

## BAB IV UNIT PENDUKUNG PROSES

Unit pendukung proses atau utilitas merupakan salah satu bagian yang sangat penting dalam menunjang keberlangsungan proses produksi di sebuah 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 dalam menyerap dan memindahkan panas dari berbagai peralatan seperti heat exchanger, reaktor, dan kondensor. Sistem yang diterapkan pada unit ini adalah sistem sekali pakai (once-through), yakni setelah digunakan, air langsung dikembalikan ke lingkungan. Air pendingin wajib memenuhi beberapa kriteria tertentu, yaitu tidak bersifat korosif, tidak menimbulkan pembentukan kerak, serta bebas dari mikroorganisme yang dapat mendorong pertumbuhan lumut. Kehilangan air dalam proses ini perlu diimbangi dengan penambahan make up water (Rasta & Suamir, 2021). Beberapa parameter penting yang harus diperhatikan dalam pengolahan air pendingin meliputi:

- Konduktivitas (mengindikasikan jumlah dissolve mineral dalam air)
- pH (mengindikasikan tingkat keasaman atau kebasaan air)
- Alkalinitas (berupa ion karbonat dan ion bikarbonat)
- Hardness atau kesadahan (menunjukkan jumlah ion kalsium dan magnesium yang terkandung 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 <sup>2+</sup> (mg/l)	< 40	< 30

**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	12.390
6.	E – 345	Heat Exchanger	2.562
7.	E – 3410	Heat Exchanger	4.401
8.	R – 210	Reaktor	532.685,706
		<b>TOTAL</b>	<b>1.319.141,990</b>

Total kebutuhan air pendingin = 1.319.141,990 kg/jam

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

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

$$= 120\% \times 1.319.141,990 \text{ kg/jam}$$

$$= 1.582.970,39 \text{ kg/jam}$$

## 2. Air Umpan Boiler

Air umpan boiler atau Boiler Feed Water (BFW) merupakan air yang dimanfaatkan 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). Terdapat beberapa aspek penting yang harus diperhatikan dalam pengelolaan air umpan boiler, antara lain:

- Zat-zat yang dapat menyebabkan korosi, kondisi ini disebabkan oleh adanya kandungan larutan asam dan gas-gas terlarut dalam air, seperti O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dan NH<sub>3</sub>. Oleh karena itu, oksigen perlu dihilangkan dari air melalui dua tahapan, yaitu proses deaerasi dan penambahan senyawa Hidrazin.
- Zat yang menyebabkan kerak (scale forming), permasalahan ini timbul akibat adanya kesadahan dan suhu tinggi, yang umumnya diakibatkan oleh keberadaan garam-garam karbonat dan silikat. Dampaknya meliputi penurunan efisiensi perpindahan panas, peningkatan pressure drop, serta penyumbatan pada pipa-pipa berdiameter kecil. Untuk mengatasi pembentukan kerak akibat sisa kesadahan, ditambahkan senyawa fosfat.

- Zat yang menyebabkan foaming, air yang dihasilkan dari proses pemanasan umumnya dapat menimbulkan foaming pada boiler akibat kandungan zat organik, anorganik, serta partikel tak larut dalam jumlah yang besar. Gejala foaming ini biasanya terjadi akibat tingginya kadar alkalinitas dalam air.

Syarat air umpan boiler berdasarkan (Boiler Feed Water Characteristics as per IS: 10392-1982) adalah sebagai berikut:

**Tabel 4. 3 Syarat Air Umpan Boiler**

<b>Parameter</b>	<b>Satuan</b>	<b>Pengendalian Batas</b>
Total Hardness	Ppm as CaO	< 0,5
pH	Unit	8,9 – 9,5
Dissolved Oxygen	Ppm	0,01
Silika	Ppm as SiO <sub>2</sub>	0,5

Kebutuhan Air Umpan Boiler

**Tabel 4. 4 Kebutuhan Air Umpan Boiler**

<b>No.</b>	<b>Kode</b>	<b>Nama Alat</b>	<b>Kebutuhan Air Umpan (kg/jam)</b>
1.	E – 211	Heat Exchanger	4.090,455
2.	E – 312	Heat Exchanger	5.709,422
3.	E – 323	Heat Exchanger	437,057
4.	E – 338	Reboiler MD 01	4.155,485
5.	E – 347	Reboiler MD 02	12.472,947
<b>TOTAL</b>			<b>26.865,367</b>

Jumlah kebutuhan steam yang digunakan untuk proses adalah 26.865,367 kg/jam. Diperkirakan steam yang hilang 10% karena adanya steam trap dan 2% karena blowdown.

$$\text{Steam trap 10\%} = 10\% \times 26.865,367 \text{ kg/jam} = 2.686,537 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Blowdown 2\%} = 2\% \times 26.865,367 \text{ kg/jam} = 537,307 \text{ kg/jam}$$

Sehingga total kebutuhan air umpan boiler pada pabrik ini adalah:

$$\begin{aligned} \text{Saat start-up} &= \text{kebutuhan BFW} + \text{steam trap} \\ &= 26.865,367 \text{ kg/jam} + 2.686,537 \text{ kg/jam} = 29.551,903 \text{ kg/jam} = \\ &712,323 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\text{Make up steam} = \text{trap} + \text{blowdown}$$

$$= 2.686,537 \text{ kg/jam} + 537,307 \text{ kg/jam} = 3.223,844 \text{ kg/jam} = 77,708$$

m<sup>3</sup>/hari

### 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 tentang 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 ± 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 Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (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 <sub>3</sub> )	mg/l	500
5.	Mangan	mg/l	0,5

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

Pemenuhan kebutuhan air bersih bagi karyawan mengacu pada Keputusan Menteri Kesehatan No. 1405 Tahun 2002, yang menetapkan bahwa setiap individu berhak memperoleh pasokan air bersih dengan kapasitas minimal 120 liter per hari per orang. Standar ini diterapkan guna memastikan terpenuhinya kebutuhan dasar air bersih untuk konsumsi, kebersihan pribadi, dan sanitasi lingkungan kerja secara layak dan higienis. Dengan jumlah karyawan sebanyak 191 orang, kebutuhan air sanitasi dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan air} &= 120 \text{ l}/24 \text{ jam} \cdot \text{orang} \times \text{jumlah karyawan} \times \text{jam kerja}/24 \text{ jam} \\
 &= 120 \text{ l}/24 \text{ jam} \cdot \text{orang} \times 191 \text{ orang} \times 8 \text{ jam}/24 \text{ jam} \\
 &= 318,333 \text{ L/jam} = 316,948 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

#### b. Air untuk laboratorium dan taman

Kebutuhan air untuk laboratorium dan taman ditetapkan sebesar 20% dari kebutuhan air karyawan, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Kebutuhan air} = 20\% \times \text{kebutuhan air karyawan} = 20\% \times 316,948 \text{ kg/jam} = 63,390 \text{ kg/jam}$$

#### c. Air untuk hydrant dan cadangan air

Ketersediaan air hydrant merupakan aspek yang sangat penting guna mendukung upaya pemadaman kebakaran apabila sewaktu-waktu terjadi di area pabrik. Umumnya, air untuk keperluan ini tidak memerlukan persyaratan khusus. Volume air untuk sistem hydrant dan persediaan cadangan ditetapkan sebesar 140% dari total kebutuhan air sanitasi yang mencakup kebutuhan karyawan, laboratorium, dan taman. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Kebutuhan sanitasi} = 316,948 \text{ kg/jam} + 63,390 \text{ kg/jam} = 380,337 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Kebutuhan air} = 140\% \times 380,337 \text{ kg/jam} = 532,472 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Total Kebutuhan Air Sanitasi} = 469,082 \text{ kg/jam}$$

### **Total Kebutuhan Air**

a. Total kebutuhan air saat start-up

Start-up = kebutuhan sanitasi + kebutuhan air pendingin + kebutuhan air umpan boiler

$$= 469,082 + 1.582.970,39 + 29.551,903 \text{ kg/jam}$$

$$= 1.612.991,37 \text{ kg/jam}$$

b. Total kebutuhan air saat normal operasi

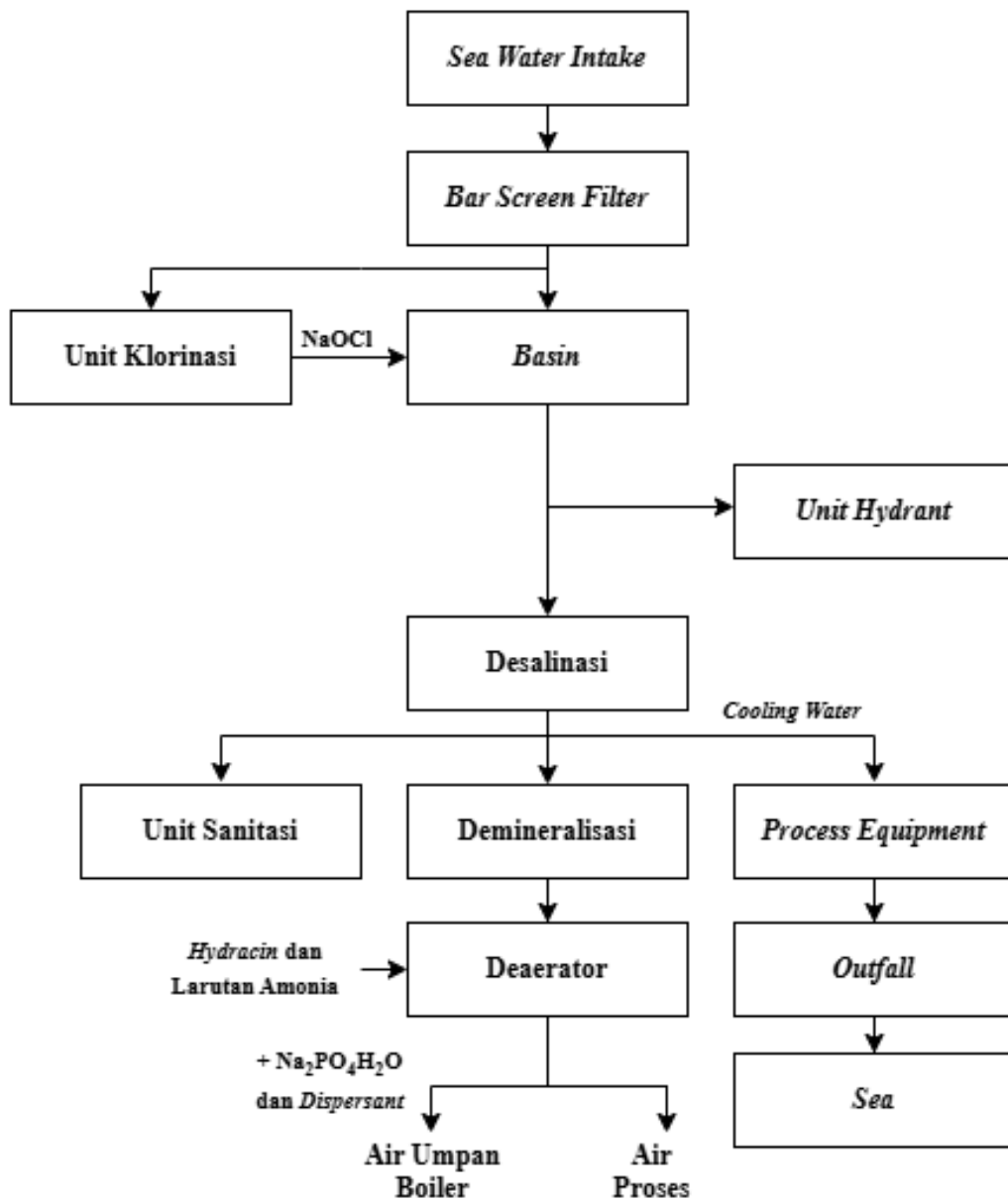
Normal = kebutuhan sanitasi + make up air pendingin + make up BFW

$$= 469,082 + 1.582.970,39 + 3.223,844 \text{ kg/jam}$$

$$= 1.586.663,31 \text{ kg/jam}$$

### **4.1.2 Pengolahan Air**

Apabila sumber 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. Gambar 4.1 menggambarkan diagram alir yang menjelaskan tahapan-tahapan pengolahan air laut.



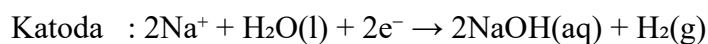
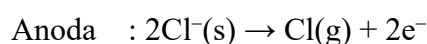
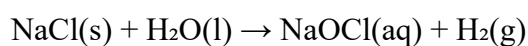
Gambar 4. 1 Pengolahan Air Laut (Veera, 2018).

## 1. Proses Sea Water Intake dan Screening

Air laut diambil dari sumbernya menggunakan pipa atau pompa, kemudian dialirkan melalui saringan berupa trash rack untuk memisahkan kotoran berukuran besar seperti sampah dan hewan laut. Selanjutnya, air disaring kembali menggunakan rotary screen untuk menangkap partikel-partikel yang lebih kecil. Setelah melalui proses penyaringan, air laut masuk ke bagian Sea Water Intake, di mana natrium hipoklorit disuntikkan untuk membasmi mikroorganisme yang berpotensi tumbuh di dalam penukar panas dan menyebabkan penyumbatan pada sistem pendingin. Air yang telah disterilkan tersebut kemudian dipompa menuju bak penampung (basin), lalu dialirkan ke unit klorinasi, unit hydrant, dan unit desalinasi.

## 2. Unit Klorinasi

Unit klorinasi berfungsi menghasilkan larutan natrium hipoklorit (NaOCl) dengan konsentrasi antara 1.000 hingga 1.500 ppm melalui proses elektrolisis air laut. Larutan NaOCl ini dimanfaatkan sebagai disinfektan guna mencegah pertumbuhan ganggang dan mikroorganisme lainnya yang berpotensi menyebabkan pembentukan kerak (scaling) atau penyumbatan pipa. Air laut yang masuk terlebih dahulu disaring menggunakan strainer untuk memisahkan padatan tersuspensi yang dapat menempel pada elektroda di dalam sel elektrolit. Proses elektrolisis berlangsung di dalam cell bank yang berisi anoda dan katoda. Gas klorin terbentuk pada permukaan anoda, sementara caustic soda terbentuk pada katoda. Kedua zat tersebut kemudian bereaksi membentuk larutan natrium hipoklorit. Reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:



Larutan NaOCl yang dihasilkan disimpan dalam tangki penyimpanan dan disuntikkan secara terus-menerus ke sistem sea water intake dengan konsentrasi 1 ppm. Selain itu, dilakukan juga shock dosing secara periodik dengan konsentrasi hingga 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 air hydrant, kemudian dialirkan melalui jaringan pipa hydrant yang

tersebar di seluruh area pabrik. Instalasi pipa ini difokuskan pada titik-titik strategis untuk 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 menyuplai air dengan laju aliran 1.620 liter per menit selama kurang dari 30 menit.

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

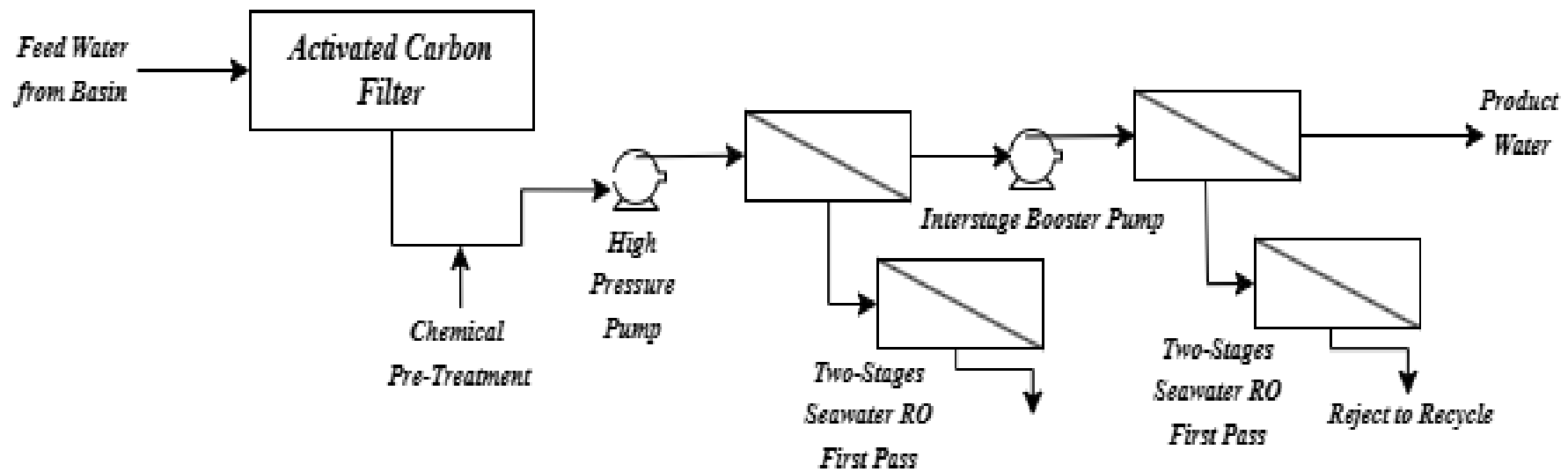
#### 4. Unit Desalinasi

Unit desalinasi berperan mengubah air laut menjadi air tawar (air desal) yang digunakan untuk keperluan sistem pendingin dan air umpan boiler. Kualitas air hasil proses ini dikendalikan sesuai standar yang ditetapkan.

**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

Pada pabrik ini, proses desalinasi dilakukan menggunakan metode Reverse Osmosis (RO), yang berfungsi menyaring molekul-molekul besar serta ion-ion dari air laut seperti  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , dan  $\text{CO}_3^{2-}$ . Membran yang digunakan bersifat selektif, artinya hanya memungkinkan pelarut atau partikel berukuran kecil untuk melewatinya, sementara zat terlarut berupa molekul besar dan ion-ion tertahan (Menningmann, 2021). Ilustrasi sederhana dari proses desalinasi dengan reverse osmosis ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Proses desalinasi dengan reverse osmosis (Veera, 2018).

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

**i. Pengolahan Awal (pre-treatment)**

Sebelum digunakan, air umpan terlebih dahulu diproses agar sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan membran. Parameter seperti kekeruhan, klorin sisa, senyawa organik volatil, serta logam-logam yang terkandung dalam air umpan dihilangkan dengan mengalirkan air melalui Activated Carbon Filter (ACF). Selanjutnya dilakukan injeksi bahan kimia untuk menyesuaikan pH 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 agar dapat melewati membran reverse osmosis. Tekanan ini berfungsi sebagai gaya pendorong utama (driving force) yang memungkinkan proses pemisahan berlangsung dengan mengatasi perbedaan konsentrasi antara larutan pekat dan larutan yang telah dimurnikan.

**iii. Membrane Separation**

Membran permeabel yang digunakan dalam proses reverse osmosis dirancang untuk menahan garam-garam terlarut serta kontaminan lainnya, sekaligus tetap memungkinkan molekul air murni melewatinya sebagai produk akhir. Dengan selektivitas ini, membran memastikan bahwa hanya air bersih yang lolos sementara ion garam tertahan di sisi umpan.

**iv. Stabilisasi**

Air produk keluaran dari membran umumnya mengalami penyesuaian pH sebelum dialirkan ke sistem distribusi. Penyesuaian ini penting untuk memastikan air memiliki tingkat keasaman atau kebasaan yang sesuai standar operasional, serta untuk mencegah korosi pada jaringan perpipaan dan peralatan di hilir.

**5. Cooling Water untuk Process Equipment**

Pada industri ini, air laut dimanfaatkan sebagai media pendingin. Proses pembuatan cooling water diawali dengan memompa sebagian air hasil desalinasi menuju peralatan proses untuk mendinginkan mesin atau alat produksi. Setelah digunakan, air dialirkan ke outfall untuk dikembalikan ke laut. Penempatan outfall dan intake air laut harus dirancang cermat agar tidak terjadi sirkulasi kembali air panas. Berdasarkan ketentuan Kementerian Lingkungan Hidup, air buangan dari outfall tidak boleh mengandung limbah B3 atau

minyak, serta memiliki suhu maksimum 40°C sesuai 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 untuk berbagai keperluan non-proses. Setelah diproses, air dipompa menuju tangki penyimpanan khusus untuk kebutuhan sanitasi, kemudian dialirkan melalui jaringan perpipaan ke berbagai area penggunaan seperti fasilitas kebersihan, irigasi taman, dan kebutuhan umum lainnya.

## 7. Unit Demineralisasi

Unit ini berfungsi mencegah masuknya mineral, baik kation maupun anion, yang terbawa oleh recovery condensate ke dalam air hasil desalinasi. Dalam unit demineralisasi, air dimurnikan dengan mengalirkannya melalui tangki berisi resin penukar ion, baik resin kation maupun anion (DeLoach Industries, 2023). Peralatan yang digunakan dalam proses ini adalah:

- Cation Exchanger: Alat yang berisi resin khusus untuk menghilangkan tingkat kesadahan air akibat keberadaan kation-kation tertentu seperti  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^+$ , dan  $\text{Al}^{3+}$ . Ion logam dalam air akan ditukar dengan ion  $\text{H}^+$  yang terdapat pada resin, sehingga air hasil proses memiliki sifat asam. Apabila pH air keluaran melampaui ambang batas, resin perlu diregenerasi menggunakan larutan asam klorida.
- Anion Exchanger: Setelah melewati cation exchanger, air dialirkan ke anion exchanger untuk menghilangkan anion seperti  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , dan  $\text{SiO}_3^{2-}$ . Ion-ion negatif ini ditukar dengan ion  $\text{OH}^-$  dari resin anion, sehingga air menjadi netral. Regenerasi dilakukan menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH).

Air hasil dari unit demineralisasi dimanfaatkan sebagai air umpan boiler, proses regenerasi, pencucian balik (backwash) resin, dan kebutuhan lainnya. Sebelum digunakan sebagai boiler feed water (BFW), air demineralisasi dialirkan ke dalam deaerator untuk menghilangkan oksigen terlarut. Beberapa bahan kimia yang ditambahkan ke dalam BFW antara lain:

1. Hydrazin: berfungsi mengikat oksigen. Reaksi:  $2\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{N}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ . Nitrogen hasil reaksi dihilangkan melalui proses stripping.

2. Larutan Amonia: berfungsi 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 boiler, air ditambahkan zat dispersant untuk mencegah partikel halus menempel pada permukaan pipa boiler. Selanjutnya dilakukan proses blowdown untuk membuang endapan yang terbentuk.

#### 4.2 Unit Power Station (Penyediaan Tenaga Listrik)

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

Generator yang digunakan merupakan jenis generator AC 3 fasa yang memiliki keunggulan sebagai berikut:

- Daya lebih besar
- Tenaga listrik stabil
- Kawat penghantar yang digunakan lebih sedikit
- Motor 3 fasa 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	0,177	0,132
2.	Pompa	L – 121	1	4,418	3,295
3.	Pompa	L – 131	1	0,663	0,494
4.	Pompa	L – 322	1	0,133	0,099
5.	Pompa	L – 331	1	0,133	0,099
6.	Pompa	L – 335	1	0,133	0,099
7.	Pompa	L – 341	1	0,146	0,109
8.	Pompa	L – 344	1	0,133	0,099
9.	Pompa	L – 349	1	0,292	0,217
10.	Pompa	L – 337	1	0,252	0,188
11.	Pompa	L – 346	1	0,265	0,198
12.	Kompresor	C – 324	1	317,254	236,576
		TOTAL		323,997	241,604

b. Keperluan Utilitas

**Tabel 4. 10 Kebutuhan Listrik Unit Utilitas**

No.	Nama Alat	HP	kWh
1.	Pompa air pendingin	20	14,914
2.	Pompa sanitasi	2	1,491
3.	Pompa hydrant	3	2,237
4.	Pompa air umpan boiler	2	1,491
5.	Kompresor udara	5	3,729
	<b>TOTAL</b>	<b>32</b>	<b>23,862</b>

c. Pengolahan Limbah

Kebutuhan energi untuk pengolahan limbah diperkirakan sebesar  $15 \text{ HP} = 15 \times 0,75 \text{ kW} = 11,185 \text{ kWh}$

d. Laboratorium, bengkel dan instrumentasi

Kebutuhan listrik untuk laboratorium, bengkel, dan instrumentasi diperkirakan sebesar  $15 \text{ HP} = 15 \times 0,75 \text{ kW} = 11,185 \text{ kWh}$

e. Total kebutuhan daya untuk proses produksi

$$= 241,604 \text{ kWh} + 23,862 \text{ kWh} + 11,185 \text{ kWh} + 11,185 \text{ kWh} = 287,838 \text{ kWh}$$

#### **4.2.2 Listrik untuk Kegiatan Operasional**

a. Listrik untuk Penerangan

Perkiraan jumlah energi listrik yang dibutuhkan untuk keperluan penerangan dapat dihitung menggunakan pendekatan Luminous Efficacy atau efisiensi cahaya. Konsep ini mengacu pada seberapa efisien sebuah lampu mengubah energi listrik menjadi cahaya tampak, yang diukur dalam satuan lumen. Kebutuhan pencahayaan per satuan luas ditentukan menggunakan formula:

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

Tingkat pencahayaan dalam satuan lux bervariasi tergantung jenis dan fungsi area. Dalam perancangan ini digunakan nilai standar lux yang mengacu pada pedoman SNI 03-6197-2000.

**Tabel 4. 11 Kebutuhan Listrik untuk Penerangan**

<b>Bangunan Indoor</b>	<b>Luas (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Lux (lumen/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Lumen</b>
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 Serba Guna (Aula)	1.000	200	200.000
Ruang control	800	350	280.000
Pemadam kebakaran	500	100	50.000
<b>TOTAL</b>	<b>7.345</b>		<b>1.600.000</b>
<b>Bangunan Outdoor</b>	<b>Luas (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Lux (lumen/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Lumen</b>
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
<b>TOTAL</b>	<b>14.100</b>		<b>1.305.000</b>

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

$$\text{Jumlah lampu indoor} = 1.600.000 / 1.450 = 1.104 \text{ lampu}$$

$$\text{Total daya penerangan indoor} = 1.104 \times 24 \text{ watt} / 1000 = 26,496 \text{ kW}$$

Untuk area outdoor menggunakan lampu Philips LED tipe spiral (Helix) dengan daya 42 watt. Lumen output tiap lampu adalah 2.650 lumen.

$$\text{Jumlah lampu outdoor} = 1.305.000 / 2.650 = 493 \text{ lampu}$$

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

$$\text{Total daya penerangan} = 26,496 + 20,706 = 47,202 \text{ kWh}$$

b. Listrik untuk Air Conditioner (AC)

Sistem tata udara akan menggunakan AC inverter LG D13CMV HYBRID ULTIMA SERIES – 1,5 PK. AC dengan kapasitas 1,5 PK memerlukan daya listrik sebesar 970 watt untuk 49 m<sup>2</sup> ([www.lg.com](http://www.lg.com)).

**Tabel 4. 12 Luas Ruang yang Memerlukan AC**

<b>Ruang</b>	<b>Luas (m<sup>2</sup>)</b>
Gedung Kantor Utama	1.500
Kantor K3	300
Poliklinik	100
Koperasi	40
Laboratorium	200
Masjid	300
Aula	300
Ruang Kontrol	500
<b>TOTAL</b>	<b>3.240</b>

Jumlah AC yang dibutuhkan =  $3.240 \text{ m}^2 / 49 \text{ m}^2 = 67 \text{ AC}$

Kebutuhan listrik =  $67 \times 970 \text{ watt} \times 0,001 \text{ kW/watt} = 64,99 \text{ kWh}$

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:

=  $47,202 \text{ kW} + 64,99 \text{ kW} + 10 \text{ kW} = 122,192 \text{ kWh}$

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

- Kebutuhan listrik produksi sebesar 287,838 kWh dan operasional sebesar 122,192 kWh disuplai oleh PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara).
- Sebagai cadangan, disediakan generator dengan kapasitas 400 kWh.

### 4.3 Unit Penyediaan Steam

#### 4.3.1 Kebutuhan Steam

Steam digunakan sebagai media pemanas 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 Boiler**

No.	Kode	Nama Alat	Kebutuhan Air Umpan (kg/jam)
1.	E – 211	Heat Exchanger	4.090,455
2.	E – 312	Heat Exchanger	5.709,422
3.	E – 323	Heat Exchanger	437,057
4.	E – 338	Reboiler MD 01	4.155,485
5.	E – 347	Reboiler MD 02	12.472,947
TOTAL			26.865,367

BFW yang dibutuhkan = 26.865,367 kg/jam

#### 4.4 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Unit ini bertujuan memenuhi kebutuhan bahan bakar untuk boiler, furnace, serta generator. Bahan bakar yang digunakan adalah natural gas, dengan pertimbangan:

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

##### 4.4.1 Perhitungan Kapasitas Boiler

Massa Steam = 26.865,367 kg/jam

Massa kondensat = 80% x 26.865,367 kg/jam = 21.492,294 kg/jam

Massa BFW = 26.865,367 kg/jam

Tekanan steam = 404,2 kPa

Suhu input boiler = 30°C = 303,15 K

Suhu steam = 144°C = 417,15 K

$\lambda_{\text{steam}}$  pada suhu 144°C = 2131,8 kJ/kg

Q = 104.205.931,007 kJ/jam = 98.768.152,909 Btu/jam

#### 4.4.2 Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar

##### a. Bahan Bakar Boiler

Pada boiler digunakan bahan bakar natural gas. Data LHV (Lower Heating Value) 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 <sub>4</sub>	55.576
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	51.952
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	50.370
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	49.389
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	49.547
i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	48.950
n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	49.046
n-C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	48.717
N <sub>2</sub> & H <sub>2</sub> O	0
CO <sub>2</sub> & CO	0
H <sub>2</sub> S	16.501

**Tabel 4. 15 Perhitungan Lower Heating Value Natural Gas**

Komponen	BM	% massa	LHV	LHV.xi
CH <sub>4</sub>	16	0,8332	55.576	46.305,923
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30	0,053	51.952	2.753,456
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44	0,0293	50.370	1.475,841
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58	0,0065	49.389	321,029
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58	0,0079	49.547	391,421
i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72	0,0037	48.950	181,115
n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72	0,0024	49.046	117,710
n-C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	86	0,0019	48.717	92,562
N <sub>2</sub>	28	0,0126	0	0
CO <sub>2</sub>	44	0,0494	0	0
CO	28	0	0	0
H <sub>2</sub> S	34	0,00001	16.501	0,165
H <sub>2</sub> O	18	0	0	0
<b>TOTAL</b>				<b>51.639,223</b>

$$\text{LHV Natural gas} = 51.639,223 \text{ kJ/kg} = 22.204,866 \text{ BTU/lb}$$

Dengan asumsi efisiensi boiler 80%, kebutuhan bahan bakar dihitung sebagai berikut:

$$\text{Massa bahan bakar} = Q / (\eta \times \text{Heating Value})$$

$$= 98.768.152,909 \text{ Btu/jam} / (80\% \times 22.204,866 \text{ Btu/lb})$$

$$= 5.562,190 \text{ lb/jam}$$

b. Bahan Bakar Furnace

Furnace berfungsi memanaskan Dowtherm A yang digunakan sebagai media pemanas pada reboiler kolom distilasi. Sumber energi untuk furnace berasal dari natural gas dengan LHV = 22.204,870 BTU/lb.

$$Q \text{ Dowtherm A total} = 4.998.276,658 \text{ kJ/jam} = 4.738.366,272 \text{ Btu/jam}$$

$$\text{Massa natural gas} = 4.738.366,272 \text{ Btu/jam} / (80\% \times 22.204,870 \text{ Btu/lb}) = 266,741 \text{ lb/jam}$$

c. Bahan Bakar Generator

Spesifikasi generator yang digunakan guna memenuhi kebutuhan listrik adalah:

- Tipe : AC Generator
- Kapasitas : 400 kW
- Tegangan : 170 VOLT
- Efisiensi : 80%
- Phase : 3
- Bahan bakar : Natural gas

Kebutuhan bahan bakar:

$$\text{Kapasitas} = 400 \text{ kW} = 1.366.000 \text{ BTU/jam}$$

$$\text{Kebutuhan natural gas} = 1.366.000 / (80\% \times 22.204,870) = 76,898 \text{ lb/jam} = 1.747,672 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

#### 4.5 Unit Compressor (Penyediaan Udara Tekan)

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

a. Plant Air (PA)

Plant air disalurkan kepada user melalui header plant air sebagai jalur distribusi utama. Udara ini dialirkan ke berbagai unit proses di dalam pabrik dan dimanfaatkan untuk keperluan seperti pembersihan peralatan proses serta sebagai suplai udara pada utility station.

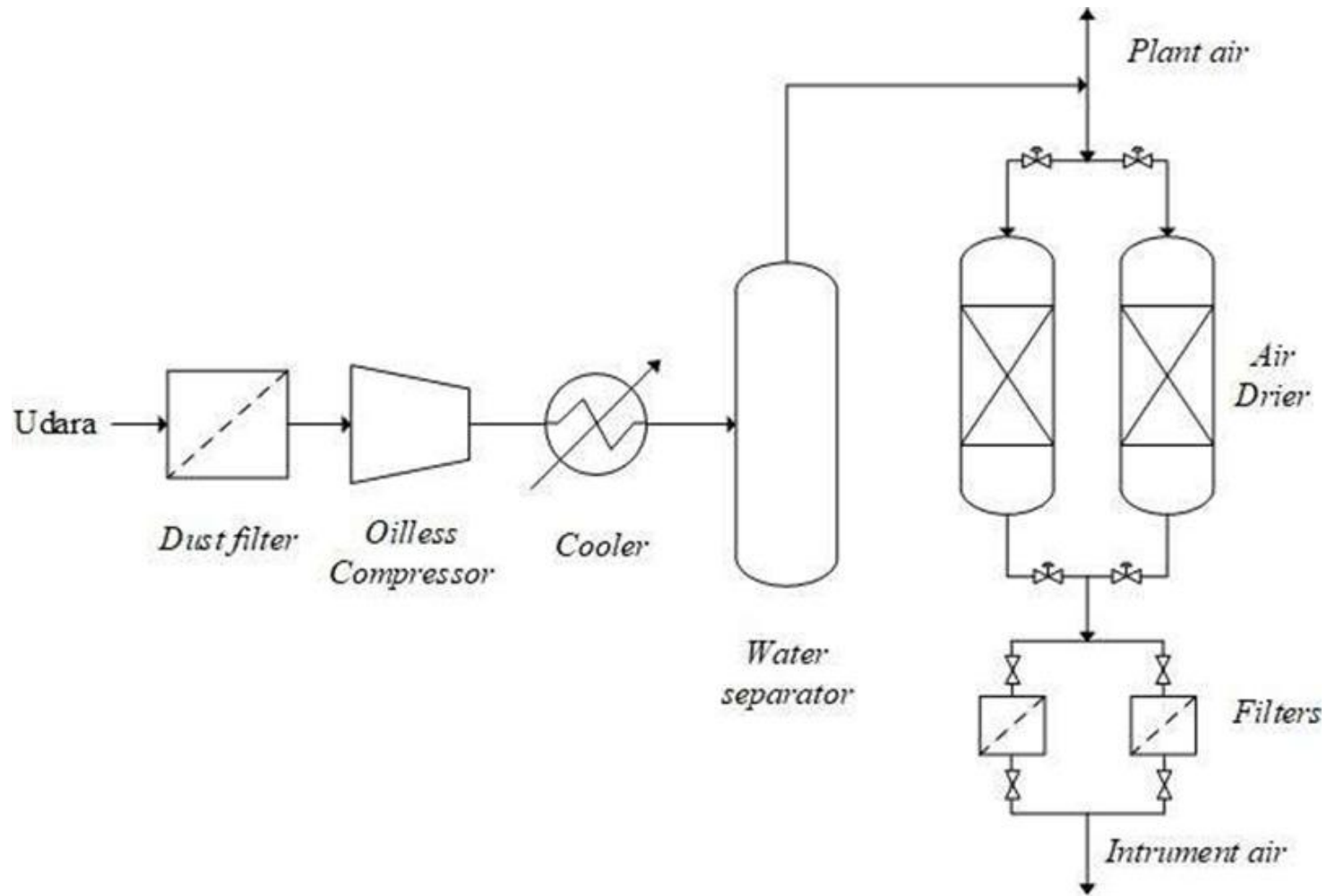
#### b. Instrument Air

Udara instrumentasi (instrument air) terlebih dahulu melewati pre-filter untuk menyaring debu atau partikel padat dari lingkungan. Selanjutnya, udara dialirkan ke dalam air dryer yang mengandung zeolit untuk menyerap uap air. Instrument air digunakan sebagai sumber tenaga untuk pengoperasian berbagai kontrol katup, seperti pressure control valve, 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 penting agar sistem instrumentasi tetap kering dan tidak terganggu oleh kelembapan.

Udara instrumentasi diambil dari udara bebas di lingkungan sekitar pabrik, namun tekanannya harus ditingkatkan menggunakan kompresor. Udara tersebut harus dikeringkan hingga mencapai temperatur dew point dengan suhu pengeringan yang direkomendasikan pada kisaran 40°C. Selain itu, udara instrumentasi harus bebas dari partikel padat, minyak, gas berbahaya, serta zat korosif, dengan kandungan partikel padat kurang dari 0,1 g/Nm<sup>3</sup> berukuran <3µm. Tekanan kerja udara harus berada dalam rentang 4 hingga 7 bar g. Sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 4.16.

**Tabel 4. 16 Kualitas Udara Instrumen (Broughton, 1994)**

<b>Parameter</b>	<b>Nilai</b>
Tekanan	7,5 kg/cm <sup>2</sup>
H <sub>2</sub> O	Max. 125 ppm



Gambar 4. 3 Blok Diagram Penegolahan Udara Tekan (Broughton,1994).

Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4.3, untuk mencukupi kebutuhan udara baik sebagai plant air maupun instrument air digunakan unit kompresor yang menyalurkan udara bertekanan melalui jaringan perpipaan. Udara mula-mula melewati dust filter untuk menyaring debu, kemudian dikompresi menggunakan oil-less compressor. Proses kompresi menyebabkan suhu udara meningkat sehingga perlu didinginkan menggunakan cooler. Selanjutnya, udara dialirkan ke water separator untuk mengurangi kadar air, kemudian dibagi menjadi dua aliran, yaitu sebagai plant air dan untuk proses lebih lanjut menjadi instrument air melalui tahap pengeringan dan filtrasi.

## **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, sehingga proses produksi dapat dikendalikan secara konsisten sesuai spesifikasi yang ditetapkan. Selain itu, laboratorium juga melakukan analisis terhadap kualitas limbah yang dihasilkan dari unit pengolahan limbah (Saputra & Rizky Mahaputra, 2022). Adapun fungsi utama laboratorium meliputi:

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.
4. Mengawasi serta menganalisis kualitas air yang digunakan dalam proses produksi, seperti air baku, air pendingin, dan air umpan boiler.

### **4.6.2 Bagian-Bagian Laboratorium**

Di dalam laboratorium terdapat 3 bagian pokok yaitu:

1. Laboratorium Pengendalian Mutu (Quality Control): Laboratorium ini bertugas menganalisis spesifikasi komposisi bahan baku berupa amonia dan etilen oksida, serta memeriksa komposisi produk MEA termasuk sifat fisik dan kimianya. Beberapa sifat yang diamati antara lain specific gravity, viskositas, kandungan air, boiling point, dan flash point.

2. Laboratorium Pengendalian Baku Mutu Lingkungan: Laboratorium ini bertanggung jawab menganalisis limbah cair dan gas yang dihasilkan dari proses produksi, termasuk kualitas air pendingin sebelum dibuang ke laut.
3. Laboratorium Penelitian dan Pengembangan: Laboratorium ini bertujuan melakukan penelitian dan pengembangan terkait permasalahan kualitas material dalam proses produksi, bersifat tidak rutin dan berfokus pada inovasi.

#### **4.6.3 Alat-Alat Utama yang Digunakan di Laboratorium**

- Gas Chromatography – Mass Spectrometry: Digunakan untuk analisa kadar CO<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub> dalam aliran proses.
- Water Content Tester: Digunakan untuk analisa kadar air yang terkandung dalam bahan baku maupun produk.
- pH meter: Digunakan untuk mengukur tingkat keasaman dan kebasaan pada air.
- Hydrometer: Digunakan sebagai alat pengukur specific gravity.
- Turbidity meter: Digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air.
- Viskometer: Digunakan untuk mengukur tingkat viskositas fluida.
- Liquid Chromatography: Digunakan untuk analisa kandungan produk dan bahan baku.

### **4.7 Unit Pengolahan Limbah**

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

#### **4.7.1 Pengolahan Limbah Cair**

1. Air limbah sanitasi berasal dari seluruh fasilitas toilet di area pabrik dan perkantoran. Limbah ini diolah di unit pengolahan sanitasi dengan metode lumpur aktif, disertai penambahan disinfektan berupa natrium hipoklorit (Na-hipoklorit) untuk membunuh mikroorganisme berbahaya.
2. Air berminyak dari pelumas bekas pompa dipisahkan berdasarkan perbedaan massa jenis antara air dan minyak. Minyak yang mengapung dialirkan ke unit penampungan akhir untuk dimusnahkan melalui

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 ( $\text{NH}_3$ ) dan sedikit MEA diolah menggunakan sistem lumpur aktif 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 (Mahlangu & Mamba, 2023).

#### **4.7.2 Pengolahan Limbah Gas**

Untuk mencegah pencemaran udara akibat emisi gas buang dari proses pembakaran di boiler, dapat dilakukan pengolahan menggunakan Electrostatic Precipitator (ESP). Sistem ini bekerja dengan mengikat partikel gas buang melalui pemberian tegangan listrik tinggi pada kawat elektroda bermuatan negatif. Muatan ini menyebabkan partikel debu menjadi bermuatan negatif sehingga tertarik dan menempel pada pelat logam bermuatan positif. Setelah partikel tertangkap, gas yang telah bersih diteruskan menuju cerobong untuk dilepaskan ke atmosfer (Intensiv Filter Himenviro, 2025).

#### **4.7.3 Pengolahan Limbah Padatan**

Limbah padat yang dihasilkan sebagian besar berasal dari aktivitas domestik seperti kertas dan plastik. Sampah ini dikumpulkan di wadah penampungan kemudian diangkut ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Sementara itu, limbah padat yang tergolong bahan berbahaya dan beracun (B3) disimpan di Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) dengan sistem tertutup (close system) untuk mencegah kebocoran yang dapat mencemari tanah, air, maupun lingkungan sekitar, sebelum dikirim ke TPA khusus.

### **4.8 Kesehatan Keselamatan Kerja dan Lingkungan Hidup**

Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup (K3LH) merupakan upaya perlindungan guna memastikan seluruh pekerja tetap dalam kondisi aman dan sehat selama menjalankan tugas di lingkungan kerja. Perlindungan ini juga mencakup pihak lain yang berada di area kerja, serta menjamin proses dan hasil produksi berlangsung secara aman. Oleh sebab itu, aspek K3LH harus dikelola secara serius, menyeluruh, dan terintegrasi (Isworo & Santosa, 2021).

Pabrik Monoethanolamine menetapkan kebijakan khusus yang mencakup perencanaan, pelaksanaan, serta pemeliharaan keselamatan instalasi, peralatan, dan pekerja. Manajemen perusahaan mendukung penuh program pencegahan kerugian yang menyangkut keselamatan karyawan, perlindungan aset, kelangsungan operasional, maupun keamanan masyarakat sekitar. 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 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 K3LH, di antaranya: melakukan pengawasan keselamatan operasional selama produksi, memastikan ketersediaan dan kelayakan peralatan keselamatan kerja, berperan sebagai instruktur dalam pelatihan keselamatan, menyusun rencana kerja untuk mencegah kecelakaan, merancang prosedur tanggap darurat untuk kebakaran maupun insiden proses, serta memantau jumlah dan kualitas limbah pabrik.

#### **4.8.1 Fasilitas Pelayanan Kesehatan**

Penyediaan fasilitas kesehatan yang memadai berperan penting dalam mendukung produktivitas pekerja serta menyelamatkan nyawa dalam kondisi darurat. Menurut Pedoman Klinik di tempat Kerja/Perusahaan (2009), beberapa bentuk layanan kesehatan yang sebaiknya tersedia di lingkungan pabrik antara lain:

1. Kotak P3K: Disediakan di setiap unit produksi dan diperiksa secara rutin setiap bulan. Peralatan yang terdapat di dalamnya antara lain oxygen spray, celemek pelindung, tongue spatula, tourniquet, kasa steril, perban, sarung tangan karet, serta kacamata pelindung.
2. Petugas P3K: Perwakilan dari setiap unit kerja yang bertugas memberikan penanganan awal saat terjadi keadaan darurat yang berpotensi mengancam keselamatan karyawan.

3. Kendaraan Gawat Darurat: Fasilitas penting yang harus selalu dalam kondisi siap pakai untuk memberikan pertolongan pertama dan evakuasi korban menuju rumah sakit.
4. Asuransi Kesehatan: Perusahaan menyediakan Jamsostek yang mencakup jaminan hari tua, jaminan kecelakaan kerja, jaminan kematian, serta jaminan pemeliharaan kesehatan.
5. Poliklinik: Bertanggung jawab memberikan layanan kesehatan menyeluruh kepada karyawan dan keluarganya, baik untuk penyakit yang berkaitan dengan pekerjaan maupun penyakit umum.
6. Tenaga Kesehatan: Meliputi dokter umum dan perawat yang siap memberikan pertolongan kepada karyawan.
7. Pelayanan Kesehatan: Mencakup pemeriksaan kesehatan kerja pra-kerja, pemeriksaan khusus, pemeriksaan rutin berkala, serta penanganan kasus kecelakaan kerja.
8. Gizi Kerja: Perusahaan menyediakan kantin khusus karyawan dengan kebersihan yang terjaga, memastikan pekerja mendapatkan asupan nutrisi yang lengkap.

#### **4.8.2 Potensi Bahaya di Sekitar Pabrik**

Berdasarkan proses produksi yang berlangsung di pabrik ini, dapat dikenali berbagai potensi bahaya yang berasal dari karakteristik lingkungan kerja, tahapan proses produksi, serta faktor manusia. Potensi bahaya menurut Pulansari (2025) meliputi:

1. Terjatuh: Risiko terjatuh dari ketinggian merupakan bahaya serius yang dapat mengakibatkan cedera permanen atau bahkan kematian, terutama saat pekerja melakukan aktivitas di tempat tinggi seperti menaiki tangga.
2. Kejatuhan Benda: Risiko ini dapat terjadi di area penyimpanan peralatan kerja apabila barang-barang tidak disusun dengan rapi pada raknya.
3. Percikan Bahaya Kimia: Tenaga kerja harus selalu siaga menghadapi kemungkinan percikan bahan kimia akibat tumpahan, kebocoran pada pipa, tangki, atau peralatan, serta risiko pelepasan gas hasil reaksi ke lingkungan udara.
4. Terpapar Benda Panas: Risiko ini berasal dari proses pembakaran atau aktivitas serupa yang mengharuskan tangan pekerja berada dekat dengan peralatan bersuhu tinggi.
5. Kebakaran: Risiko kebakaran dapat terjadi di area pemeliharaan akibat percikan api saat pengelasan atau pemotongan besi, di gudang karena bahan mudah terbakar, maupun akibat korsleting listrik.

6. Ledakan: Ledakan merupakan potensi bahaya serius karena pelepasan energi panas dapat memicu kebakaran hebat, salah satunya dari area kantin apabila tabung LPG yang digunakan mengalami ledakan.

#### **4.8.3 Faktor Bahaya di Sekitar Pabrik**

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

1. Kebisingan: Sebagian besar kebisingan berasal dari mesin-mesin yang digunakan dalam proses produksi. Tenaga kerja di area dengan tingkat kebisingan tinggi selama 8 jam sehari menghadapi risiko gangguan pendengaran. Salah satu langkah pencegahan yang dapat diterapkan adalah menyediakan ear plug di lokasi-lokasi berisiko tinggi.
2. Penerangan: Penerangan di pabrik menggunakan kombinasi cahaya alami dan buatan. Apabila cahaya alami sudah mencukupi, lampu buatan akan dimatikan untuk menghemat energi. Namun di beberapa area seperti ruang administrasi dan zona produksi, penerangan tambahan diperlukan karena pekerjaan di sana membutuhkan ketelitian tinggi.
3. Getaran: Getaran di pabrik bersumber 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**

Guna melindungi para pekerja dari berbagai risiko bahaya, perusahaan menyediakan sejumlah fasilitas keselamatan antara lain:

- Helm: Alat pelindung kepala dari benturan serta kejatuhan benda keras.
- Safety Glass: Alat pelindung mata yang diperuntukkan bagi pekerja di bagian maintenance, workshop, serta laboratorium.

- Masker: Dipakai untuk melindungi pekerja dari bahaya di udara seperti debu, gas beracun, dan zat korosif.
- Sarung Tangan: Dipakai oleh pekerja yang berinteraksi langsung dengan bahan atau lingkungan yang berpotensi menyebabkan panas atau iritasi pada kulit.
- Safety Shoes: Alat pelindung 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 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 berada di bawah pengawasan SHE (Safety, Health, and Environment). Sistem penanggulangan kebakaran yang diterapkan bersifat terpadu dan mandiri, mencakup beberapa aspek:

- Sistem Isyarat Bahaya Kebakaran: Menggunakan Fire Alarm System yang dipasang di setiap unit dan mengeluarkan suara alarm saat terjadi kebakaran.
- Sistem Pemadam Kebakaran: Menggunakan Alat Pemadam Api Ringan (APAR) jenis Foam dan Powder yang dipasang pada ketinggian 150 cm dari lantai dengan jarak antar APAR sekitar 15 meter. Sistem hydrant juga dipasang di lokasi-lokasi strategis di seluruh area pabrik dan diperiksa setiap dua minggu sekali.
- Regu Pemadam Kebakaran: Terdiri dari pekerja yang bertugas secara bergantian dalam sistem shift, dengan minimal dua orang per shift. Tanggung jawab penanganan kebakaran berada pada bagian HSE dan Safety Committee.

## 4. Sistem Izin Kerja

Pelaksanaan izin kerja bertujuan 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.

## 5. Rambu-Rambu dan Poster

Untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman, 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 program yang bertujuan mengubah perilaku pekerja guna mencegah kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja. Langkah awal yang dilakukan manajemen adalah membuat daftar perilaku pekerja yang berisiko, menunjuk pengawas untuk memantau aktivitas kerja, dan melakukan monitoring program bersama rekan sekerja. 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. BBSM juga memberikan penghargaan (reward) kepada pekerja yang berhasil bekerja dengan aman. Hasilnya menunjukkan bahwa dalam penerapan BBSM, angka kecelakaan dan penyakit akibat kerja cenderung menurun dari waktu ke waktu.