuk peralatan kantor seperti komputer, printer, server, dan perangkat lainnya diasumsikan memiliki total konsumsi daya sebesar 10 kWh.

Total kebutuhan listrik pada kegiatan operasional :

$$= 47,202 \text{ kW} + 64,99 \text{ kW} + 10 \text{ kW} = 122,19 \text{ kWh}$$

Pemenuhan kebutuhan listrik yang digunakan pada pabrik monoethanolamine dapat diuraikan sebagai berikut :

- Digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik pada kegiatan produksi 375,25 kWh dan kegiatan operasional sebesar 122,19 kWh yang akan disuplai oleh PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara)
- Digunakan sebagai cadangan disediakan generator dengan daya 400 kWh.

4.3 Unit Penyediaan Steam

4.3.1 Kebutuhan Steam

Steam digunakan sebagai media pemanas, baik dalam proses produksi maupun pada peralatan penukar panas. Jenis steam yang digunakan adalah saturated steam (steam jenuh) dengan tekanan rendah (Low Pressure) sebesar 4,04 bar. Steam ini

dihasilkan oleh boiler, sementara air umpan (feed water) untuk boiler disuplai dari unit penyedia air. Kebutuhan steam untuk keperluan pemanasan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.13 Kebutuhan Air Umpan

No.	Kode	Nama Alat	Kebutuhan Air Umpan (kg/jam)
1.	E-211	Heat Exchanger	5.565,25
2.	E-321	Heat Exchanger	7.767,92
3.	E-323	Heat Exchanger	594,64
4.	E-338	Reboiler MD 01	3.105,24
5.	E-347	Reboiler MD 02	9.039,53
TOTAL			26.072,57

BFW yang dibutuhkan = 26.072,57 Kg/jam

4.4 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Pada unit ini memiliki tujuan guna memenuhi kebutuhan bahan bakar boiler, furnace serta generator. Bahan bakar yang digunakan adalah berupa natural gas, pemilihan natural gas sebagai bahan bakar didasarkan pada beberapa pertimbangan yang ada, seperti :

- Nilai kalor yang tinggi
- Mudah untuk didapat
- Tidak memerlukan unit penyimpanan karena menggunakan sistem *pipeline*

4.4.1 Perhitungan Kapasitas Boiler

Massa Steam = 26.072,57 Kg/jam

Massa kondensat = 80% x massa steam yang digunakan
= (80% x 26.072,57 kg/jam) = 20.858,06 Kg/jam

Massa BFW = 26.072,57 Kg/jam

Tekanan steam = 404,2 Kpa

Suhu input boiler = 30°C = 303,15 K

Suhu steam = 144°C = 417,15 K

λ_{steam} pada suhu 144°C = 2131,8 Kj/Kg

$$Q = (m_{\text{BWF start up}} + m_{\text{BWF normal}}) \times \int_{303,15}^{417,15} C_p dT + \lambda_{\text{steam}}$$

$$Q = (20.858,055 + 26.072,57) \text{ Kg/jam} \times 2131,8 \text{ Kj/Kg}$$

$$Q = 100.046,78 \text{ Kj/jam} = 94.825.965,690 \text{ Btu/jam}$$

4.4 Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar

a. Bahan Bakar Boiler

Pada boiler menggunakan bahan bakar dengan jenis *Natural gas*. Data LHV (*Lower Heating Value*) dimana masing-masing komponen *natural gas* ditunjukkan pada tabel 4.14.

Tabel 4.14 Data Lower Heating Value (Arthur J. Kidney, 2004)

Komponen	LHV (Kj/Kg)
CH ₄	55576
C ₂ H ₆	51952
C ₃ H ₈	50370
i-C ₄ H ₁₀	49389
n-C ₄ H ₁₀	49547
i-C ₅ H ₁₂	48950
n-C ₅ H ₁₂	49046
n-C ₆ H ₁₂	48717
N ₂ & H ₂ O	0
CO ₂ & CO	0
H ₂ S	16501

$$\text{LHV Natural gas} = \sum x_i \cdot \text{LHV}_i \quad (17)$$

Tabel 4.15 Perhitungan Lower Heating Value Natural Gas

Komponen	BM	%massa	LHV	LHV.xi
CH ₄	16	0,83	55576	46305,92
C ₂ H ₆	30	0,05	51952	2753,46
C ₃ H ₈	44	0,03	50370	1475,84
i-C ₄ H ₁₀	58	0,006	49389	321,03
n-C ₄ H ₁₀	58	0,008	49547	391,42
i-C ₅ H ₁₂	72	0,004	48950	181,11
n-C ₅ H ₁₂	72	0,002	49046	117,71
n-C ₆ H ₁₂	86	0,002	48717	92,56
N ₂	28	0,01	0	0
CO ₂	44	0,05	0	0

CO	28	0	0	0
H ₂ S	34	0,00001	16501	0,16
H ₂ O	18	0	0	0
TOTAL				51639,22

$$\begin{aligned}\text{LHV Natural gas} &= 51639,233 \text{ Kj/Kg} \\ &= 22204,87 \text{ BTU/lb}\end{aligned}$$

Sehingga untuk kebutuhan bahan bakar dapat dihitung sebagai berikut :

Asumsi efisiensi boiler 80%

$$\begin{aligned}\text{Massa bahan bakar} &= \frac{Q}{(n \times \text{Heating Value})} & (18) \\ &= \frac{94.825.965,690 \text{ Btu/jam}}{(80\% \times 22204,866 \text{ Btu/lb})} \\ &= 5.338,130 \text{ lb/jam} \\ &= 20,678 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

b. Bahan Bakar Furnace

Furnace berfungsi untuk memanaskan Downtherm A yang digunakan sebagai media pemanas pada reboiler kolom distilasi. Sumber energi untuk furnace ini berasal dari natural gas dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\text{Lower Heating Value} = 22204,870 \text{ BTU/lb}$$

- Menghitung beban furnace

$$Q = n_{\text{Dow}} \times \int_{T_{\text{out}}}^{T_{\text{in}}} C_p dT$$

Q dowtherm A didapatkan dari hasil penjumlahan Q *heat exchanger* yang memakai dowtherm A = 4.213.284,623 Kj/jam = 3.994.193,823 Btu/jam

- Menghitung kebutuhan bahan bakar Asumsi efisiensi furnance 80%

$$\begin{aligned}\text{Massa natural gas} &= \frac{Q}{(n \times \text{Heating Value})} \\ &= \frac{3.994.193,823 \text{ Btu/jam}}{(80\% \times 22204,870 \text{ Btu/lb})} = 224,849 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

c. Bahan Bakar Generator

- Spesifikasi generator

Generator yang digunakan guna memenuhi kebutuhan listrik sebesar 227,199 kW memiliki spesifikasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Tipe} &= \text{AC Generator} \\ \text{Kapasitas} &= 400 \text{ kW} \\ \text{Tegangan} &= 170 \text{ VOLT}\end{aligned}$$

Efisiensi = 80%
 Phase = 3
 Bahan bakar = natural gas

▪ Kebutuhan bahan bakar

Bahan bakar yang akan digunakan generator ialah natural gas dengan kebutuhan sebagai berikut :

Kapasitas = 400 kW = 1366000 BTU/jam

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan natural gas} &= \frac{\text{Kapasitas}}{(\eta \times \text{Heating Value})} \\
 &= \frac{1366000 \text{ Btu/jam}}{(80\% \times 22204,87 \text{ BTU/lb})} \\
 &= 76,898 \text{ lb/jam}
 \end{aligned}$$

4.5 Unit Compressor (Penyediaan Udara Tekan)

Unit penyedia udara tekan berfungsi untuk mengatur suplai udara bertekanan yang digunakan dalam pengoperasian peralatan dan instrumen yang berbasis sistem kendali otomatis. Pada pabrik *Monoethanolamine* ini, kebutuhan udara tekan dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

a. Plant Air (PA)

Plant air disalurkan kepada *user* melalui *header plant air*, yang berfungsi sebagai jalur distribusi utama. Udara ini kemudian dialirkan ke berbagai unit proses di dalam pabrik dan dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti pembersihan peralatan proses serta sebagai suplai udara pada *utility station*. Penggunaan plant air ini mendukung kelancaran operasional dan menjaga kebersihan peralatan agar tetap dalam kondisi optimal

b. Instrument Air

Udara instrumentasi (*instrument air*) terlebih dahulu melewati *pre-filter* untuk menyaring debu atau partikel padat yang terbawa dari lingkungan. Setelah itu, udara dialirkan ke dalam *air dryer* yang mengandung zeolit, yang berfungsi untuk menyerap uap air dalam udara tersebut. Instrument air digunakan sebagai sumber tenaga untuk pengoperasian berbagai kontrol katup, seperti katup pengatur tekanan (*pressure control valve*), katup pengatur aliran (*flow control valve*), pengontrol level, serta berbagai instrumen kontrol lainnya. Dari segi kualitas, udara instrumentasi memiliki kadar uap air yang lebih rendah dibandingkan *plant air*. Hal ini sangat penting agar sistem instrumentasi tetap kering dan tidak terganggu oleh

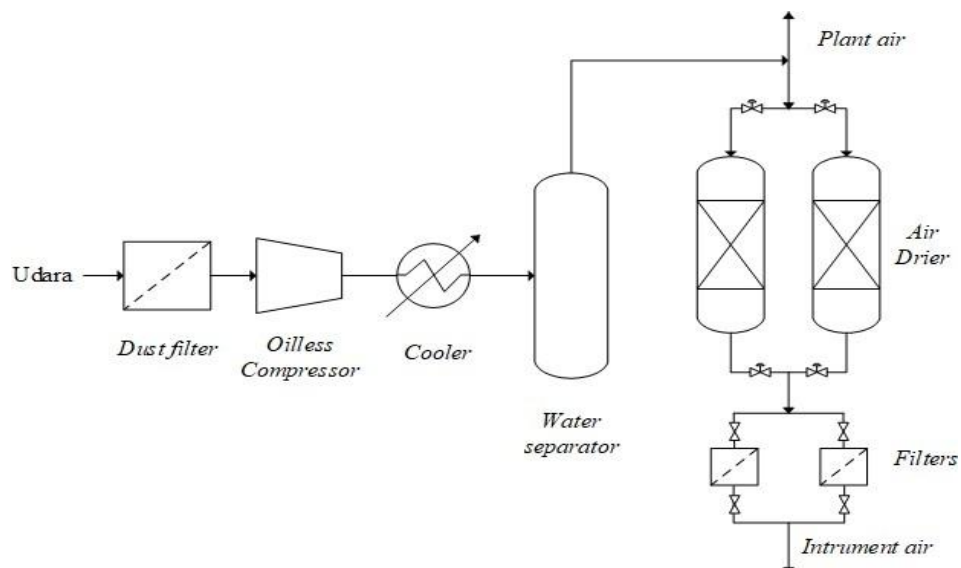
kelembapan, yang dapat memengaruhi kinerja katup kontrol maupun sistem kendalinya secara keseluruhan.

Udara untuk kebutuhan instrumentasi diambil dari udara bebas di lingkungan sekitar pabrik, namun tekanan udaranya harus ditingkatkan terlebih dahulu menggunakan kompresor. Selanjutnya, udara tersebut harus dikeringkan hingga mencapai temperatur *dew point* untuk menghindari terjadinya kondensasi pada suhu ambien terendah. Suhu pengeringan yang direkomendasikan umumnya berada pada kisaran 40°C. Selain itu, udara instrumentasi harus bebas dari partikel padat, minyak, gas berbahaya, serta zat korosif. Standar kebersihan yang diizinkan mencakup kandungan partikel padat kurang dari 0,1 g/Nm³ dengan ukuran partikel <3µm. Tekanan kerja udara harus berada dalam rentang 4 hingga 7 bar g, dengan tekanan minimum 4 bar g, guna memastikan seluruh instrumen dan katup dapat berfungsi secara optimal.

Tabel 4.16 Kualitas Udara Instrumen (Broughton, 1994).

Parameter	Nilai
Tekanan	7,5 kg/cm ²
H ₂ O	Max. 125 ppm

Untuk mencukupi kebutuhan udara, baik untuk plant air maupun instrument air, digunakan unit kompresor yang kemudian menyalurkan udara bertekanan melalui jaringan perpipaan. Proses pengolahan dan distribusi udara tekan ini dapat dilihat pada diagram alir yang ditampilkan pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4.3 Blok Diagram Pengolahan Udara Tekan

(Broughton, 1994).

Udara terlebih dahulu melewati dust filter untuk menyaring debu dan partikel-partikel halus yang terbawa dari lingkungan. Setelah itu, udara dialirkan ke unit berikutnya dan dikompresi menggunakan oil-less compressor, karena kandungan minyak dalam udara terkompresi tidak diperbolehkan. Proses kompresi ini menyebabkan suhu udara meningkat, sehingga udara tersebut perlu didinginkan terlebih dahulu menggunakan cooler. Setelah pendinginan, udara dialirkan ke water separator untuk mengurangi kadar uap air yang masih tersisa. Udara yang keluar dari water separator kemudian dibagi menjadi dua aliran yaitu sebagian digunakan sebagai plant air, dan sebagian lainnya dikeringkan lebih lanjut serta disaring kembali sebelum dimanfaatkan sebagai instrument air (Broughton, 1994).

4.6 Unit Laboratorium

4.6.1 Peranan Laboratorium

Laboratorium merupakan bagian yang sangat vital dalam operasional pabrik *Monoethanolamine* (MEA). Peran utamanya adalah menyediakan data terkait bahan baku (*raw material*) dan produk akhir. Informasi yang diperoleh dari analisis laboratorium memungkinkan proses produksi dikendalikan secara konsisten agar kualitasnya tetap sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Selain itu, laboratorium juga berperan dalam melakukan analisis terhadap kualitas limbah yang dihasilkan dari unit pengolahan limbah di pabrik. Adapun fungsi utama laboratorium adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengawasan terhadap kualitas bahan baku yang diterima.
2. Memastikan mutu produk akhir yang dihasilkan sesuai standar yang ditetapkan.
3. Melakukan pemantauan dan analisis terhadap proses produksi, khususnya yang berkaitan dengan potensi pencemaran lingkungan, termasuk emisi udara, limbah cair, dan limbah padat yang berasal dari unit-unit produksi.
4. Mengawasi serta menganalisis kualitas air yang digunakan dalam proses produksi, seperti air baku, air pendingin, dan air umpan boiler.

Selain keempat tugas utama di atas, laboratorium juga berperan dalam pengendalian pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah, baik dalam bentuk padatan, gas, maupun cairan.

4.6.2 Bagian-Bagian Laboratorium

Didalam laboratorium memiliki 3 bagian pokok yaitu :

1) Laboratorium Pengendalian Mutu (*Quality Control*)

Laboratorium ini bertugas melakukan analisis terhadap spesifikasi komposisi bahan baku berupa amonia dan etilen oksida, serta melakukan pemeriksaan terhadap komposisi produk Monoethanolamine (MEA), termasuk sifat fisik dan kimia dari produk yang dihasilkan. Selain itu, laboratorium juga melakukan analisis terhadap komposisi tiap aliran (arus) dalam proses produksi, yang berperan penting dalam menentukan kualitas akhir produk. Beberapa sifat yang diamati antara lain:

- Specific gravity
- Viskositas
- Kandungan air
- Boiling point
- Flash point

2) Laboratorium Pengendalian Baku Mutu Lingkungan

Laboratorium ini juga memiliki tanggung jawab untuk menganalisis limbah yang dihasilkan dari proses produksi, termasuk limbah cair dan gas. Selain itu, dilakukan pula analisis terhadap limbah yang telah melalui proses pengolahan di unit pengolahan limbah sebelum dilepaskan ke lingkungan. Analisis juga mencakup kualitas air pendingin (*cooling water*) yang telah digunakan dalam peralatan proses sebelum dibuang ke laut.

3) Laboratorium Penelitian dan Pengembangan

Laboratorium ini memiliki tujuan untuk melakukan penelitian dan pengembangan terkait permasalahan kualitas material dalam proses produksi, dengan tujuan meningkatkan hasil akhir produk. Karakter laboratorium ini bersifat tidak rutin dan lebih fokus pada penelitian inovatif untuk mendukung pengembangan.

4.6.3 Alat-Alat Utama yang Digunakan di Laboratorium

a) *Gas Chromatography – Mass Spectrometry*

Digunakan sebagai analisa kadar CO₂ dan NH₃ dalam aliran proses.

b) *Water Content Testes*

Digunakan sebagai analisa kadar air yang ada di dalam bahan baku maupun prosuk.

c) pH meter

Digunakan untuk mengukur tingkat keasaman dan kebasaan pada air.

d) *Hydrometer*

Digunakan sebagai pengukur untuk *spesific gravity*.

e) *Turbidity meter*

Digunakan sebagai pengukur pada tingkat kekeruhan pada air.

f) Viskometer

Berguna sebagai pengkur tingkat viskositas pada fluida.

g) *Liquid Chromatography*

Digunakan sebagai analisa kandungan produk dan juga bahan baku.

4.7 Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah merupakan komponen yang wajib dimiliki oleh setiap pabrik. Pada pabrik Monoethanolamine, jenis limbah yang dihasilkan mencakup limbah sanitasi, air berminyak yang berasal dari pompa, air buangan hasil proses regenerasi, serta potensi kebocoran dari aliran proses. Proses pengolahan limbah dilakukan berdasarkan klasifikasi jenis limbah yang dihasilkan :

4.7.1 Pengolahan Limbah Cair

1. Air limbah sanitasi berasal dari seluruh fasilitas toilet di area pabrik dan perkantoran. Limbah ini dikumpulkan dan diolah di unit pengolahan sanitasi dengan metode lumpur aktif, disertai penambahan disinfektan berupa natrium hipoklorit (Na-hipoklorit) untuk membunuh mikroorganisme berbahaya.
2. Air berminyak yang dihasilkan dari pelumas bekas pompa dipisahkan berdasarkan perbedaan massa jenis antara air dan minyak. Minyak yang mengapung di permukaan dialirkan ke unit penampungan akhir untuk kemudian dimusnahkan melalui proses pembakaran, sedangkan bagian airnya diarahkan ke kolam pengolahan dengan sistem lumpur aktif.
3. Limbah cair yang mengandung senyawa organik larut air seperti buangan purging yang mengandung amonia (NH_3) dan sedikit Monoethanolamine (MEA), serta potensi kebocoran bahan baku diolah menggunakan sistem

lumpur aktif. Amonia mudah larut dalam air dan membentuk ion amonium (NH_4^+). Pengolahan dilakukan dengan prinsip biodegradasi oleh bakteri aerobik. Sistem yang digunakan adalah *Extended Aeration*, yang dirancang untuk mempercepat aktivitas bakteri autotrof dan heterotrof dalam menguraikan senyawa organik tersebut.

4.7.2 Pengolahan Limbah Gas

Untuk mencegah pencemaran udara akibat emisi gas buang, seperti gas yang berasal dari proses pembakaran di boiler, dapat dilakukan pengolahan menggunakan *Electrostatic Precipitator* (ESP). Sistem ini bekerja dengan prinsip dasar mengikat partikel gas buang melalui pemberian tegangan listrik tinggi pada kawat elektroda bermuatan negatif. Muatan ini menyebabkan partikel debu dari hasil pembakaran menjadi bermuatan negatif, sehingga tertarik dan menempel pada pelat-pelat logam yang memiliki muatan positif. Setelah partikel debu tertangkap, gas yang telah bersih akan diteruskan menuju cerobong untuk dilepaskan ke atmosfer (Rofandi & Irwanto, 2022).

4.7.3 Pengolahan Limbah Padatan

Limbah padat yang dihasilkan sebagian besar berasal dari aktivitas domestik, seperti sampah sehari-hari berupa kertas, plastik, dan sejenisnya. Sampah ini dikumpulkan terlebih dahulu di wadah penampungan, kemudian diangkut ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Sementara itu, limbah padat lainnya yang tergolong bahan berbahaya dan beracun (B3) disimpan terlebih dahulu di Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) yang menggunakan sistem tertutup (*close system*), guna mencegah kebocoran yang dapat mencemari tanah, air, maupun lingkungan sekitarnya. Setelah itu, limbah B3 akan dikirim ke TPA khusus untuk penanganan lebih lanjut.

4.8 Kesehatan Keselamatan Kerja dan Lingkungan Hidup

Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup (K3LH) merupakan suatu bentuk upaya perlindungan guna memastikan bahwa seluruh pekerja tetap berada dalam kondisi aman dan sehat selama menjalankan tugasnya di lingkungan kerja. Perlindungan ini juga mencakup pihak lain yang berada di area kerja, serta menjamin agar proses dan hasil produksi dapat berlangsung secara aman. Oleh sebab itu, aspek K3LH harus dikelola secara serius, menyeluruh, dan terintegrasi.

Pabrik Monoethanolamine menetapkan kebijakan khusus yang mencakup perencanaan, pelaksanaan, serta pemeliharaan keselamatan instalasi, peralatan, dan pekerja, yang dikoordinasikan oleh Unit Inspeksi Proses dan Keselamatan Lingkungan. Manajemen perusahaan mendukung penuh dan terlibat aktif dalam program pencegahan kerugian, baik yang menyangkut keselamatan karyawan, perlindungan aset, kelangsungan operasional, maupun keamanan masyarakat sekitar yang terdampak oleh aktivitas perusahaan. Pelaksanaan program kesehatan dan keselamatan kerja ini didasarkan pada :

1. UU No. 1 / 1970

Mengenai keselamatan kerja [pada karyawan, dikeluarkan oleh Departemen Tenaga Kerja.

2. UU No. 2 / 1951

Mengenai ganti rugi akibat adanya 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.

Berbagai kegiatan dilakukan sebagai bagian dari upaya mewujudkan Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup (K3LH), di antaranya yaitu melakukan pengawasan terhadap keselamatan operasional selama proses produksi berlangsung, memastikan ketersediaan serta kelayakan peralatan keselamatan kerja, berperan sebagai instruktur dalam pelatihan keselamatan, menyusun rencana kerja untuk mencegah terjadinya kecelakaan, merancang prosedur tanggap darurat untuk mengatasi kebakaran maupun insiden proses, serta memantau jumlah dan kualitas limbah pabrik guna memastikan tidak menimbulkan dampak berbahaya terhadap lingkungan.

4.8.1 Fasilitas Pelayanan Kesehatan

Penyediaan fasilitas kesehatan yang memadai berperan penting dalam mendukung produktivitas pekerja serta dapat menyelamatkan nyawa dalam kondisi darurat. Selain itu, hal ini merupakan bagian dari langkah preventif yang dapat diambil perusahaan dalam menangani kecelakaan kerja. Dengan adanya

fasilitas tersebut, risiko fatalitas akibat kecelakaan kerja dapat diminimalkan, sehingga secara tidak langsung juga mengurangi beban biaya yang harus ditanggung oleh perusahaan. Menurut (Pedoman Klinik di tempat Kerja/Perusahaan , 2009) beberapa bentuk layanan kesehatan yang sebaiknya tersedia atau menjadi kewajiban di lingkungan pabrik antara lain:

1. Kotak P3K

Kotak P3K disediakan di setiap unit produksi dan diletakkan di area kantor unit masing-masing. Pemeriksaan terhadap kotak P3K dilakukan secara rutin setiap bulan untuk memastikan seluruh perlengkapannya masih lengkap dan dalam kondisi layak pakai. Pemeriksaan ini dilaksanakan oleh petugas dari poliklinik dan tim keselamatan kerja (*safety*). Peralatan yang terdapat dalam kotak P3K antara lain *oxygen spray*, celemek pelindung, *tongue spatula*, tourniquet, kasa steril, perban, sarung tangan karet, serta kacamata pelindung (*safety goggles*).

2. Petugas P3K

Petugas P3K adalah perwakilan dari setiap unit kerja yang memiliki tanggung jawab utama dalam memberikan penanganan awal saat terjadi keadaan darurat yang berpotensi mengancam keselamatan dan kesehatan para karyawan di lingkungan kerja.

3. Kendaraan Gawat Darurat

Kendaraan darurat merupakan fasilitas penting yang harus selalu dalam keadaan siap pakai untuk memberikan pertolongan pertama saat dibutuhkan, khususnya selama proses evakuasi korban menuju rumah sakit. Tanggung jawab atas perawatan, pengoperasian, serta kelengkapan peralatan dalam kendaraan ini diberikan kepada sopir yang bertugas secara bergiliran sesuai jadwal shift.

4. Asuransi Kesehatan

Perusahaan disarankan untuk menyediakan asuransi kesehatan bagi para pekerjanya, seperti program Jamsostek. Di perusahaan ini, Jamsostek mencakup berbagai jaminan, antara lain jaminan hari tua, jaminan kecelakaan kerja, jaminan kematian, serta jaminan pemeliharaan kesehatan.

5. Poliklinik

Poliklinik bertanggung jawab memberikan layanan kesehatan yang menyeluruh dan terpadu kepada karyawan perusahaan beserta keluarganya,

baik untuk penanganan penyakit yang berkaitan dengan pekerjaan maupun penyakit umum lainnya.

6. Tenaga Kesehatan

Agar fungsi layanan kesehatan di berbagai fasilitas perusahaan dapat berjalan dengan baik, diperlukan tenaga medis yang siap memberikan pertolongan kepada karyawan. Tenaga kesehatan ini meliputi dokter umum dan perawat yang mendukung tugas-tugas dokter.

7. Pelayanan Kesehatan

Pelayanan kesehatan adalah salah satu bentuk fasilitas yang disediakan perusahaan untuk mendukung kesehatan pekerja. Layanan ini mencakup pemeriksaan kesehatan kerja yang meliputi pemeriksaan pra-kerja, pemeriksaan khusus, serta pemeriksaan rutin berkala, selain itu juga termasuk penanganan kasus kecelakaan kerja.

8. Gizi Kerja

Asupan kalori bagi tenaga kerja di sebuah pabrik perlu menjadi perhatian penting. Oleh karena itu, perusahaan sebaiknya menyediakan kantin khusus bagi karyawan, dengan kebersihan yang selalu dijaga oleh petugas kantin. Melalui kantin ini, para pekerja dapat memperoleh nutrisi yang lengkap dengan memperhatikan prinsip empat sehat lima sempurna.

4.8.2 Potensi Bahaya di Sekitar Pabrik

Berdasarkan proses produksi yang berlangsung di pabrik ini, dapat dikenali berbagai potensi bahaya yang kompleks, yang berasal dari karakteristik lingkungan kerja, tahapan proses produksi, serta faktor manusia yang memiliki peran krusial dalam mengelola dan menjalankan proses produksi secara optimal. Potensi bahaya menurut (Pulansari, 2025) meliputi:

1. Terjatuh

Potensi bahaya terjatuh dari ketinggian merupakan risiko serius bagi tenaga kerja yang dapat mengakibatkan cedera permanen atau bahkan kematian. Risiko ini terutama muncul saat pekerja melakukan aktivitas di tempat tinggi, seperti saat menaiki tangga atau melakukan pemeriksaan material di atas truk.

2. Kejatuhan Benda

Risiko kejatuhan benda bisa terjadi di beberapa area, terutama di tempat penyimpanan peralatan kerja yang dilengkapi dengan rak untuk menaruh wear

pack, sepatu, dan helm. Jika barang-barang tersebut tidak disusun dengan rapi, hal ini dapat menimbulkan bahaya kejatuhan benda bagi pekerja yang berada di sekitar area tersebut.

3. Percikan Bahaya Kimia

Tenaga kerja di pabrik produksi monoethanolamine harus selalu dalam kondisi siaga untuk menghadapi kemungkinan kecelakaan, khususnya yang melibatkan percikan bahan kimia akibat tumpahan, kebocoran pada pipa, tangki, atau peralatan, serta risiko bahaya dari pelepasan gas hasil reaksi ke lingkungan udara.

4. Terpapar Benda Panas

Panas yang dimaksud bukan berasal dari reaksi kimia atau sifat bahaya bahan kimia, melainkan akibat proses pembakaran atau aktivitas serupa yang mengharuskan tangan pekerja berada dekat dengan peralatan kerja yang memiliki suhu tinggi.

5. Kebakaran

Risiko kebakaran dapat terjadi di area pemeliharaan (maintenance) akibat percikan api saat proses pengelasan atau pemotongan besi. Di bagian gudang (*warehouse*), potensi kebakaran juga tinggi karena keberadaan bahan-bahan yang mudah terbakar. Selain itu, korsleting listrik juga menjadi salah satu penyebab utama terjadinya kebakaran.

6. Ledakan

Ledakan merupakan potensi bahaya serius yang dapat merugikan perusahaan, karena pelepasan energi panas saat ledakan dapat memicu kebakaran hebat. Salah satu sumber potensi ledakan adalah dari area kantin, misalnya jika tabung LPG yang digunakan untuk memasak mengalami ledakan.

4.8.3 Faktor Bahaya di Sekitar Pabrik

Proses produksi di sebuah pabrik berpotensi menimbulkan berbagai bahaya yang, jika tidak diatasi dengan baik, dapat mengganggu kelancaran operasional serta membahayakan kesehatan tenaga kerja. Beberapa faktor bahaya di pabrik tersebut antara lain:

1. Kebisingan

Sebagian besar kebisingan di pabrik berasal dari mesin-mesin yang digunakan dalam proses produksi. Tenaga kerja yang berada di area dengan

tingkat kebisingan tinggi selama 8 jam sehari menghadapi risiko besar terhadap gangguan pendengaran, bahkan bisa mengalami tuli. Salah satu langkah pencegahan yang dapat diterapkan adalah menyediakan ear plug di lokasi-lokasi yang memiliki tingkat kebisingan tinggi.

2. Penerangan

Penerangan di pabrik menggunakan kombinasi cahaya alami dan buatan. Apabila cahaya alami sudah mencukupi untuk menerangi area kerja, lampu-lampu buatan akan dimatikan guna menghemat energi. Namun, di beberapa area seperti ruang administrasi dan zona produksi, penerangan tambahan diperlukan karena pekerjaan di tempat tersebut membutuhkan ketelitian dan pencahayaan yang memadai.

3. Getaran

Getaran di pabrik berasal dari mesin-mesin atau peralatan mekanis yang digerakkan oleh motor. Getaran mekanis ini dapat menimbulkan ketidaknyamanan bagi pekerja selama bekerja

4.8.4 Sistem Keamanan Kerja

Sistem keselamatan kerja di perusahaan dirancang untuk melindungi pekerja dari berbagai bahaya. Oleh karena itu, perusahaan menyediakan berbagai fasilitas keselamatan bagi tenaga kerja, menurut (Nabila, 2024) di antaranya:

1. Alat Pelindung Diri

Tujuan sistem keselamatan kerja di perusahaan adalah melindungi para pekerja dari berbagai risiko bahaya. Oleh sebab itu, perusahaan menyediakan sejumlah fasilitas keselamatan bagi tenaga kerjanya, antara lain:

a. Helm

Helm adalah alat pelindung diri yang digunakan untuk menjaga kepala dari benturan serta kejatuhan benda keras.

b. *Safety Glass*

Safety glass adalah alat pelindung diri yang digunakan untuk melindungi mata. Alat ini diperuntukkan bagi pekerja yang berada di bagian *maintenance*, workshop, serta ruang pengendalian kualitas (QC) atau laboratorium.

c. Masker

Masker dipakai untuk melindungi pekerja dari bahaya yang terdapat di udara, seperti debu, gas beracun, dan zat korosif.

d. Sarung Tangan

Sarung tangan dipakai oleh pekerja yang berinteraksi langsung dengan bahan atau bekerja di lingkungan yang berpotensi menyebabkan panas atau iritasi pada kulit

e. *Safety Shoes*

Safety shoes adalah alat pelindung diri yang berfungsi melindungi kaki dari risiko tertimpa benda berat dan percikan bahan kimia.

2. Pengaman Mesin

Di dalam pabrik, terdapat banyak mesin besar yang digunakan dalam proses produksi, sehingga diperlukan pengaman mesin untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja. Beberapa jenis pengaman mesin yang digunakan antara lain *Safety Guard* dan *Emergency Stop Button*.

3. Penanggulangan Kebakaran

Di pabrik, upaya penanggulangan kebakaran dilakukan dengan membentuk tim pemadam kebakaran yang disesuaikan dengan jumlah tenaga kerja di masing-masing bagian produksi. Penanganan kebakaran di pabrik ini berada di bawah pengawasan SHE (*Safety, Health, and Environment*). Sistem penanggulangan kebakaran yang diterapkan bersifat terpadu dan mandiri, mencakup beberapa aspek berikut:

a. Sistem Isyarat Bahaya Kebakaran

Sistem peringatan bahaya kebakaran di pabrik menggunakan Fire Alarm System yang dipasang di setiap unit. Saat terjadi kebakaran, sistem ini akan mengeluarkan suara alarm. Alarm tersebut telah didistribusikan ke seluruh bagian dan dipasang pada lokasi yang mudah terlihat.

b. Sistem Pemadam Kebakaran

➤ Alat Pemadam Api Ringan (APAR)

Jenis APAR yang di gunakan di pabrik yaitu jenis Foam dan Powder Syarat - syarat pemasangan APAR yaitu:

1. Tinggi APAR 150 cm dari lantai.

2. Jarak antara APAR yang satu dengan yang APAR yang lain kurang lebih 15 meter.
3. Pada setiap APAR terdapat WI (Work Instruction) yang tertulis jenis APAR dan tanggal pemeriksaan APAR serta tanggal kadaluarsa APAR yang terlampir.
4. Lokasi penyimpanan APAR diberi nomor dan dilengkapi dengan keterangan mengenai kondisi APAR, seperti status baik dan masih dalam masa berlaku penggunaan.

➤ *Hydrant*

Hydrant adalah sistem pemadam kebakaran yang dipasang di lokasi-lokasi strategis di sekitar area pabrik. Pemeriksaan hydrant dilakukan setiap dua minggu sekali oleh petugas keamanan, meliputi pengecekan *sprayer*, *nozzle*, tanggal kedaluwarsa, tekanan air, serta kondisi umum *hydrant*. Sumber air untuk hydrant berasal dari sumur dan tandon penyimpanan.

c. Regu Pemadam Kebakaran

Tim pemadam kebakaran terdiri dari pekerja yang bekerja secara bergantian dalam sistem shift, dengan setiap shift minimal diisi oleh dua orang atau lebih. Tanggung jawab atas penanganan kebakaran berada pada bagian HSE dan *Safety Committee*.

4. Sistem Izin Kerja

Pelaksanaan izin kerja bertujuan untuk memastikan bahwa pekerjaan dengan risiko tinggi tidak menimbulkan kecelakaan. Pabrik dianjurkan menerapkan berbagai jenis izin kerja, seperti izin kerja panas, izin pengelasan, izin kerja di ketinggian, izin masuk ruang tertutup, serta izin kerja listrik. Pekerja yang membutuhkan izin tersebut harus terlebih dahulu mengajukan permohonan kepada atasan atau supervisor terkait dan kemudian diserahkan kepada petugas keselamatan.

5. Rambu-Rambu dan Poster

Untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman, perlu dipasang poster dan rambu-rambu K3 di area-area umum agar mudah terlihat oleh seluruh karyawan

6. *Behavior Based Safety Management (BBSM)*

Behavior Based Safety Management (BBSM) adalah sebuah program yang bertujuan untuk mengubah perilaku pekerja guna mencegah kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja. Langkah awal yang dilakukan oleh manajemen adalah membuat daftar perilaku pekerja yang berisiko, kemudian menunjuk pengawas untuk memantau dan mengikuti aktivitas kerja para pekerja. Selanjutnya, monitoring program dilakukan oleh rekan sekerja secara bersama-sama. Namun, BBSM juga memiliki kelemahan, yaitu dapat menimbulkan rasa takut di lingkungan kerja dan menurunkan semangat pekerja untuk melaporkan kecelakaan atau penyakit akibat kerja karena khawatir akan disalahkan oleh manajemen.

Program ini mendidik pekerja agar bekerja secara aman dengan memberikan pemahaman tentang risiko yang mungkin terjadi serta menyediakan alat pengendalian berupa kontrol administratif dan *engineering control* agar pekerjaan dapat dilakukan dengan selamat. BBSM juga memberikan penghargaan (*reward*) kepada pekerja yang berhasil bekerja dengan aman dan menerapkan nilai keselamatan (*safety*) dalam pelaksanaan tugasnya, bukan kepada pekerja yang tercepat menyelesaikan pekerjaan. Hasilnya menunjukkan bahwa dalam penerapan BBSM, angka kecelakaan dan penyakit akibat kerja cenderung menurun dari waktu ke waktu.