BAB IV UNIT PENDUKUNG PROSES

4.1 Unit Pengadaan dan Pengolahan Air

Selain unit proses utama, pabrik monoethanolamine (MEA) memerlukan fasilitas utilitas yang berperan dalam menunjang kelancaran operasi produksi. Unit utilitas yang digunakan meliputi:

4.1.1 Pengadaan Air

1. Air Pendingin

Unit air pendingin berfungsi menyerap panas dari peralatan proses dengan sistem *once-through*. Air pendingin harus memenuhi persyaratan kualitas agar tidak menimbulkan korosi, kerak, maupun gangguan biologis, sedangkan kehilangan air selama operasi digantikan dengan *make-up water*.

Beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan dalam pengolahan air pendingin meliputi:

a. Konduktivitas (menunjukkan jumlah mineral terlarut dalam air)
b. pH (menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan air)
c. Alkalinitas (berupa ion karbonat dan bikarbonat)
d. Hardness atau kesadahan (menunjukkan kandungan ion kalsium dan magnesium dalam air)

Persyaratan air sebagai *cooling water* dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

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
Parameter	**Circulating Water**	**Make up Water**
Silica (mg/l)	< 150	< 50
Ca2+ (mg/l)	< 40	< 30

Kebutuhan air pendingin pada pabrik *monoethanolamine* disajikan pada Tabel 4.2 berikut.

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	11.800
6.	E – 345	Heat Exchanger	2.440
7.	E – 3410	Heat Exchanger	4.191
8.	R – 210	Reaktor	507.320,72
TOTAL			**1.292.854,404**

Total kebutuhan air pendingin = 1.292.854,404 kg/jam

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

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

= 120% x 1.292.854,404 kg/jam

= 1.551.425,285 kg/jam

2. Air Umpan Boiler

Boiler Feed Water (BFW) merupakan air yang digunakan untuk menghasilkan uap (*steam*) pada unit boiler. Pada pabrik monoethanolamine (MEA), BFW digunakan untuk produksi *low pressure steam*. Oleh karena itu, kualitas air umpan boiler perlu dijaga agar sistem dapat beroperasi secara aman dan efisien.

a. **Zat penyebab korosi**, yang bersumber dari kandungan larutan asam serta gas-gas terlarut seperti O_2, CO_2, H_2S, dan NH_3. Penanganannya dilakukan dengan menghilangkan oksigen melalui dua tahap, yaitu proses deaerasi dan penambahan senyawa hidrazin.

b. **Zat pembentuk kerak (*scale forming*)**, merupakan pengotor yang terbentuk akibat kesadahan air dan suhu operasi yang tinggi, umumnya berasal dari garam karbonat dan silikat. Keberadaan kerak dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas, meningkatkan *pressure drop*, serta menyebabkan penyumbatan

pada pipa berdiameter kecil. Pencegahannya dilakukan dengan menambahkan senyawa fosfat yang bereaksi membentuk endapan kalsium fosfat sebagai berikut:

$$2Ca^{2+}_{(g)} + 2PO_4{}^{3-}_{(aq)} \rightarrow Ca_3(PO_4)_{2(s)}$$

c. **Zat penyebab *foaming***, yang umumnya disebabkan oleh keberadaan zat organik, zat anorganik, serta partikel tidak larut dalam jumlah besar pada air yang mengalami pemanasan. Kondisi ini terjadi akibat tingginya tingkat alkalinitas air. Persyaratan kualitas air umpan boiler berdasarkan *Boiler Feed Water Characteristics as per IS:10392-1982* disajikan pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Syarat Air Umpan Boiler

Parameter	Satuan	Pengendalian Batas
Total Hardness	*Ppm as* CaO	< 0,5
pH	*Unit*	8,9 – 9,5
Dissolved Oxygen	*Ppm*	0,01
Silika	*Ppm as* SiO_2	0,5

Boiler Feed Water (BFW) merupakan air yang digunakan untuk menghasilkan *low pressure steam* pada unit boiler. Untuk menjaga efisiensi dan keandalan operasi, kualitas air umpan harus memenuhi persyaratan tertentu. Spesifikasi air umpan boiler disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Kebutuhan Air Umpan

No.	Kode	Nama Alat	Kebutuhan Air (kg/jam)
1.	E – 211	Heat Exchanger	3.895,67
2.	E – 312	Heat Exchanger	5.437,54
3.	E – 323	Heat Exchanger	416,24
4.	E – 338	Reboiler MD 01	4.261,68
5.	E - 347	Reboiler MD 02	12.532,13
TOTAL			**26.543,28**

Jumlah kebutuhan steam yang digunakan untuk proses adalah 26.543,28 kg/jam. Diperkirakan steam yang hilang 10% karena adanya steam trap dan

2% karena blowdown.

Steam trap 10% = 10% x 26.543,28 kg/jam

= 2.654,32 kg/jam

Blowdown 2% = 2% x 26.543,28 kg/jam

= 530,86 kg/jam

Sehingga total kebutuhan air pendingin pada pabrik ini adalah Saat start-up

= kebutuhan BFW + steam trap

= 26.543,28 kg/jam + 2.654,32 kg/jam

= 703,783 m^3/hari

Untuk make up stream = trap + blowdown

= 2.654,32 kg/jam + 530,86 kg/jam

= 76,776 m^3/hari

3. Air Sanitasi

Air sanitasi digunakan untuk memenuhi kebutuhan air minum, laboratorium, perkantoran, dan fasilitas sanitasi lainnya. Kualitas air sanitasi harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam Permenkes RI Nomor 32 Tahun 2017. Kriteria air sanitasi disajikan sebagai berikut.

a. Parameter Fisik

Parameter fisik air sanitasi yang harus dipenuhi berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

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

b. Parameter Biologi

Parameter Biologi air sanitasi yang harus dipenuhi berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

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

c. Parameter Kimia

Parameter Kimia air sanitasi yang harus dipenuhi berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

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 (CaCO3)	mg/l	500
No.	**Parameter Wajib**	**Unit**	**Standar Baku Mutu (kadar maksimum)**
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 terdiri dari tiga komponen utama, yaitu air untuk karyawan, laboratorium dan taman, serta hydrant dan cadangan air.

a. Air untuk Karyawan

Kebutuhan air sanitasi karyawan mengacu pada Keputusan Menteri Kesehatan No. 1405 Tahun 2002, yaitu sebesar 120 liter/hari per orang. Dengan jumlah karyawan sebanyak 191 orang, kebutuhan air sanitasi dihitung sebagai berikut.

Kebutuhan air = $\frac{120\ l}{24\ jam\ .\ orang}$ x jumlah karyawan x $\frac{jam\ kerja}{24\ jam}$

= $\frac{120\ l}{24\ jam\ .\ orang}$ x 191 orang x $\frac{8\ jam}{24\ jam}$

= 318,33 L/jam

= 316,94 Kg/jam

b. Air untuk Laboratorium dan Taman

Kebutuhan air untuk laboratorium dan taman ditetapkan sebesar 20% dari kebutuhan air karyawan, sehingga perhitungannya adalah sebagai berikut.

Kebutuhan air = 20% x kebutuhan air karyawan

= 20% x 316,94 kg/jam

= 63,38 kg/jam

c. Air untuk *Hydrant* dan Cadangan Air

Air hydrant digunakan sebagai cadangan untuk pemadaman kebakaran di area pabrik dan tidak memerlukan persyaratan kualitas khusus. Kebutuhan air hydrant ditetapkan sebesar 140% dari total kebutuhan air sanitasi. Perhitungannya adalah sebagai berikut.

Kebutuhan sanitasi = 316,948 kg/jam + 63,390 kg/jam

Kebutuhan sanitasi = 380,337 kg/jam

Maka, kebutuhan air untuk kebakaran dan cadangan air:

Kebutuhan air = 140% x kebutuhan sanitasi

Kebutuhan air = 140% x 380,33 kg/jam

Kebutuhan air = 532,47 kg/jam

Jadi, total kebutuhan air secara keseluruhan adalah sebagai berikut.

a. Total kebutuhan air yang digunakan saat start-up

Start-up = (air pendingin + air umpan boiler + air sanitasi)

= 1.551.425,285 + 29.197,61 + 469,08 kg/jam

= 1.581.091,98 kg/jam

b. Total kebutuhan air yang digunakan saat normal operasi

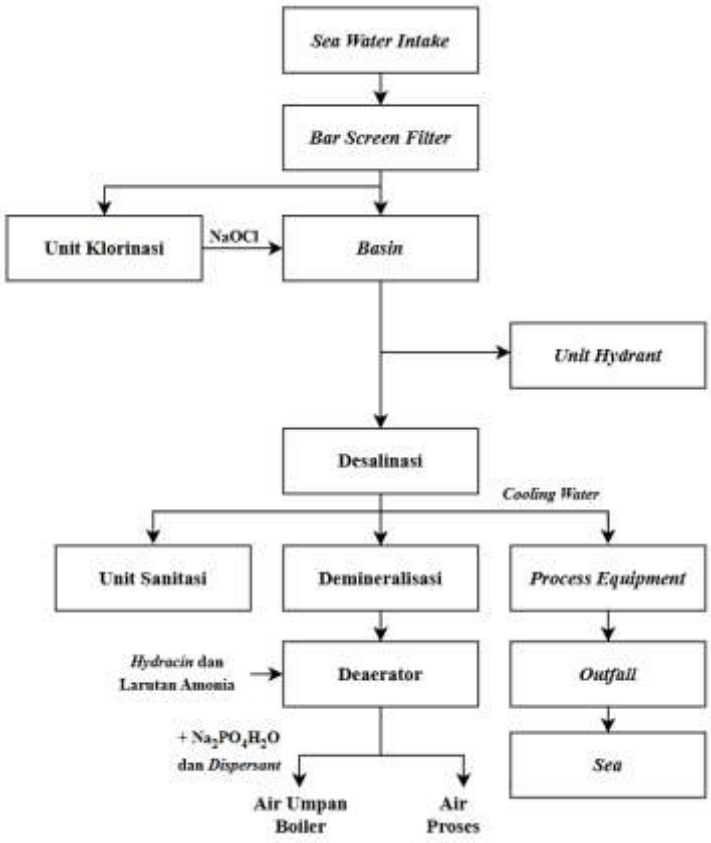
Normal = (make up air pendingin + make up BFW + air sanitasi)

= 1.551.425,285 + 29.197,61 + 3.185,19 kg/jam

= 1.555.079,56 kg/jam

4.1.2 Pengolahan Air

Apabila sumber air berasal dari laut, maka diperlukan proses desalinasi sebelum digunakan sebagai utilitas pabrik. Proses pengolahan dilakukan melalui beberapa tahapan yang disusun secara berurutan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pengolahan Air Laut (Veera, 2018).

1. **Proses *Sea Water Intake* dan *Screening***

Air laut diambil menggunakan pompa dan dialirkan melalui unit penyaringan awal berupa *trash rack* dan *rotary screen* untuk menghilangkan kotoran serta partikel yang terbawa. Selanjutnya, air memasuki unit *sea water intake* dan diinjeksi natrium hipoklorit guna

mencegah pertumbuhan mikroorganisme yang dapat menyebabkan fouling pada sistem. Air yang telah diolah kemudian ditampung dalam *basin* sebelum didistribusikan ke unit klorinasi, hydrant, dan desalinasi.

2. *Unit Chlorinasi*

Unit klorinasi berfungsi menghasilkan larutan natrium hipoklorit (NaOCl) melalui elektrolisis air laut. Larutan NaOCl digunakan sebagai disinfektan untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme yang dapat menyebabkan fouling dan menurunkan efisiensi perpindahan panas.

Sebelum memasuki unit elektrolisis, air laut disaring menggunakan *strainer* untuk menghilangkan padatan tersuspensi yang berpotensi mengganggu kinerja elektroda. Proses elektrolisis berlangsung di dalam *cell bank*, dimana gas klorin terbentuk pada anoda dan natrium hidroksida pada katoda. Kedua produk tersebut selanjutnya bereaksi membentuk larutan natrium hipoklorit. Reaksi yang terjadi dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$NaCl_{(s)} + H_2O \rightarrow NaOCl_{(aq)} + H_{2(g)} \quad (7)$$

$$\text{Anoda: } 2Cl^-_{(s)} \rightarrow Cl_{(g)} + 2e^- \quad (8)$$

$$\text{Katoda: } 2Na^+ + H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow 2NaOH_{(aq)} + H_{2(g)} \quad (9)$$

Larutan natrium hipoklorit (NaOCl) yang dihasilkan disimpan dalam *storage tank* dan diinjeksikan secara kontinu ke sistem *sea water intake* dengan konsentrasi sekitar 1 ppm. Selain itu, dilakukan *shock dosing* secara berkala dengan konsentrasi hingga 10 ppm untuk meningkatkan efektivitas pengendalian mikroorganisme.

3. *Unit Hydrant*

Air untuk sistem hydrant tidak memerlukan pengolahan khusus sehingga dapat langsung dialirkan dari *basin* menuju tangki penyimpanan sebelum didistribusikan ke jaringan hydrant di area pabrik. Berdasarkan SNI 03-1735-2000, tangki hydrant harus mampu menyuplai air dengan debit 1.620 L/menit selama minimal 30 menit. Volume minimum tangki penyimpanan dihitung sebagai berikut.

$$V = Q \times t$$

$$= 1.620 \text{ L/menit} \times 30 \text{ menit} = 486.000 \text{ liter}$$

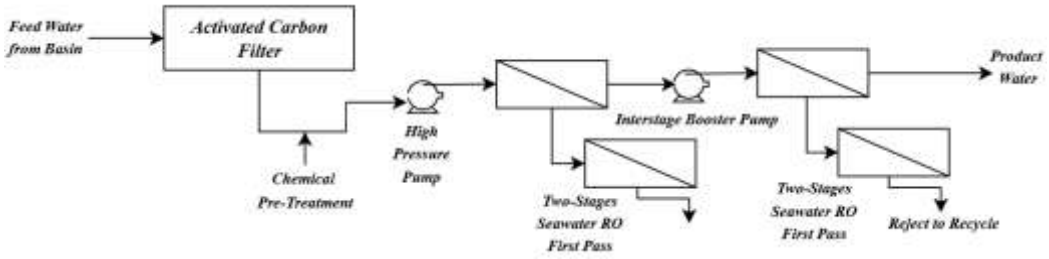
4. *Unit Desalinasi*

Unit desalinasi berfungsi mengolah air laut menjadi air tawar yang digunakan sebagai air pendingin dan air umpan boiler. Kualitas air hasil desalinasi harus memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Spesifikasi Air Desalinasi (Hernández, 2021).

Parameter	Nilai
Konduktivitas Elektrik	< 0,1 µS/cm
Salinitas	< 0,05%
pH	6,5-7,5
TDS	12 ppm
Cl	<5 ppm

Pada pabrik ini, desalinasi dilakukan dengan metode *Reverse Osmosis* (RO), yaitu proses pemisahan ion-ion terlarut dan molekul berukuran besar dalam air laut menggunakan membran semipermeabel. Membran hanya meloloskan pelarut dan partikel berukuran kecil, sedangkan zat terlarut akan tertahan. Ilustrasi proses RO ditunjukkan pada Gambar 4.2.



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

Proses desalinasi dengan metode Reverse Osmosis (RO) terdiri atas empat tahapan utama, yaitu:

- **Pre-Treatment**, yaitu pengolahan awal air umpan untuk menghilangkan kekeruhan, sisa klorin, senyawa organik, dan kontaminan lain yang dapat merusak membran. Pada tahap ini juga dilakukan penyesuaian pH dan penambahan inhibitor kerak (*scaling inhibitor*).

- **Pemberian Tekanan**, yaitu peningkatan tekanan menggunakan *high pressure pump* agar air umpan dapat melewati membran RO dan proses pemisahan berlangsung secara efektif.
- **Membrane Separation**, yaitu pemisahan air dari garam dan kontaminan terlarut menggunakan membran semipermeabel sehingga diperoleh air hasil desalinasi.
- **Stabilisasi**, yaitu penyesuaian kualitas air produk, terutama pH, untuk mencegah korosi dan menjaga kesesuaian dengan spesifikasi penggunaan.

5. *Cooling Water* untuk *Process Equipment*

Pada pabrik ini, air hasil desalinasi digunakan sebagai media pendingin. Air dialirkan ke peralatan proses untuk menyerap panas, kemudian dibuang kembali ke laut melalui *outfall*.

Penempatan *intake* dan *outfall* harus dirancang agar tidak terjadi resirkulasi air panas. Selain itu, air buangan harus memenuhi ketentuan lingkungan yang berlaku, termasuk bebas dari limbah B3 dan bahan berbahaya serta memiliki suhu maksimum 40°C sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2006.

6. Unit Sanitasi

Penempatan *intake* dan *outfall* harus dirancang untuk mencegah terjadinya resirkulasi air panas ke sistem pengambilan air. Selain itu, air buangan wajib memenuhi ketentuan lingkungan yang berlaku, termasuk bebas dari limbah B3 dan bahan berbahaya serta memiliki suhu maksimum 40°C sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2006.

7. Unit Demineralisasi

Unit demineralisasi berfungsi menghilangkan ion-ion terlarut yang masih terbawa dari proses sebelumnya sehingga diperoleh air dengan kandungan mineral yang rendah. Proses pemurnian dilakukan menggunakan resin penukar ion kation dan anion. Peralatan yang digunakan dalam unit demineralisasi meliputi:

- **Cation Exchanger**

Cation exchanger digunakan untuk menghilangkan ion-ion positif seperti Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, dan Al^{3+} melalui proses pertukaran ion menggunakan resin kation. Apabila resin telah jenuh, dilakukan regenerasi menggunakan larutan asam agar kemampuan pertukaran ion dapat dipulihkan kembali.

Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Na^{+}_{(aq)} + nRH \rightarrow RMn + nH^{+}_{(aq)} \quad (11)$$

- **Anion Exchanger**

Air selanjutnya dialirkan ke anion exchanger untuk menghilangkan ion-ion negatif seperti HCO_3^{-}, CO_3^{2-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}, NO_3^{-}, dan SiO_3^{2-}. Proses berlangsung melalui pertukaran ion menggunakan resin anion, yang diregenerasi menggunakan larutan NaOH setelah mencapai kondisi jenuh.

Air hasil demineralisasi digunakan sebagai air umpan boiler serta kebutuhan utilitas lainnya. Sebelum digunakan sebagai *Boiler Feed Water* (BFW), air dialirkan ke deaerator untuk menghilangkan oksigen terlarut dan ditambahkan bahan kimia guna mencegah korosi serta pembentukan kerak.

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$Cl^{-}_{(aq)} + nROH \rightarrow RXn + nOH^{-} \quad (12)$$

Air hasil unit demineralisasi kemudian 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 terlebih dahulu dialirkan ke deaerator untuk menghilangkan oksigen terlarut. Selain itu, ditambahkan pula bahan kimia tertentu ke dalam BFW guna meminimalkan pembentukan kerak serta mencegah terjadinya korosi pada sistem.

1. *Hydrazin*

   Memiliki fungsi untuk mengikat oksigen dengan reaksi sebagai berikut:

   $$2N_2H_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow 2N_{2(g)} + 4H_2O_{(l)} \quad (13)$$

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 ($Na_3PO_4H_2O_{(aq)}$)

   Larutan fosfat digunakan untuk mencegah pembentukan kerak pada sistem boiler dengan mendispersikan partikel-partikel halus sehingga mudah dikeluarkan melalui proses blowdown.

4.2 Unit *Power Station* (Penyediaan Tenaga Listrik)

Kebutuhan energi listrik pabrik dipasok oleh PT PLN sebagai sumber utama dan generator diesel sebagai sumber cadangan. Untuk menyesuaikan kebutuhan operasional peralatan, digunakan transformator yang menurunkan tegangan menjadi 380 V AC tiga fasa dan 220 V AC satu fasa.

Generator yang digunakan merupakan tipe AC tiga fasa yang memiliki beberapa keunggulan sebagai berikut:

- Daya lebih besar
- Tenaga listrik stabil
- Kawat penghantar yang digunakan lebih sedikit
- Motor 3 fase 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	0.165	0.123
2	Pompa	L -121	1	4.135	3.084
3	Pompa	L - 131	1	0.620	0.463
4	Pompa	L - 322	1	0.124	0.093
5	Pompa	L - 331	1	0.124	0.093
6	Pompa	L - 335	1	0.124	0.093

No	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	Hp	kWh
7	Pompa	L - 341	1	0.136	0.102
8	Pompa	L - 344	1	0.124	0.093
9	Pompa	L - 349	1	0.273	0.204
10	Pompa	L - 337	1	0.236	0.176
11	Pompa	L - 346	1	0.248	0.185
12	Kompresor	C - 324	1	302.147	225.311
TOTAL				**308.457**	**230.016**

b. Keperluan Utilitas

Tabel 4.10 Kebutuhan Listrik untuk Utilitas

No.	Nama alat	HP	kWh
1	Pompa air pendingin	20	14,91
2	Pompa sanitasi	2	1,491
3	Pompa *hydrant*	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 listrik untuk pengolahan limbah diperkirakan mencapai 15 HP.

Kebutuhan listrik = 15 x 0,75 kW

= 11,19 kWh

d. Laboratorium, Bengkel, dan Instrumentasi

Kebutuhan listrik untuk laboratorium, bengkel, dan instrumentasi diperkirakan mencapai 15 HP.

Kebutuhan listrik = 15 x 0,75 kW

= 11,19 kWh

e. Total Kebutuhan Daya untuk Proses Produksi

Total = 230,016 kWh + 23,86 kWh + 11,19 kWh + 11,19 kWh

= 276,25 kWh

4.2.2 Listrik untuk Kegiatan Operasional

a. Listrik untuk Penerangan

Kebutuhan listrik untuk penerangan diperkirakan berdasarkan konsep *luminous efficacy* dan standar tingkat pencahayaan sesuai luas area yang diterangi. Kebutuhan pencahayaan per satuan luas 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)

Kebutuhan pencahayaan ditentukan berdasarkan standar SNI 03-6197-2000 sesuai fungsi area yang diterangi. Perhitungan kebutuhan lumen ditunjukkan sebagai berikut.

Tabel 4.11 Kebutuhan Listrik untuk Penerangan

Bangunan Indoor	Luas (m2)	Lux (lumen/m2)	Lumen
Pos keamanan	25	80	2000
Gedung kantor utama	2500	200	500000
Kantor K3	300	200	60000
Mess	600	200	120000
Poliklinik	200	200	40000
Kantin	80	150	12000
Koperasi	40	150	6000
Laboratorium	400	500	200000
Gudang	300	100	30000
Bengkel	200	100	20000
Masjid	400	200	80000
Aula	1000	200	200000
Ruang kontrol	800	350	280000
Pemadam kebakaran	500	100	50000
TOTAL	7345		1600000
Lapangan parkir	1000	60	60000
Unit proses	5000	100	500000
Unit utilitas	2500	100	250000
IPAL	600	100	60000
Unit penyimpanan	2400	100	240000
Power station	600	100	60000
Jalan dan taman	1000	75	75000
Daerah perluasan pabrik	1000	60	60000

TOTAL	14100	1305000

Seluruh area di dalam bangunan direncanakan menggunakan lampu hemat energi Philips LED tipe spiral (Helix) dengan daya sebesar 24 watt. Setiap lampu memiliki keluaran cahaya sebesar 1.450 lumen (www.philips.co.id).

Jumlah Lumen di dalam ruangan = Lumen / Jumlah Lampu
= 1.600.000 / 1.450
= 1.104 Lampu

Total daya penerangan = 1.104 x 24 watt/1000 = 26,496 kW

Untuk area luar ruangan (*outdoor*), direncanakan penggunaan lampu Philips LED tipe spiral (Helix Spiral Energy Saving Bulb) dengan daya 42 watt. Setiap lampu menghasilkan keluaran cahaya sebesar 2.650 lumen (www.philips.co.id).

Jumlah Lumen di luar ruangan = Lumen / Jumlah Lampu
= 1.305.000 / 2.650
= 493 Lampu

Total daya penerangan = 493 x 24 watt/1000 = 20,706 Kw

Total daya yang dibutuhkan untuk penerangan = 26,496 kW + 20,706 kW
= 47,202 kW

b. Listrik untuk *Air Conditioner* (AC)

Pendingin ruangan menggunakan AC inverter LG D13CMV Hybrid Ultima Series 1,5 PK dengan kebutuhan daya sekitar 970 watt per 49 m² area (LG, 2024). Luas area yang memerlukan pendingin udara ditunjukkan 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 kontrol	500
TOTAL	**3240**

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

Jumlah AC yang dibutuhkan = 3240 m^2 / 49 m^2

= 67 AC

Kebutuhan = 67 x 970 watt x 0,001 kW/watt

= 64,99 kWh

c. Listrik untuk Peralatan Lain

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

Total kebutuhan listrik untuk kegiatan operasional adalah:

= 47,202 kW + 64,99 kW + 10 kW = 122,19 kWh

Pemenuhan kebutuhan listrik pada pabrik monoetanolamina dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Kebutuhan listrik untuk kegiatan produksi sebesar 375,25 kWh dan kegiatan operasional sebesar 122,19 kWh dipasok oleh PT PLN (Perusahaan Listrik Negara).
- Sebagai sumber cadangan, disediakan generator dengan kapasitas daya sebesar 400 kWh.

4.3 Unit Penyediaan Steam

4.3.1 Kebutuhan Steam

Steam digunakan sebagai media pemanas pada proses produksi dan peralatan penukar panas. Steam yang digunakan berupa *saturated steam* bertekanan rendah (4,04 bar) yang dihasilkan oleh boiler dengan pasokan air umpan dari unit penyedia air. Kebutuhan steam untuk pemanasan dihitung sebagai berikut.

Tabel 4.13 Kebutuhan Steam

ALAT	KODE	KEBUTUHAN STEAM
Heat exchager	E - 211	3895.671723
Heat exchager	E - 312	5437.545038
Heat exchager	E - 323	416.2452244
Reboiler MD 01		4261.685291
Reboiler MD 02		12532.13778
TOTAL		**26543.28505**

4.4 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Unit bahan bakar menyediakan *natural gas* untuk kebutuhan boiler, furnace, dan generator. Pemilihan *natural gas* didasarkan pada pertimbangan berikut.

- Nilai kalor yang tinggi

- Mudah untuk didapat
- Tidak memerlukan unit penyimpanan karena menggunakan sistem *pipeline*

4.4.1 Perhitungan Kapasitas Boiler

Massa Steam	= 26.543,28 Kg/jam
Massa kondensat	= 80% x massa steam yang digunakan
	= (80% x 26.543,28 kg/jam)
	= 21.234,62 Kg/jam
Massa BFW	= 26.543,28 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	= 2738,1 Kj/Kg

4.4.2 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_2H_6	51952
C_3H_8	50370
i-C_4H_{10}	49389
n-C_4H_{10}	49547
i-C_5H_{12}	48950
n-C_5H_{12}	49046
n-C_6H_{12}	48717
N_2 & H_2O	0
CO_2 & CO	0
H_2S	16501
H_2O	0

LHV Natural gas = Σxi . LHVi

Tabel 4.15 Perhitungan Lower Heating Value Natural Gas

Komponen	**BM**	**%massa**	**LHV**	**LHV.xi**
CH_4	16	0,83	55576	46305,92
C_2H_6	30	0,05	51952	2753,46
C_3H_8	44	0,03	50370	1475,84
i-C_4H_{10}	58	0,006	49389	321,03
n-C_4H_{10}	58	0,008	49547	391,42
i-C_5H_{12}	72	0,004	48950	181,11
n-C_5H_{12}	72	0,002	49046	117,71
n-C_6H_{12}	86	0,002	48717	92,56
N_2	28	0,01	0	0
Komponen	**BM**	**%massa**	**LHV**	**LHV.xi**
CO_2	44	0,05	0	0
CO	28	0	0	0
H_2S	34	0,00001	16501	0,16
H_2O	18	0	0	0
		TOTAL		**51639,22**

LHV Natural Gas = 51.639,223 Kj/Kg

= 22.204,866 BTU/lb

Sehingga untuk kebutuhan bahan bakar dapat dihitung sebagai berikut:

Asumsi efisiensi boiler 80%

Massa bahan bakar $= \frac{Q}{(\eta \; x \; Heating \; Value)}$

$= \frac{97.584.072{,}973 \text{ Btu/jam}}{(80\% \; x \; 22.204{,}866)}$

= 5.493,394 lb/jam

b. Bahan Bakar Furnace

Furnace berfungsi memanaskan *Downtherm* A yang digunakan sebagai media pemanas pada reboiler kolom distilasi. Sumber energi untuk *furnace* berasal dari natural gas dengan LHV = 22.204,866 BTU/lb.

Q *Downtherm* A total = 4.998.276,658 kJ/jam = 4.738.366,272 BTU/jam

Massa natural gas = 4.738.366,272 BTU/jam / (80% x 22.204,870 BTU/lb)

= 266,741 lb/jam

c. Bahan Bakar Generator

Spesifikasi generator yang digunakan guna memenuhi kebutuhan listrik adalah:

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

  Kebutuhan bahan bakar:

  Kapasitas = 400 kW = 1.366.000 BTU/jam

  Kebutuhan natural gas = 1.366.000 / (80% x 22.204,870)

  = 76,898 lb/jam = 1.747,672 ft^2/jam

4.5 Unit Penyediaan Udara Tekan

4.5.1 *Plant Air*

Plant air didistribusikan ke berbagai unit proses melalui *header plant air* untuk keperluan pembersihan peralatan dan *utility station*, sehingga mendukung kelancaran operasional pabrik.

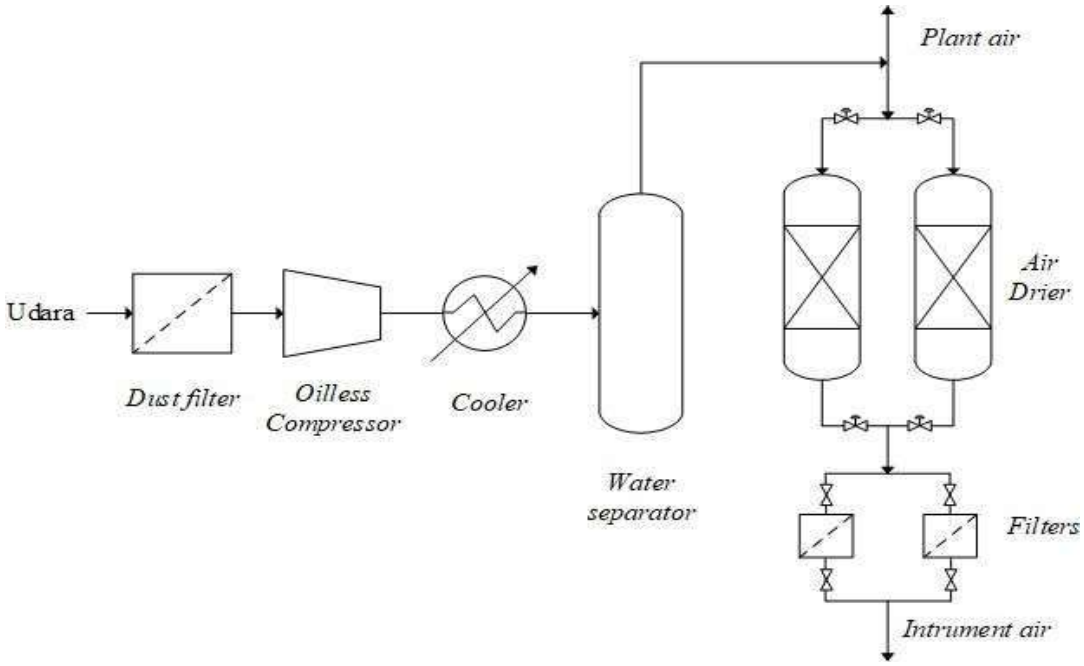
4.5.2 *Instrument Air*

Instrument air diperoleh dari udara atmosfer yang dikompresi, disaring, dan dikeringkan menggunakan *air dryer* berisi zeolit. Udara ini digunakan untuk mengoperasikan berbagai instrumen dan katup kontrol, sehingga harus memiliki kandungan uap air yang rendah serta bebas dari partikel, minyak, dan zat korosif. Tekanan operasi dijaga pada kisaran 4–7 bar(g). Spesifikasi kualitas *instrument air* disajikan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Kualitas Udara Instrumen (Broughton, 1994).

Parameter	Nilai
Tekanan	7,5 kg/cm^2
H_2O	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

Udara atmosfer terlebih dahulu disaring menggunakan *dust filter* untuk menghilangkan debu dan partikel halus, kemudian dikompresi menggunakan *oil-less compressor*. Karena proses kompresi meningkatkan suhu udara, dilakukan pendinginan menggunakan *cooler* dan pemisahan uap air melalui *water separator*.

Udara hasil pemisahan selanjutnya dibagi menjadi dua aliran, yaitu sebagai *plant air* dan sebagai *instrument air* setelah melalui proses pengeringan dan penyaringan lanjutan (Broughton, 1994).

4.6 Unit Laboratorium

4.6.1 Peranan Laboratorium

Laboratorium berperan dalam pengendalian mutu bahan baku, produk, dan limbah pabrik monoethanolamine (MEA). Hasil analisis laboratorium digunakan untuk mendukung kelancaran proses serta memastikan kualitas produk sesuai spesifikasi. Adapun fungsi utamanya 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 itu, laboratorium juga berperan dalam pengendalian pencemaran lingkungan melalui analisis limbah padat, cair, dan gas.

4.6.2 Bagian-Bagian Laboratorium

Di dalam laboratorium memiliki 3 bagian pokok, yaitu:

1. **Laboratorium Pengendalian Mutu (*Quality Control*)**

   Laboratorium ini bertugas menganalisis spesifikasi bahan baku, produk monoethanolamine (MEA), serta berbagai aliran proses untuk memastikan kualitas produk sesuai spesifikasi yang ditetapkan. Analisis meliputi pengujian sifat fisik dan kimia sebagai berikut:

   - *Spesific Gravity*
   - *Viscosity*
   - *Boiling Point*
   - *Moisture Content*
   - *Flash Point*

2. **Laboratorium Pengendalian Baku Mutu Lingkungan**

   Laboratorium ini juga bertugas menganalisis kualitas limbah cair dan gas yang dihasilkan proses produksi, termasuk limbah yang telah diolah sebelum dibuang ke lingkungan. Selain itu, dilakukan pengujian kualitas *cooling water* sebelum dilepas kembali ke laut.

3. **Laboratorium Penelitian dan Pengembangan**

   Laboratorium ini berfungsi mendukung kegiatan penelitian dan pengembangan untuk meningkatkan kualitas material, proses, dan produk. Kegiatannya bersifat non-rutin serta berfokus pada pengembangan dan inovasi proses.

4.6.3 Alat-Alat Utama yang Digunakan di Laboratorium

a) Gas Chromatography (*Mass Spectrometry)*

Digunakan sebagai analisa kadar CO_2 dan NH_3 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 fasilitas yang berfungsi mengelola limbah hasil operasi pabrik agar memenuhi persyaratan lingkungan. Pada pabrik monoetanolamina, limbah yang dihasilkan meliputi limbah sanitasi, air berminyak, air regenerasi, serta limbah akibat kebocoran proses. Pengolahannya dilakukan sesuai dengan karakteristik masing-masing limbah sebagai berikut:

4.7.1 Pengolahan Limbah Cair

1. **Limbah sanitasi** berasal dari fasilitas toilet pabrik dan perkantoran, kemudian diolah menggunakan sistem lumpur aktif dengan penambahan natrium hipoklorit sebagai disinfektan.

2. **Air berminyak** berasal dari pelumas bekas pompa dan diolah melalui pemisahan minyak berdasarkan perbedaan massa jenis. Minyak yang terpisah dimusnahkan, sedangkan fase air diolah lebih lanjut dengan sistem lumpur aktif.

3. **Limbah cair organik** yang mengandung amonia, monoethanolamine (MEA), dan senyawa organik larut air lainnya diolah menggunakan sistem lumpur aktif tipe *Extended Aeration*, yang memanfaatkan aktivitas bakteri aerobik untuk mendegradasi kontaminan.

4.7.2 Pengolahan Limbah Gas

Emisi gas buang dari proses pembakaran, seperti pada boiler, dapat dikendalikan menggunakan *Electrostatic Precipitator* (ESP). Peralatan ini bekerja dengan memanfaatkan medan listrik untuk menangkap partikel debu dalam gas buang sebelum gas dilepaskan ke atmosfer melalui cerobong (Rofandi & Irwanto, 2022).

4.7.3 Pengolahan Limbah Padat

Limbah padat yang dihasilkan meliputi sampah domestik dan limbah B3. Sampah domestik dikumpulkan dan diangkut ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA), sedangkan limbah B3 disimpan sementara di TPS dengan sistem tertutup sebelum dikirim ke fasilitas pengolahan atau pembuangan khusus.

4.8 Kesehatan Keselamatan Kerja dan Lingkungan Hidup

Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup (K3LH) bertujuan menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja, melindungi lingkungan kerja, serta mendukung kelancaran proses produksi. Oleh karena itu, penerapan K3LH harus dilakukan secara terpadu dan berkelanjutan.

Pada pabrik monoetanolamina, pelaksanaan K3LH mencakup perencanaan, penerapan, dan pemeliharaan keselamatan instalasi, peralatan, serta tenaga kerja yang dikoordinasikan oleh Unit Inspeksi Proses dan Keselamatan Lingkungan. Program ini didukung oleh manajemen perusahaan untuk melindungi karyawan, aset, operasional pabrik, dan masyarakat sekitar. Pelaksanaannya 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.

Penerapan K3LH dilakukan melalui berbagai kegiatan, antara lain pengawasan keselamatan operasi, penyediaan dan pemeriksaan peralatan keselamatan, pelatihan keselamatan kerja, penyusunan program pencegahan kecelakaan, perencanaan tanggap darurat, serta pemantauan kualitas dan kuantitas limbah untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan.

4.8.1 Fasilitas Pelayanan Kesehatan

Penyediaan fasilitas kesehatan yang memadai bertujuan menjaga kesehatan tenaga kerja, mendukung produktivitas, serta meminimalkan dampak kecelakaan kerja. Berdasarkan Pedoman Klinik di Tempat Kerja/Perusahaan (2009), fasilitas kesehatan yang perlu tersedia di lingkungan pabrik meliputi:

1. **Kotak P3K**

   Disediakan pada setiap unit kerja untuk mendukung penanganan pertama pada kecelakaan dan kondisi darurat.

2. **Petugas P3K**

   Bertugas memberikan pertolongan pertama dan penanganan awal saat terjadi keadaan darurat di lingkungan kerja.

3. **Kendaraan Gawat Darurat**

   Digunakan untuk mendukung proses evakuasi dan transportasi korban menuju fasilitas pelayanan kesehatan.

4. **Asuransi Kesehatan**

   Memberikan perlindungan bagi pekerja melalui program jaminan kesehatan, kecelakaan kerja, hari tua, dan kematian.

5. **Poliklinik**

   Menyediakan pelayanan kesehatan bagi karyawan, baik untuk penyakit akibat kerja maupun penyakit umum.

6. **Tenaga Kesehatan**

   Terdiri atas dokter dan perawat yang bertugas mendukung pelayanan kesehatan di lingkungan perusahaan.

7. **Pelayanan Kesehatan**

   Meliputi pemeriksaan kesehatan pra-kerja, berkala, khusus, serta penanganan kecelakaan kerja.

8. **Gizi Kerja**

Didukung melalui penyediaan fasilitas kantin yang memenuhi standar kebersihan dan kebutuhan gizi pekerja.

4.8.2 Potensi Bahaya di Sekitar Pabrik

Berdasarkan karakteristik proses dan lingkungan kerja, terdapat beberapa potensi bahaya yang perlu diperhatikan dalam operasional pabrik monoethanolamine (Pulansari, 2025), yaitu:

1. **Terjatuh**

   Risiko terjatuh dari ketinggian saat melakukan pekerjaan di area bertingkat, tangga, atau platform kerja.

2. **Kejatuhan Benda**

   Risiko tertimpa material atau peralatan akibat penyimpanan yang tidak aman maupun aktivitas pengangkatan barang.

3. **Percikan Bahaya Kimia**

   Risiko paparan bahan kimia akibat kebocoran, tumpahan, percikan, atau pelepasan gas selama proses produksi.

4. **Terpapar Benda Panas**

   Risiko cedera akibat kontak dengan peralatan atau permukaan bersuhu tinggi selama operasi.

5. **Kebakaran**

   Risiko kebakaran yang dapat disebabkan oleh pekerjaan panas (*hot work*), bahan mudah terbakar, maupun gangguan kelistrikan.

6. **Ledakan**

   Risiko ledakan akibat pelepasan energi dari bahan atau peralatan bertekanan yang dapat menimbulkan kerusakan dan kebakaran lanjutan.

4.8.3 Faktor Bahaya di Sekitar Pabrik

Proses produksi berpotensi menimbulkan berbagai faktor bahaya yang dapat memengaruhi keselamatan dan kenyamanan kerja. Beberapa faktor tersebut meliputi:

1. **Kebisingan**

   Kebisingan umumnya berasal dari peralatan dan mesin produksi yang beroperasi. Paparan kebisingan dalam jangka panjang dapat menyebabkan gangguan pendengaran, sehingga diperlukan penggunaan alat pelindung diri seperti *ear plug*.

2. **Penerangan**

   Sistem penerangan menggunakan kombinasi cahaya alami dan buatan untuk memastikan kondisi kerja yang aman dan nyaman sesuai kebutuhan masing-masing area.

3. **Getaran**

   Getaran yang berasal dari peralatan mekanis dapat menimbulkan ketidaknyamanan bagi pekerja dan perlu dikendalikan agar tidak mengganggu aktivitas kerja.

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**

   Untuk melindungi pekerja dari berbagai potensi bahaya, perusahaan menyediakan alat pelindung diri (APD) sebagai berikut:

   a. Helm

      Melindungi kepala dari benturan dan kejatuhan benda.

   b. *Safety Glass*

      Melindungi mata dari percikan, partikel, dan bahaya selama pekerjaan operasional maupun laboratorium.

   c. Masker

      Melindungi saluran pernapasan dari debu, gas berbahaya, dan zat korosif.

   d. Sarung Tangan

      Melindungi tangan dari paparan bahan kimia, panas, dan risiko cedera lainnya.

   e. *Safety Shoes*

      Melindungi kaki dari benturan, 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

Penanggulangan kebakaran di pabrik berada di bawah koordinasi SHE (*Safety, Health, and Environment*) dan dilaksanakan melalui sistem terpadu yang meliputi:

a. Sistem Isyarat Bahaya Kebakaran

Pabrik dilengkapi *Fire Alarm System* yang terpasang pada setiap unit untuk memberikan peringatan dini apabila terjadi kebakaran.

b. Sistem Pemadam Kebakaran

Sistem pemadam meliputi APAR (*Alat Pemadam Api Ringan*) jenis foam dan powder serta hydrant yang ditempatkan pada lokasi strategis di area pabrik. Seluruh peralatan pemadam diperiksa secara berkala untuk memastikan kesiapan operasional.

c. Regu Pemadam Kebakaran

Tim pemadam kebakaran terdiri atas pekerja yang telah ditunjuk dan dilatih untuk menangani keadaan darurat kebakaran, dengan koordinasi oleh bagian HSE dan *Safety Committee*.

4. Sistem Izin Kerja

Sistem izin kerja (*work permit*) digunakan untuk mengendalikan pekerjaan berisiko tinggi, seperti pekerjaan panas, pengelasan, pekerjaan di ketinggian, ruang terbatas, dan kelistrikan. Izin diajukan melalui supervisor dan disetujui oleh petugas keselamatan sebelum pekerjaan dilaksanakan.

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)**

BBSM merupakan program pembentukan perilaku kerja aman melalui identifikasi perilaku berisiko, pengawasan, edukasi keselamatan, dan pemberian penghargaan kepada pekerja yang menerapkan budaya K3. Program ini bertujuan menurunkan angka kecelakaan dan penyakit akibat kerja.