

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES

Dalam suatu industri proses, keberlangsungan operasi utama tidak hanya bergantung pada unit produksi inti, tetapi juga pada unit-unit pendukung proses yang memiliki peran penting dalam mendukung kelancaran, efisiensi, dan keselamatan proses produksi. Unit ini mencakup berbagai fasilitas dan sistem yang menyediakan kebutuhan seperti air, energi, bahan bakar, udara tekan, hingga laboratorium untuk analisis kualitas, serta sistem pengelolaan limbah guna menjaga standar lingkungan. Menurut Bahrurrizki (2024) Unit pendukung proses yang termasuk dalam pabrik adalah:

1. Unit pengadaan dan pengolahan air

Unit ini berfungsi menyediakan dan mengolah air agar memenuhi standar kualitas dan kuantitas yang dibutuhkan untuk berbagai keperluan, seperti proses produksi, sanitasi, pemadam kebakaran, pendingin, dan air minum

2. Unit penyedia steam

Unit ini berfungsi menyediakan steam yang digunakan sebagai bahan baku, media pemanas *heat exchanger*, penggerak turbin, dan kebutuhan proses lainnya. Uap yang dihasilkan dari boiler dan didistribusikan keseluruh pabrik sesuai dengan kebutuhan.

3. Unit pengadaan udara tekan

Unit ini berfungsi menyediakan udara tekan untuk berbagai kebutuhan seperti sistem instrumentasi, penyediaan udara tekan di bengkel, dan proses lainnya. Udara dikompresi menggunakan kompresor dan dikeringkan terlebih dahulu agar aman digunakan dan tidak merusak peralatan.

4. Unit penyediaan tenaga listrik

Unit ini berfungsi menyediakan dan mendistribusikan listrik dari sumber internal maupun eksternal untuk mendukung operasional peralatan proses, sistem pengolahan air, perangkat elektronik, AC, dan penerangan serta menjamin kestabilan dan kontinuitas pasokan daya.

5. Unit penyedia bahan bakar

Unit ini berfungsi untuk menyediakan bahan bakar untuk generator ketika terjadi kegagalan listrik dari PLN

6. Unit laboratorium

Unit laboratorium berfungsi untuk melakukan pengawasan mutu bahan baku, proses, dan hasil produksi pabrik, serta sebagai tempat untuk melakukan pengembangan jika diperlukan.

7. Unit pengelola limbah

Unit pengolahan limbah berfungsi sebagai tempat yang melakukan pengolahan terhadap limbah yang dihasilkan seluruh area pabrik baik limbah padat, cair, dan juga gas.

4.1. Unit Pengadaan dan Pengolahan Air

Unit ini bertanggung jawab dalam penyediaan air mulai dari pengambilan hingga pengolahan agar layak digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti air sanitasi, umpan boiler, dan sistem hydrant. Sumber air dapat berasal dari sungai, danau, maupun laut dengan lokasi yang idealnya berdekatan dengan pabrik untuk efisiensi distribusi. Unit penyediaan air yang terdapat dibagian utilitas berfungsi menyediakan air yang dibutuhkan untuk keperluan air industri, air hidrant, dan air sanitasi.

Dalam prarancangan pabrik asam formiat ini kebutuhan air berasal dari Instalasi Pengolahan Air Bersih di Kawasan Industri Gresik dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Jenis: hard water
- pH: 7,5-8,5
- Total Hardness: max 220 ppm sebagai CaCO_3
- Turbidity: max 3 ppm
- Residual chlorine: 0,4-1 1 ppm

4.1.1 Unit Pengadaan Air

Air baku yang digunakan berasal dari Instalasi Pengolahan Air Bersih Kawasan Industri Gresik dan digunakan untuk

1. Air proses

Air Proses merupakan air yang digunakan secara langsung dalam berbagai tahap produksi di industri, baik sebagai bahan baku, pelarut, media reaksi, pendingin, maupun pencuci, serta kebutuhan lainnya yang terlibat langsung. Kualitas dan karakteristik air proses harus disesuaikan dengan kebutuhan industri, seperti tingkat kemurnian, pH, kekerasan, dan kandungan zat terlarutnya karena dapat mempengaruhi produk akhir. Pemilihan air proses yang bersumber dari Instalasi Pengolahan Air Bersih di Kawasan Industri Gresik didasarkan pada pertimbangan berikut:

- a. Air tersedia dalam kondisi siap pakai dan biaya yang ekonomis.
- b. Penggunaannya cukup praktis dan efisien.
- c. Mampu menyerap panas dalam jumlah besar per satuan volume.

- d. Stabil secara kimia dan tidak menimbulkan masalah seperti fouling dan scaling pada peralatan.
- e. Tidak diperlukan instalasi pengolahan tambahan karena air sudah langsung layak digunakan dari pengolahan air Kawasan Industri Gresik.

2. Air umpan boiler

Air umpan boiler merupakan air yang digunakan sebagai bahan dasar untuk menghasilkan uap (steam) dalam ketel uap (boiler). Agar tidak menimbulkan gangguan seperti kerak, korosi, atau endapan yang dapat merusak sistem dan menurunkan efisiensi pembangkitan uap, air ini harus memenuhi standar kualitas tertentu. Air umpan biasanya berasal dari air hasil olahan (air proses) yang telah melalui tahapan pemurnian, seperti demineralisasi dan deionisasi, guna menghilangkan zat terlarut seperti garam, silika, serta oksigen terlarut. Selama proses penguapan, hanya molekul air yang berubah menjadi uap, sementara ion-ion tertinggal di dalam fasa cair. Hal ini menyebabkan akumulasi ion yang dapat memicu permasalahan pada pipa boiler jika tidak dikendalikan. Dalam prarancangan pabrik Asam Formiat ini, steam jenuh (saturated steam) digunakan sebagai media pemanas dalam alat penukar panas untuk memenuhi kebutuhan energi proses. Uap tersebut dihasilkan dari boiler yang mendapat suplai air umpan dari instalasi pengolahan air yang tersedia di Kawasan Industri Gresik. Menurut *American Society of Mechanical Engineers* persyaratan kualitas air dalam boiler pipa air industri modern sebagai berikut:

Tabel 4.1 Persyaratan Kualitas Air Umpan Boiler (ASME, 2011)

Boiler Feed Water				Boiler Water		
Drum Pressure (psi)	Iron (ppm Fe)	Copper (ppm Cu)	Total Hardness (CaCO ₃)	Silica (ppm SiO ₂)	Total alkalinity(ppm CaCO ₃)	Spesifik Konduksi ((μohms/cm)
0-300	0,1	0,05	0,3	150	700	7000
301-450	0,05	0,025	0,3	90	600	6000
451-600	0,03	0,02	0,2	40	500	5000
601-750	0,025	0,02	0,2	30	400	4000
751-900	0,02	0,015	0,1	20	300	3000
901-1000	0,02	0,015	0,05	8	200	2000

1001-1500	0,01	0,01	0	2	0	150
1501-2000	0,01	0,01	0	1	0	100

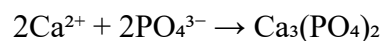
Pengendalian kandungan ion dalam sistem boiler dilakukan melalui proses pembuangan sebagian air boiler secara kontinu, yang dikenal dengan istilah *blow down*. Tujuan utama dari *blow down* adalah menjaga agar konsentrasi ion dalam air boiler tidak melebihi batas aman yang telah ditetapkan. Dalam pengelolaan air umpan boiler, terdapat beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan, antara lain:

a. Zat Penyebab Korosi

Korosi adalah proses degradasi logam yang mengembalikannya ke bentuk asalnya, yaitu bijih logam. Proses ini bersifat elektrokimia dan dapat merusak permukaan logam secara signifikan. Korosi dalam boiler umumnya terjadi akibat rendahnya pH, adanya larutan asam, serta kandungan gas terlarut seperti oksigen (O₂), karbon dioksida (CO₂), hidrogen sulfida (H₂S), dan amonia (NH₃), disertai garam-garam dan padatan tersuspensi dalam air.

b. Zat Penyebab Pembentukan Kerak (Scale Forming)

Pembentukan kerak dalam boiler umumnya disebabkan oleh tingginya tingkat kesadahan air serta suhu operasi yang tinggi. Kerak ini biasanya berasal dari senyawa karbonat dan silika. Untuk mengatasi sisa kesadahan yang masih ada, senyawa fosfat ditambahkan ke dalam sistem boiler. Reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:



Endapan kalsium fosfat yang dihasilkan bersifat ringan dan tidak menempel pada permukaan pipa boiler, sehingga tetap tersuspensi dalam air dan dapat dengan mudah dikeluarkan melalui proses *blow down*. Selain penggunaan fosfat, penambahan polimer juga diperlukan untuk mengendalikan proses pengendapan. Polimer ini bekerja dengan cara menghambat pertumbuhan kristal agar tetap berukuran kecil dan mencegah terjadinya aglomerasi. Jenis polimer yang umum digunakan meliputi lignin, tannin, atau polielektrolit.

c. Zat Penyebab Pembentukan Busa (Foaming)

Foaming adalah pembentukan gelembung-gelembung di permukaan air dalam drum boiler yang disebabkan oleh kontaminasi zat organik atau bahan kimia yang tidak terkontrol. Busa dapat mengganggu pelepasan uap dan menyebabkan air serta kotoran terbawa bersama uap air, sehingga

menimbulkan korosi dan endapan pada sistem. Untuk mencegah foaming, selain pengaturan blow down, dapat ditambahkan zat anti-busa seperti poliamida atau poliglikol.

Tabel 4.2 Persyaratan Air Umpan Boiler

Parameter	Satuan	Pengendalian Batas
Total Hardness	Ppm as CaCO_3	< 0,5
pH	Value unit	8,5 – 9,5
Dissolved Oxygen	Ppm	0,01
Silica	Ppm as SiO_2	0,5

3. Air pendingin

Tabel 4.3 Kualitas Air Pendingin Sistem Once Through

Parameter	Nilai
Turbidinitas (NTU)	<10
Konduktivitas (mhos/cm)	<1000
Ph	6,5-7,5
Suspended Solid	<10
Total Hardness (ppm CaCO_3)	<100
Total Iron (ppm)	<1,0
Residual Klorin (ppm)	0,5-1,0
Silica (ppm)	<150
Total Kromate (ppm)	1,5-2,5

4. Air sanitasi

Air sanitasi merujuk pada jenis air yang digunakan untuk menunjang kebersihan dan sanitasi di lingkungan industri atau pabrik, termasuk untuk keperluan mencuci tangan, membersihkan peralatan, fasilitas toilet, dan area kerja lainnya, guna memastikan kebersihan serta kesehatan para pekerja dan lingkungan kerja. Selain itu, air ini juga dibutuhkan sebagai fasilitas penunjang bagi pegawai di lingkungan pemerintahan. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/X/2010 mengenai persyaratan dan pengawasan kualitas air, air sanitasi harus memenuhi kriteria berikut:

Persyaratan fisik:

- Tidak memiliki bau
- Tidak berwarna
- Warna maksimum 15 TCU (True Colour Units)
- Kekeruhan maksimum 5 NTU (Nephelometric Turbidity Units)
- Kandungan zat padat terlarut tidak lebih dari 1000 mg/L
- Suhu air tidak lebih dari $\pm 3^{\circ}\text{C}$ dari suhu udara sekitar

Persyaratan kimia:

- Memiliki pH antara 6,5 hingga 8,5
- Bebas dari zat kimia berbahaya dan beracun

Persyaratan mikrobiologis:

- Tidak mengandung bakteri patogen

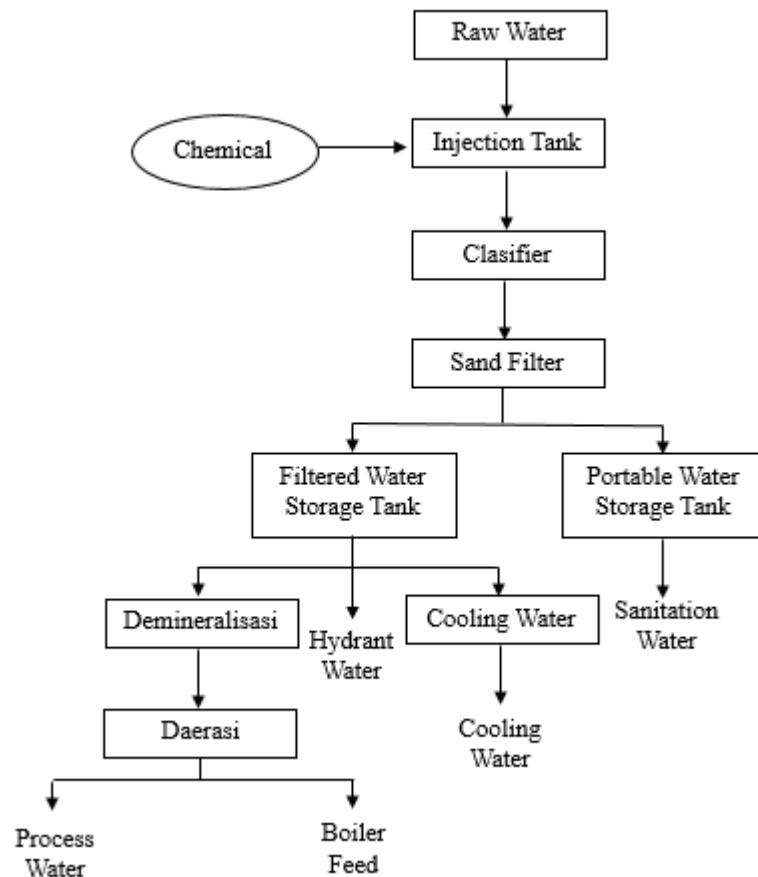
5. Air hydrant

Air hydrant adalah air yang digunakan untuk sistem pemadam kebakaran. Kebutuhan air hydrant menjadi sangat penting apabila terjadi kebakaran di salah satu bagian pabrik. Penggunaan air hydrant bersifat sementara, yaitu hanya digunakan saat terjadi kebakaran. Dalam pelaksanaannya, air hydrant disalurkan melalui pipa khusus yang menghubungkan seluruh area pabrik. Pipa-pipa ini dipasang di lokasi-lokasi strategis agar dapat dengan mudah diakses dari seluruh bagian pabrik. Persyaratan pasokan air hydrant menurut SNI 03-1735-2000 adalah minimal 2400 liter per menit dengan tekanan 3,5 bar dan mampu mengalirkan air setidaknya selama 45 menit. Air hydrant, sebagai bagian dari utilitas pabrik, hanya diperlukan dalam keadaan darurat kebakaran, sehingga sifatnya bersifat insidental. Untuk itu, spesifikasi teknisnya tidak terlalu kompleks. Pipa-pipa air hydrant disebar di lokasi-lokasi yang strategis di sekitar pabrik untuk memudahkan akses ke seluruh area pabrik saat diperlukan.

4.1.2 Unit Pengolahan Air

Pengolahan air bertujuan untuk menyediakan air dengan spesifikasi yang sesuai kebutuhan operasional pabrik, seperti air proses, air umpan boiler, air pendingin, air hydrant, dan air sanitasi. Seluruh kebutuhan air tersebut dipasok oleh Instalasi Pengolahan Air Bersih di Kawasan Industri Gresik sesuai dengan spesifikasi yang

dibutuhkan. Sumber daya air dikawasan Gresik dengan sumber daya air dari sungai dan laut. Agar kualitas air memenuhi standar yang diperlukan, dilakukan proses pengolahan air melalui beberapa tahap, di antaranya penjernihan, penyaringan, desinfektasi, demineralisasi, dan deaerasi. Proses pengolahan air ini dijelaskan secara lebih detail pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Alir Pengolahan Air

Pengolahan air dilakukan untuk menghasilkan berbagai jenis air yang dibutuhkan dalam operasional pabrik, seperti air pendingin, air sanitasi, air hydrant, serta air untuk unit demineralisasi yang kemudian diproses lebih lanjut menjadi air proses dan air umpan boiler. Proses pengolahan air dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu:

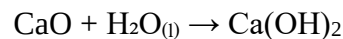
1. Tahapan pertama

Air baku (*raw water*) dipompa ke dalam tangki pencampur, di mana air tersebut diaduk dengan kecepatan tinggi sembari ditambahkan bahan kimia. Penambahan bahan kimia ini akan menyebabkan terjadinya endapan (*flock*), bahan kimia yang digunakan adalah tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ digunakan

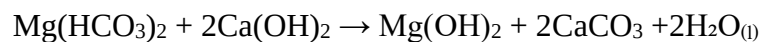
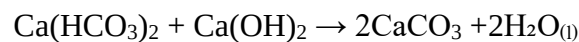
sebagai koagulan. Salah satu permasalahan dari sifat kimia pada air baku adalah kesadahan air, terdiri dari:

1. Kesadahan sementara

Kesadahan sementara terjadi akibat adanya senyawa bikarbonat dari kalsium dan magnesium, seperti kalsium bikarbonat ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) dan magnesium bikarbonat ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) yang larut dalam air. Jenis kesadahan ini dapat dihilangkan dengan cara menambahkan larutan kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ke dalam air. Reaksi yang terjadi adalah:



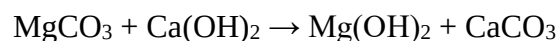
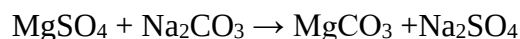
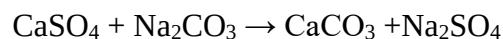
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ ditambahkan kedalam air sadah dengan tujuan menghilangkan kesadahan sementara, menurut reaksi:



Reaksi antara larutan kapur dan senyawa bikarbonat akan menghasilkan endapan kalsium karbonat (CaCO_3) dan magnesium hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) yang tidak larut dan bisa diendapkan. Selain mengurangi kesadahan, larutan kapur ini juga meningkatkan pH air, menciptakan kondisi basa yang mendukung proses koagulasi agar lebih optimal.

2. Kesadahan tetap

Kesadahan tetap disebabkan oleh garam-garam kalsium dan magnesium yang tidak mengandung bikarbonat, seperti kalsium sulfat (CaSO_4), magnesium sulfat (MgSO_4), dan magnesium karbonat (MgCO_3). Jenis kesadahan ini tidak bisa dihilangkan hanya dengan pemanasan atau penambahan kapur. Oleh karena itu, untuk mengatasinya, digunakan natrium karbonat (Na_2CO_3) menurut reaksi:



Senyawa ini akan bereaksi dengan ion kalsium dan magnesium dalam air membentuk endapan yang dapat disaring, sehingga kesadahan tetap bisa dikurangi secara efektif.

2. Tahapan kedua

Air dialirkan ke clarifier, di mana flok-flok yang terbentuk mengendap secara gravitasi dengan pengadukan lambat. Lumpur hasil endapan akan

dibuang (blow down), sementara air bersih dari bagian atas tangki ditampung sementara.

3. Tahapan ketiga

Air dari penampungan dialirkan ke sand filter untuk menyaring partikel halus yang tersisa. Hasil penyaringan disalurkan ke dua tangki penyimpanan:

- *Filtered Water Storage Tank*, untuk menampung air yang digunakan sebagai air pendingin, air hydrant, serta air umpan unit demineralisasi.
- *Portable Water Storage Tank*, untuk menampung air yang digunakan untuk kebutuhan sanitasi dan rumah tangga.

Air yang digunakan sebagai air pendingin, air sanitasi, dan air hydrant berasal dari air bersih biasa, sedangkan air proses dan air umpan boiler berasal dari air yang telah melalui proses demineralisasi agar memenuhi standar spesifik.

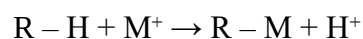
4. Unit demineralisasi

Unit ini berfungsi untuk menghasilkan demin water yang digunakan sebagai umpan boiler untuk produksi uap. Proses ini menghilangkan kandungan mineral seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , dan Cl^- , baik dalam bentuk karbonat, sulfat, maupun klorida. Dalam kondisi normal, unit ini menerima pasokan dari air hasil desalinasi dan air kondensat yang berasal dari unit penukar panas atau turbin. Kedua jenis air ini diproses secara terpisah sebelum dicampur dalam tangki pretreated water. Air kondensat difilter terlebih dahulu menggunakan cartridge filter, lalu dicampur dengan air desalinasi dan dikirim ke mixed bed filter untuk deionisasi penuh.

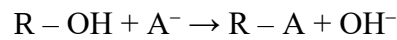
Mixed bed filter berisi campuran resin kation dan anion. Regenerasi resin dilakukan menggunakan bahan kimia kuat asam sulfat (H_2SO_4) untuk resin kation dan caustic soda (NaOH) untuk resin anion. Limbah dari proses regenerasi dikumpulkan di dalam basin netralisasi.

Prinsip kerja resin:

- Resin kation atau ion positif akan menyerap ion mineral bermuatan positif (misal M^+) dan resin akan melepas ion hydrogen, menghasilkan reaksi:



- o Resin anion atau ion negatif menyerap ion mineral bermuatan negatif (misal A^-) dan resin akan melepas hidroksi (OH^-), menghasilkan reaksi:

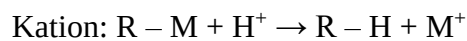


Ion H^+ dan OH^- yang terbentuk akan bereaksi menjadi air:



Ketika resin jenuh karena terlalu banyak ion yang terikat, kemampuan pertukaran ionnya menurun dan mineral mulai lolos, ditandai dengan naiknya konduktivitas air. Oleh karena itu, regenerasi resin sangat penting untuk menjaga kualitas air demineralisasi. Resin kation diregenerasi menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) dan resin anion diregenerasi menggunakan caustic soda ($NaOH$).

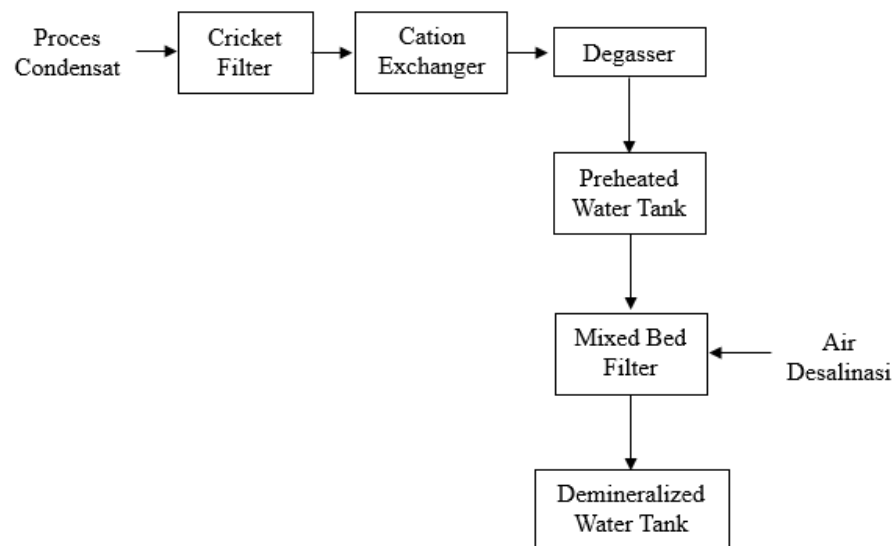
Reaksi regenerasi:



Produk air demineral yang dihasilkan memiliki kualitas pada Tabel 4.5

Tabel 4.4 Spesifikasi Air Demineralisasi

Parameter	Nilai
pH	5-7
Konduktivitas	5 $\mu S/cm$ (maks)
SiO ₂	0,1 ppm (maks)
Besi	0,05 ppm (maks)
TSS	0,1 ppm (maks)
Residu Oksigen	1 ppm (maks)

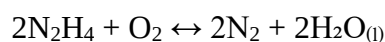


Gambar 4.2 Diagram Blok Unit Demineralisasi

5. Daerasi

Air yang telah melalui proses demineralisasi masih mengandung gas-gas terlarut seperti oksigen dan karbon dioksida. Keberadaan gas-gas ini harus dihilangkan karena dapat menyebabkan korosi. Oleh karena itu, air tersebut diproses lebih lanjut dalam unit deaerator. Di dalam deaerator, ditambahkan beberapa bahan kimia, antara lain:

- Hidrazin, yang berfungsi untuk mengikat oksigen terlarut melalui reaksi berikut:



Gas nitrogen yang dihasilkan bersama gas lain akan dikeluarkan melalui proses stripping menggunakan uap bertekanan rendah.

- Larutan amonia, yang berperan dalam mengatur pH air.

Setelah melewati deaerator, pH air berkisar antara 8,5 hingga 9,5. Air ini kemudian dialirkan ke sistem air umpan boiler, di mana ditambahkan larutan fosfat ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}_{(l)}$) untuk mencegah pembentukan kerak silika dan kalsium pada drum uap (steam drum) dan pipa boiler. Sebelum digunakan sebagai umpan boiler, air juga diberi zat dispersan terlebih dahulu.

4.1.3 Kebutuhan Air

Air merupakan salah satu kebutuhan utama dalam operasional pabrik, baik untuk proses produksi, sistem pendinginan, umpan boiler, hingga keperluan sanitasi dan keselamatan kerja. Oleh karena itu, perencanaan dan penyediaan air

dalam jumlah dan kualitas yang tepat menjadi aspek penting yang harus diperhatikan dalam desain pabrik Asam Format, yaitu:

1. Air Pendingin

Air pendingin dimanfaatkan untuk mengatur suhu reaktor, mendinginkan produk hasil distilasi, serta mengembunkan uap dari proses distilasi. Adapun kebutuhan air pendingin dalam prarancangan pabrik asam format sebagai berikut.

Tabel 4.5 Kebutuhan Air Pendingin

No	Nama Alat	Kebutuhan (kg/jam)
1	Cooler-01 (E-212)	233,596
2	Cooler-02 (E-416)	98,665
3	Cooler-03 (E-616)	73,252
4	Condensor-01 (E-311)	4103,793
5	Condensor-02 (E-411)	751,658
6	Condensor-03 (E-511)	18,550
7	Condensor-04 (E-611)	391,532
Total		5671,045

- Jumlah kebutuhan air untuk pendingin sebesar = 5671,045 kg/jam
- Densitas air pada 30°C (Perry, 1999) = 995,647 kg.m³
- Jadi total kebutuhan air pendingin = 5,671 m³/jam
- Diperkirakan terjadi penguapan air saat proses pendinginan pada cooling water sebesar 10%
 $10\% \times 5,671 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,567 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Kebutuhan make up air pendingin = 5,671 m³/jam + 0,567 m³/jam
= 6,238 m³/jam
= 149,716 m³/hari

2. Air Sanitasi

Berikut jumlah kebutuhan air sanitasi yang dibutuhkan:

- Air untuk karyawan kantor

Kebutuhan air untuk karyawan sebesar 15 L/orang/hari (Linsley hal. 93, 1974)

Jumlah karyawan sebanyak 150 orang

Sehingga air yang diperlukan sebanyak = $150 \times 15 \text{ L/orang/hari}$
= 2253 L/hari = 2,253 m³/hari.

- Air untuk tamu, kontraktor, pekerja lepas, diasumsikan sebanyak 50 orang.

Kebutuhan air sebanyak: $50 \times 15 \text{ L/orang/hari} = 750 \text{ L/hari} = 0,750 \text{ m}^3/\text{hari}$.

- Air untuk laboratorium diperkirakan sebanyak 2,5 m³/hari.
- Air untuk pembersihan dan lain-lain sebanyak 10 m³/hari.

Kebutuhan air untuk sanitasi sebanyak: $2,253 + 0,75 + 2,5 + 10 = 15,503 \text{ m}^3/\text{hari}$.

3. Air Hydrant

Berdasarkan SNI 03-6570-2000 tangki penyimpanan air hydrant mempunyai kapasitas penyimpanan efektif yang mampu memasok air pada laju nominal standar 2400 Liter/menit dengan waktu tidak kurang dari 45 menit.

Maka volume tangki penyimpanan minimum adalah:

$$V = Q \times t = 2400 \text{ liter/menit} \times 45 \text{ menit} \\ = 108000 \text{ liter/menit}$$

Hitung total luas di luar 1.000 m² pertama:

$$14.875 \text{ m}^2 - 1.000 \text{ m}^2 = 13.875 \text{ m}^2$$

Hitung jumlah pertambahan 1.000 m² setelah 1.000 m² pertama:

$$(13.875 \text{ m}^2)/1000\text{m}^2 = 13.875 \text{ m}^2(\text{dibulatkan keatas})$$

Total hidran:

$$2 (\text{untuk } 1.000 \text{ m}^2 \text{ pertama}) + 14 = 16 \text{ hidran}$$

4.2. Unit Penyedia Steam

Unit penyedia uap (steam) dalam suatu pabrik umumnya menggunakan boiler sebagai alat utama untuk menghasilkan uap air. Pemilihan jenis boiler didasarkan pada beberapa pertimbangan, seperti kapasitas dan tekanan uap yang dihasilkan, jenis bahan bakar yang digunakan, ketahanan instalasi, biaya operasional dan perawatan, serta faktor-faktor ekonomi lainnya. Pada Pabrik Asam Format, uap yang dihasilkan oleh boiler dimanfaatkan sebagai sumber panas untuk alat penukar panas dan reboiler dalam proses distilasi.

Tabel 4.6 Kebutuhan Steam

No	Nama Alat	Kebutuhan (kg/jam)
1	Heater 1 (E-112)	93,530
2	Heater 2 (E-122)	60,271
3	Reaktor 1 (R-210)	52,673

4	Heater 3 (E-222)	377,366
5	Reaktor 2 (R-230)]	121,080
6	Heater 4 (E-232)	98,057
7	Reboiler 1	2427,262
8	Reboiler 2	452,518
9	Heater 5 (E-132)	1307,541
10	Reboiler 3	648,342
11	Reboiler 4	653,294
Total		6291,935

Umpan boiler yang disuplai dari unit pengolahan air. Total kebutuhan steam dari seluruh unit proses adalah 6291,935 kg/jam. Dengan mempertimbangkan faktor kehilangan sebesar 20%, maka total kebutuhan steam menjadi 7550,322 kg/jam atau 16.645,590 lb/jam. Jenis boiler yang digunakan adalah water tube boiler karena memiliki efisiensi yang tinggi dan memiliki kapasitas yang besar.

Perhitungan Air Umpan Boiler dan Make-Up Boiler:

- Blowdown pada air umpan sebesar 4-5% (diambil 5% dari steam) = 832,279 lb/jam
- Total air umpan boiler = steam + blowdown = 16.645,590 + 832,279 lb/jam
= 17.477,869 lb/jam
- Kondensat kembali (80% dari steam) = 13.316,472 lb/jam
- Kondensat hilang = 17.477,869 – 13.316,472 = 4.161,397 lb/jam
- Make-up boiler = kondensat hilang + blowdown = 4.161,397 + 832,279 lb/jam
= 4.993,677 lb/jam

Persentase:

- % Make-up boiler = $(17.477,869 / 4.993,677) \times 100\% = 28,571\%$
- % Kondensat kembali = $(17.477,869 / 13.316,472) \times 100\% = 76,190\%$

Tabel 4.7 Total Kebutuhan Air Boiler

Keterangan	Jumlah (lb/jam)
Kebutuhan steam	16645,590
Blowdown	832,279
Umpan air masuk boiler	17477,869
Kondensat yang kembali	13316,472
Kondensat yang hilang	4161,397
Make-up boiler	4993,677

1. Perhitungan kebutuhan kapasitas boiler

Kapasitas boiler dihitung berdasarkan kebutuhan steam total sebesar 6291,935 kg/jam atau ekuivalen dengan 13.871,325 lb/jam. Perhitungan kapasitas panas (Q) dari boiler dilakukan menggunakan persamaan:

$$Q = m \times (H - H_f)$$

di mana:

Q = kapasitas boiler (Btu/jam)

m = massa steam (lb/jam)

H = entalpi uap jenuh pada kondisi P = 6 bar, T = 166,4°C sebesar 1193,1 btu/lb

H_f = entalpi air umpan (feedwater)

Air umpan boiler terdiri dari 28% air makeup pada suhu 30°C (86°F) dengan entalpi sebesar 54,03 Btu/lb, dan 76% berupa kondensat dengan entalpi 265,598 Btu/lb. Maka entalpi air umpan rata-rata dihitung sebagai berikut:

$$H_f = (0,28 \times 54,03) + (0,76 \times 265,598) = 217,798 \text{ Btu/lb}$$

Dengan demikian, kapasitas panas boiler:

$$Q = 13.871,325 \times (1178,58 - 217,798) = 13.327.325,959 \text{ Btu/jam}$$

Untuk menentukan kebutuhan luas perpindahan panas, digunakan rumus berikut:

$$H_p = \frac{Q}{970,3 \times 34,5} = \frac{13.327.325,959}{33.467,85} = 398,124 \text{ Hp}$$

Mengacu pada Severn (hal. 126), luas bidang pemanas untuk saturated steam boiler adalah 10 ft²/Hp, maka total luas bidang pemanas (heating surface) yang dibutuhkan adalah:

$$A = 10 \times 398,124 = 3.981,236 \text{ ft}^2$$

2. Perhitungan kebutuhan bahan bakar boiler

Boiler menggunakan bahan bakar minyak residu (fuel oil grade 4) dengan nilai kalor (Heating Value) sebesar 18.800 Btu/lb dan densitas 59,14 lb/ft³. Dengan efisiensi boiler sebesar 75%, kebutuhan bahan bakar per jam adalah:

$$\dot{m}_f = \frac{Q}{\eta \times NHV} = \frac{13.327.325,959}{0,75 \times 18.800} = 945,20 \text{ Hp}$$

Volume bahan bakar per jam dihitung dengan membagi massa bahan bakar dengan densitasnya:

$$\text{Volume} = \frac{945,20}{59,14} = 15,98 \frac{ft^3}{jam} \approx 0,45 \frac{m^3}{jam}$$

Kebutuhan bahan bakar per bulan dihitung sebagai:

$$0,45 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 30 \text{ hari} = 325,85 \text{ m}^3/\text{bulan}$$

Spesifikasi boiler yang digunakan:

- Jenis: Water Tube Boiler
- Jumlah unit: 1 buah
- Luas bidang perpindahan panas: 3.981,236 ft²
- Tekanan operasi: 87,02 psi = 6 bar
- Suhu operasi: 331,52°F (166,4°C)
- Bahan bakar: Fuel oil grade 4
- Laju bahan bakar: 15,98 ft³/jam atau sekitar 0,45 m³/jam

4.3. Unit Pengadaan Udara Tekan

Udara tekan berfungsi sebagai media konversi energi dengan cara memampatkan udara lingkungan menggunakan peralatan pneumatik. Dalam sistem instrumentasi, udara tekan dimanfaatkan untuk mengoperasikan katup (valve) di area berbahaya yang tidak aman bila ditangani langsung oleh manusia, seperti lingkungan bersuhu tinggi, mengandung bahan kimia berbahaya, atau bertegangan listrik tinggi. Pemanfaatan udara tekan juga dapat mengurangi tenaga kerja manusia serta mempercepat proses kerja.

Untuk menghasilkan udara tekan sesuai kebutuhan, digunakan kompresor. Kompresor berfungsi mengatur tekanan udara dan memiliki beberapa keunggulan dibandingkan tenaga listrik atau hidrolik, antara lain: konstruksi dan pengoperasian alat lebih sederhana, perawatan dan inspeksi lebih mudah, harga relatif terjangkau, serta kebocoran udara tidak berbahaya atau mencemari lingkungan.

Sistem penyedia udara tekan terdiri dari beberapa komponen penting:

1. Filter udara masuk (FI): menyaring debu agar tidak masuk ke katup masuk kompresor.
2. Pendingin antar tahap (C): mendinginkan udara dengan air pendingin sebelum masuk ke tahap berikutnya, sehingga meringankan kerja kompresor.
3. After Cooler (AC): menurunkan suhu udara melalui alat penukar panas untuk mengurangi kandungan air.

4. Pengering udara (D): menghilangkan sisa uap air menggunakan adsorben seperti karbon aktif, silika, refrigeran, atau panas dari kompresor.
5. Trap pengeluaran air (T): membuang sisa kandungan air dari udara tekan.

Sebelum dikompresi, udara dari luar disaring terlebih dahulu untuk menghilangkan partikel kotoran. Setelah itu, udara dikompresi hingga tekanan sekitar 7 kg/cm² atau 6,8 bar, disimpan dalam air receiver, dan siap digunakan untuk keperluan instrumentasi maupun pembersihan alat. Salah satu contoh penggunaannya adalah untuk menggerakkan control valve. Khusus udara instrumentasi, sebelum masuk ke air receiver, udara harus melalui dryer agar bebas dari kandungan air karena kelembaban dapat merusak sistem instrumentasi. Unit ini menyuplai udara tekan pada unit produksi, khususnya untuk menggerakkan pneumatic control valve. Terdapat dua jenis udara tekan yang dihasilkan, yaitu:

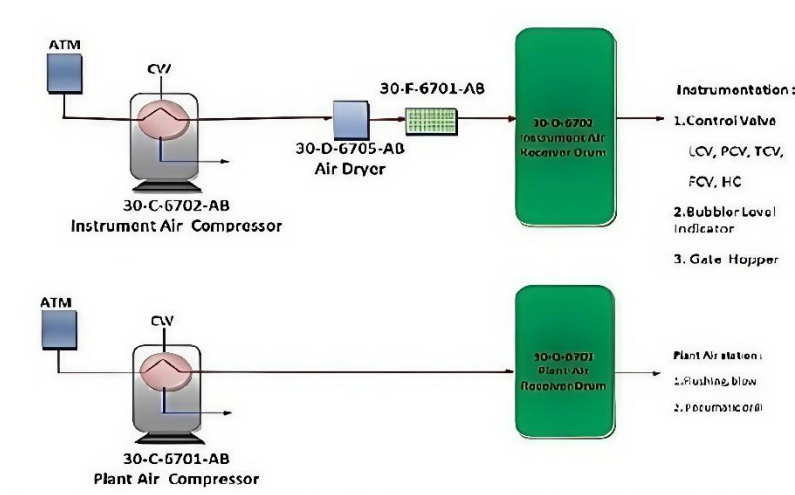
1. Plant air ($P = 10 \text{ kg/cm}^2$, suhu ruang): digunakan pada proses yang membutuhkan udara dengan kelembapan tinggi (udara basah).
2. Instrument air ($P = 7 \text{ kg/cm}^2$, suhu ruang): digunakan pada sistem yang memerlukan udara kering dan bebas pengotor.

Udara proses (service air) digunakan pada alat atau proses yang tidak memerlukan udara super kering, sedangkan udara instrument harus kering dan bersih, umumnya digunakan untuk mengoperasikan peralatan instrumentasi pneumatik dan proses aerasi.

Untuk memproduksi keduanya, udara dialirkan ke:

1. Kompresor A untuk udara proses.
2. Kompresor B untuk udara instrumentasi.

Setelah dikompresi, udara dialirkan ke unit Departemen Produksi dan ditampung dalam Air Receiver. Udara instrumentasi terlebih dahulu melewati Air Dryer untuk mengurangi kelembaban, lalu melalui Filter Instrument Air, kemudian ditampung dalam Instrument Air Receiver. Sementara itu, udara proses langsung ditampung di receiver tanpa proses pengeringan dan penyaringan tambahan. Keduanya kemudian disalurkan untuk kebutuhan proses produksi.



Gambar 4.3 Diagram Alir Pengadaan Udara Tekan

4.4. Unit Penyedia Tenaga Listrik

Pemenuhan kebutuhan listrik di pabrik asam format berasal dari dua sumber, yaitu pasokan dari PLN dan juga dari generator internal pabrik. Tujuan penggunaan dua sumber ini adalah untuk memastikan suplai listrik tetap stabil dan berkelanjutan, meskipun terjadi gangguan pada pasokan dari PLN. Generator yang digunakan merupakan jenis arus bolak-balik (AC) dengan beberapa alasan, yaitu:

1. Mampu menghasilkan daya listrik dalam jumlah besar
2. Tegangannya dapat disesuaikan (ditingkatkan atau diturunkan) sesuai kebutuhan operasional

Adapun kebutuhan listrik di pabrik ini mencakup beberapa aspek, yaitu:

1. Listrik untuk kegiatan proses produksi dan sistem utilitas
2. Listrik untuk sistem penerangan
3. Listrik untuk pendingin ruangan (AC)
4. Listrik untuk laboratorium dan alat instrumentasi
5. Listrik untuk peralatan listrik lainnya

Estimasi besar daya listrik yang dibutuhkan untuk masing-masing keperluan di atas dapat dihitung atau diperkirakan sesuai kondisi operasional pabrik.

1. Listrik untuk keperluan proses dan utilitas

Kebutuhan listrik untuk keperluan proses dapat dilihat pada Tabel 4.11

Tabel 4.8 Kebutuhan Listrik untuk Alat-Alat Proses

Alat	Hp	Jumlah	Total hp
Pompa Sulfolane	1	1	1
Pompa Metil Formiat	1	1	1

Pompa Air	1	1	1
Pompa Reaktor	1	2	2
Pompa Mixer	1	1	1
Pompa Kondensor	1	4	4
Pompa Reboiler	1	2	2
Pompa Produk	1	2	2
Pengaduk R-01	1	3	3
Pengaduk R-02	1	3	3
Total			20

Kebutuhan listrik untuk keperluan utilitas dapat dilihat pada Tabel 4.12

Tabel 4.9 Kebutuhan Listrik untuk Utilitas

Alat	Hp	Jumlah	Total hp
Pompa air pendingin	2	1	2
Pompa air sanitasi	1	1	1
Pompa air laut	20	1	20
Pompa pengolahan limbah	2	1	2
Pompa bahan bakar	1	1	1
Pompa boiler	4	3	12
Pompa cooling tower	10	1	10
Pompa kondensat	2	3	6
Total			54

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan listrik pengolahan} &= \text{kebutuhan proses} + \text{kebutuhan utilitas} \\
 &= 20 \text{ hp} + 54 \text{ hp} \\
 &= 74 \text{ hp} \\
 &= 55,181 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

2. Listrik untuk keperluan penerangan

Perkiraan kebutuhan daya listrik untuk penerangan dapat dihitung menggunakan pendekatan luminous efficacy, yaitu kemampuan lampu untuk memancarkan energi cahaya dalam satuan lumen. Jumlah pencahayaan yang diperlukan berdasarkan luas area ditentukan dengan rumus:

$$\text{Lumen} = \text{area} \times \text{lux}$$

Di mana:

Luas area = total permukaan (m^2) yang memerlukan pencahayaan.

Lux = intensitas cahaya yang dibutuhkan per meter persegi (lumen/m^2).

Nilai lux yang digunakan bervariasi tergantung jenis ruangan atau area yang akan diterangi. Dalam perencanaan ini, digunakan nilai lux standar yang mengacu pada referensi *Lighting Handbook* dari Zumtobel Lighting GmbH. Jumlah lumen yang dibutuhkan dihitung sesuai dengan ketentuan tersebut, menggunakan acuan standar pencahayaan dari AUS (*Lighting Handbook: Zumtobel Lighting GmbH*).

Tabel 4.10 Kebutuhan Lumen Penerangan Pabrik

No	Indoor	Luas (m^2)	Lu (Lumen/m^2)	Lumen
1.	Gedung Pertemuan	100	150	15000
2.	Kantor Utama	300	450	135000
3.	Kantin	100	150	15000
4.	Perpustakaan	25	150	3750
5.	Poliklinik	50	150	7500
6.	Tempat Ibadah	25	300	7500
7.	Laboratorium	50	500	25000
8.	Ruang Kontrol	50	300	15000
9.	Gudang	100	150	15000
10.	Bengkel	100	200	20000
11.	K3 dan Fire Safety Area	100	150	15000
12.	Area Proses	10000	100	1000000
Total		1273750		

No	Outdoor	Luas (m^2)	Lu (Lumen/m^2)	Lumen
1.	Pos Keamanan	25	150	3750
2.	Taman dan titik kumpul	50	50	2500
3.	Titik kumpul	200	50	10000
4.	Tempat Parkir	200	5	1000
5.	Area Utilitas	250	5	1250
6.	Unit Pengelola Limbah	150	50	7500

7. Area Perluasan	3000	50	150000
Total			176000

Lampu yang digunakan direncanakan dari brand Philips dengan jenis lampu LED 14 watt (indoor) dan 18 watt (outdoor), di mana masing – masing besar lumennya adalah 1.400 dan 2.000.

Sehingga dapat dihitung jumlah lampu yang digunakan dan total daya lampu penerangannya sebagaimana tertera dibawah ini :

- Jumlah lumen di indoor = 1.273.750 lumen
- Jumlah lampu yang digunakan di indoor = $1.273.750 / 1.400 = 909,821$ lampu
- Jumlah lumen di outdoor = 176000 lumen
- Jumlah lampu yang digunakan di outdoor = $176000 / 2000 = 88$ lampu

$$\begin{aligned}
 \text{Total daya penerangan} &= (909,821 \times 14) + (88 \times 18) \\
 &= 14321,5 \text{ watt} \\
 &= 14,321 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

3. Air conditioner

Tabel 4.11 Kebutuhan Listrik Pendingin Udara

No	Bangunan	Luas (m ²)
1.	Gedung Pertemuan	100
2.	Kantor Utama	300
3.	Perpustakaan	25
4.	Poliklinik	50
5.	Tempat Ibadah	25
6.	Laboratorium	50
7.	Ruang Kontrol	50
8.	K3 dan Fire Safety Area	100
Total		700

Air conditioner direncanakan menggunakan AC inverter. Sebuah AC 1 PK memerlukan daya listrik sebesar 520 watt. Luas area yang memerlukan AC sebesar 700 m². Dan satu buah AC diperkirakan cukup untuk memenuhi ruangan dengan luas 4 x 6 m². Sehingga AC yang dibutuhkan sejumlah: $700 / 24 = 29$ buah. Kebutuhan listrik untuk AC = $29 \times 520 \text{ watt} = 15166,67 \text{ watt} = 15,16 \text{ kW}$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan total listrik} &= \text{keperluan pengolahan} + \text{penerangan} + \text{AC} \\
 &= 55,18 \text{ kW} + 14,32 \text{ kW} + 15,17 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$= 84,67 \text{ kW.}$$

4. Generator

Untuk memenuhi kebutuhan listrik diatas diperoleh dari PLN dan generator. Generator merupakan cadangan jika listrik dari PLN mengalami gangguan. Generator yang digunakan memiliki efisiensi sebesar 80%.

$$\text{Input generator} = 84,67 \text{ kW} / 0,8 = 105,84 \text{ kW}$$

Ditetapkan output generator sebesar 200 kW.

Spesifikasi generator:

- Type = AC generator
- Kapasitas = 200 kW
- Tegangan = 220/360 volt
- Efisiensi = 80%
- Frekuensi = 50Hz
- Phase = 3 phase
- Jumlah = 1 buah
- Bahan bakar = solar

4.5. Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit ini bertugas untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar dari generator yang fungsinya sebagai cadangan listrik jika listrik mengalami kegagalan, dimana bahan bakar yang akan digunakan berupa solar. Pemilihan solar sebagai bahan bakar didasarkan pada mudah untuk didapatkan, mudah dalam penyimpanan, kesetimbangannya yang terjamin, dan biaya operasional yang rendah. Berikut ini merupakan perhitungan kebutuhan bahan bakar solar untuk menjalankan generator:

Jenis bahan bakar	= Solar
Heating value	= 19.440 btu/lb
Efisiensi pembakaran	= 80%
Specific gravity	= 0,8691
Densitas	= 54,26 lb/ft ³
Kapasitas input generator	= 200 Kw = 682.428,32 btu/jam
Kebutuhan solar	$= \frac{682.428,32 \text{ btu/jam}}{0,8691 \times 0,8 \times 19440 \text{ btu/lb}} = 50,49 \text{ lb/jam}$
Volume solar	$= \frac{50,49 \text{ lb/jam}}{52,25 \text{ lb/ft}^3} = 0,93 \text{ ft}^3/\text{jam} = 26,35 \text{ l/jam}$

4.6. Unit Laboratorium

Unit laboratorium merupakan unit pendukung pada pabrik yang disiapkan untuk menunjang kelancaran proses produksi dengan menyediakan berbagai data supaya proses produksi tetap terkontrol dan juga berperan untuk mengevaluasi proses. Laboratorium memiliki berbagai fungsi seperti berikut:

- a. Menjaga kualitas atau mutu produksi perusahaan
 - Melakukan pengecekan kualitas bahan baku terhadap persyaratan yang diperkenankan
 - Melakukan pengecekan kualitas dari produk yang siap dipasarkan terhadap standar mutu yang berlaku
 - Melakukan pengecekan terhadap utilitas seperti air proses, chemical agent, dan melakukan pengecekan pada stream-stream produksi

- b. Mengendalikan pencemaran lingkungan

Dengan adanya data dari laboratorium limbah dari pabrik akan terus terpantau kadar senyawa yang berbahaya sehingga akan memudahkan tim dari *waste water treatment plant* dalam pengolahan limbah sehingga limbah yang akan di buang tidak menyebabkan pencemaran lingkungan sekitar pabrik.

- c. Melakukan penelitian dan pengembangan

Laboratorium juga melakukan perannya dalam hal penelitian dan pengembangan untuk mendapatkan terobosan baru agar kemajuan pabrik dan daya saing tetap berkembang. Penelitian dan pengembangan bisa terkait dengan proses produksi, utilitas, maupun pengolahan limbah.

Pada pabrik ini, untuk menjalankan tugas yang ada, maka laboratorium dibagi menjadi:

- a. Laboratorium pengamatan

Laboratorium ini bertugas untuk mengadakan pemeriksaan terhadap sifat fisis pada bahan baku dan produk.

- b. Laboratorium analitik dan gas

Laboratorium ini bertugas untuk mengadakan pemeriksaan terhadap sifat kimia pada proses (bahan baku dan produk), maupun utilitas (analisa air proses, air konsumsi umum, air pendingin, air sanitasi, dan kerak pada boiler), serta pengujian limbah (cair dan padat)

- c. Laboratorium penelitian dan pengembangan

Laboratorium ini bertugas untuk mengadakan penelitian dan pengembangan terhadap proses produksi, perlindungan lingkungan, mengadakan penelitian nonrutin yang fungsinya untuk mendapatkan alternatif lain mengenai penggunaan bahan baku.

d. **Laboratorium administrasi/gudang/statistik**

Laboratorium ini tidak memiliki alat khusus karena difungsikan untuk mengatur administrasi laboratorium, pergudangan, dan statistik.

Laboratorium pada pabrik dilengkapi dengan alat-alat instrument seperti berikut untuk keberlangsungannya:

- a. *Water content tester* untuk menganalisa kandungan air
- b. *pH meter* untuk menganalisa tingkat keasaman atau kebasaan suatu senyawa
- c. *Gas Chromatography (GC)* untuk menganalisa kemurnian produk
- d. *High performance liquid chromatography (HPLC)* untuk menganalisa kandungan senyawa dalam suatu material
- e. Viskosimeter untuk mengukur viskositas cairan atau slurry
- f. *Conductivity meter* untuk menganalisa konduktivitas pada air, feed, dan produk
- g. Spektrofotometer untuk mengetahui konsentrasi suatu senyawa terlarut dalam air
- h. *Moisture meter* untuk menganalisa kandungan air dan bromine index
- i. *Automatic titrator* untuk menganalisa kandungan klorida, kesandahan, dan alkalinitas
- j. *Smoke point tester* untuk melakukan pengecekan terhadap smoke point atau titik asap
- k. *Auto flash* untuk mengecek titik nyala api
- l. *Hydrometer* untuk mengukur *specific gravity* (60/60°F) suatu senyawa

4.7. Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah adalah unit yang ditugaskan untuk melakukan pengolahan terhadap limbah dari pabrik untuk mengubah karakteristik dan komposisi limbah guna menghilangkan atau mengurangi sifat bahaya limbah sebelum dibuang ke lingkungan supaya tidak terjadi pencemaran lingkungan dengan mematuhi peraturan baku mutu limbah yang telah ditetapkan oleh kementerian lingkungan hidup yang telah diatur pada peraturan menteri lingkungan hidup republik indonesia nomor 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah (KemenLH, 2014). Limbah yang dihasilkan pada pabrik asam

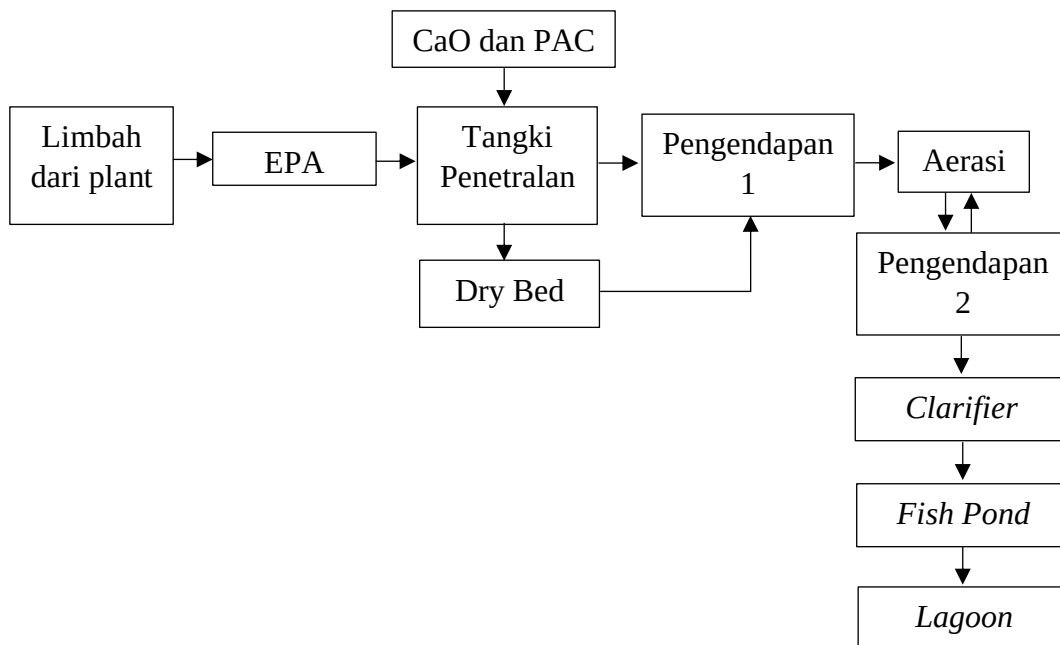
format ini diklasifikasikan menjadi limbah cair dan limbah padat (Asyidiki, 2022; Suhartawan *et al.*, 2023).

4.7.1 Limbah Cair.

Limbah cair dapat berasal dari proses, utilitas, laboratorium, maupun sanitasi.

- Air berminyak yang dihasilkan dari buangan pelumas pada pompa serta alat lainnya merupakan limbah cair yang ditangani dengan menggunakan separator (cara pemisahan berdasarkan berat jenis), minyak dibagian atas akan dialirkan ke penampungan minyak dan pengolahannya dengan pembakaran di dalam tungku pembakaran, sedangkan air dibagian bawah akan dialirkan ke penampungan air yang kemudian dibuang.
- Limbah cair dari laboratorium sebelum dibuang akan diolah terlebih dahulu dengan physical treatment (pengendapan, penyaringan), chemical treatment (penambahan bahan kimia, pengontrolan pH) dan biological treatment karena mengandung zat-zat kimia. Untuk limbah B3 cair lainnya akan diserahkan pada pihak ketiga.
- Limbah cair sisa utilitas dapat berasal dari sisa regenerasi unit penukar ion dan unit demineralisasi, untuk pengolahannya adalah dinetralkan dengan larutan H_2SO_4 bila pH buangan lebih dari 7 atau larutan NaOH bila pH buangan kurang dari 7. Air yang telah netral akan dikirim menuju penampungan akhir bersama dengan aliran air dari pengolahan yang lain dan blowdown dari clarifier.
- Limbah cair sanitasi berasal dari seluruh toilet pada kawasan pabrik yang dikumpulkan dan diolah di unit stabilisasi dengan menggunakan lumpur aktif, aerasi, dan desinfektan berupa *calcium hypochlorite*.
- Limbah cair yang berasal dari plant diolah oleh unit *Wastewater Treatment Plant* (WWTP). Pada unit ini terdapat beberapa proses diawali dengan mengalirkan limbah cair dari plant ke ke *equalizer pond*. Bak equalizer berfungsi sebagai tempat penampungan sementara sebelum dialirkan ke tangki penetral. Aliran limbah dari bak equalisasi sebelum ke bak aerasi dialirkan terlebih dahulu menuju tangki penetral untuk ditambahkan suspensi kapur (CaO) dan poly aluminium chloride (PAC). Penambahan kapur ini bertujuan untuk

mengontrol pH limbah agar tidak asam, sedangkan PAC berfungsi sebagai koagulan untuk penjernihan limbah cair. Sehingga, pada tangki produk dilengkapi agitator yang berfungsi untuk mempercepat proses koagulasi dan flokulasi. Selanjutnya air limbah dari tangka produk dialirkan menuju tangka pengendap 1 dan endapan yang terdapat di dalam tangki bagian bawah dialirkan ke *dry bed* dengan gaya gravitasi. Pada bak pengendap 1 ini berfungsi sebagai penampung air limbah dari bak penetral sebelum masuk ke aerasi. Limbah dari tangki pengendap 1 yang berupa air dialirkan ke unit aerasi yang berfungsi sebagai aerob. Di dalam bak aerasi ditambahkan bakteri aerob dan supply oksigen menggunakan blower. Fungsi penambahan bakteri adalah untuk mereduksi kandungan pengotor pada limbah secara biologis. Jenis bakteri yang digunakan tersebut membutuhkan oksigen agar bakteri dapat tetap hidup dan memecah pengotor-pengotor organik mejnadi CO₂. Di dalam bak aerasi juga ditambahkan gula, urea, dan trinatrium fosfat (TSP) sebagai makanan bagi bakteri tersebut. Bakteri yang mengendap di bawah akan dialirkan ke aerasi lalu air akan mengalir ke clarifier. Clarifier berguna untuk memfiltrasi sejumlah kecil partikel-partikel halus yang menghasilkan liquid yang jernih dan bebas partikel-partikel solid atau suspense ataupun bakteri yang masih terbawa. Partikel-partikel padatan yang mengendap di bawah bak penetral dan clarifier akan ditransfer menuju *drying bed*. Pada bak ini terdapat filter untuk pemisahan kandungan air sisa dengan endapan lumpur. Air limbah kemudian dimasukkan ke dalam lagoon dengan waktu tinggal yang cukup lama agar terjadi pemurnian secara biologis alami sesuai dengan derajat pengolahan yang ditentukan. Jika air limbah masih mengandung COD yang tinggi akan dikembalikan lagi menuju bak aerasi untuk diproses ulang sampai kandungan COD pada lagoon sesuai dengan derajat pengolahan yang ditentukan. Jika kandungan COD pada final lagoon sudah di bawah angka 250, air limbah aman untuk dibuang ke Lingkungan.



Gambar 4.4 Pengolahan Limbah

4.7.2 Limbah Padat

Limbah padat yang dihasilkan oleh industri asam format dapat berasal dari aktivitas manusia, proses produksi, atau yang terjadi secara alamiah. Limbah padat dapat berupa kaleng pengepakan, plastik, kertas, botol bekas, pecahan kaca, daun, dan lainnya. Limbah padat yang dihasilkan sementara waktu ditampung di bak sampah yang berbeda-beda, yaitu warna hijau, kuning, dan merah. Tiap masing-masing warna memiliki maksud tersendiri, yaitu:

1. Warna hijau: Untuk jenis sampah organik, berupa dedaunan serta jenis sampah yang mudah terurai
2. Warna kuning: Untuk jenis sampah anorganik, berupa plastik, kaleng, botol, serta jenis sampah yang tidak mudah terurai
3. Warna merah: Untuk jenis sampah yang mengandung B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun)

Setelah ditampung sementara pada bak sampah tersebut, maka dilakukan pengolahan limbah lebih lanjut untuk limbah yang dihasilkan pada pabrik. Pengolahan sampah lebih lanjut tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Untuk sampah anorganik dan organik dibuang ke TPS (Tempat Pembuangan Sementara) yang telah ada di pabrik. Dari TPS, sampah organik dan anorganik diangkut menuju ke TPA (Tempat Pembuangan Akhir) yang dilakukan setiap minggu sekali.

2. Untuk limbah yang berasal dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) ditimbun dalam tanah yang dindingnya telah dilapisi oleh tanah liat (*clay*) supaya sampah yang telah di pendam jika suatu ketika menjadi limbah berbahaya tidak menyebar ke Lingkungan sekitar
3. Selain metode pengolahan limbah padat di atas, dapat pula ditambahkan dengan metode pengolahan limbah yang lain yang dikenal dengan sebutan 3R, yaitu Reduce, Reuse, dan Recycle untuk mendukung program go green. Berikut penjelasan dari masing-masing istilah:
 - a) Reduce: Pengurangan sampah yang dimulai dari sumber sampah
 - b) Reuse: Penggunaan ulang barang-barang yang akan dibuang atau sudah lama tidak digunakan untuk fungsi yang sama.
 - c) Recycle: Proses daur ulang sampah menjadi suatu barang atau produk baru yang bermanfaat.

4.8. SMK3 Standar ISO 45001:2018

Keselamatan dan kesehatan kerja merupakan aspek penting dalam menjaga keberlangsungan operasional perusahaan dan perlindungan terhadap tenaga kerja. ISO 45001:2018 merupakan standar internasional yang mengatur sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (SMK3) dan telah resmi diterbitkan oleh Internasional Organization for Standardization (ISO) pada tanggal 12 Maret 2018 di Indonesia, kemudian diadopsi secara identik oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) menjadi SNI ISO 45001:2018. Standar ini menggantikan standar sebelumnya yang dijadikan rujukan, yaitu ANSI Z10 (Amerika Serikat), OHSAS 18001 (Standar Internasional untuk sistem manajemen K3), dan AS/nZS 4801 (Australia/New Zealand) (Falah, 2022).

Struktur ISO 45001:2018 mengikuti Hight Level Structure (HLS) yang ditetapkan dalam Annex SL, sehingga kompatibel dengan standar lainnya seperti SNI ISO 9001:2015 (Sistem Manajemen Mutu) dan SNI ISO 14001:2015 (Sistem Manajemen Lingkungan).

Menurut Fajri (2023) struktur ini terdiri dari 10 klausul utama, yaitu:

1. Ruang lingkup
Menjelaskan cakupan penerapan standar, batasan-batasan dan siapa saja yang menjadi subjek manajemen K3.

2. Acuan normatif

Dalam ISO 45001:2018 ini tidak mengatur secara khusus mengenai acuan normatif. Hal ini dapat dikembalikan lagi kebijakan perusahaan.

3. Istilah dan definisi

Klausul sebagai landasan referensi yang membantu untuk mempermudah saat merumuskan SMK3 yang sesuai kebutuhan perusahaan.

4. Konteks Organisasi

Mengharuskan organisasi untuk memahami isu internal dan eksternal, kebutuhan pihak berkepentingan, serta menentukan ruang lingkup sistem manajemen K3.

5. Kepemimpinan dan partisipasi pekerja

Perusahaan melalui pihak manajemen harus berperan aktif dalam menjelaskan, mensosialisasikan serta berkomitmen dalam menerapkan ISO 45001:2018. Menekankan peran penting manajemen puncak dan partisipasi aktif pekerja dalam membangun budaya K3.

6. Perencanaan

Mencakup identifikasi bahaya, penilaian risiko dan peluang, serta penetapan tujuan dan rencana aksi untuk mengelola risiko K3. Organisasi harus merencanakan pengambilan tindakan dalam berbagai cara menggunakan proses SMK3.

7. Dukungan

Klausul dukungan meliputi penyediaan sumber daya, kompetensi, kesadaran, komunikasi, dan informasi terdokumentasi yang diperlukan dalam penerapan sistem manajemen.

8. Operasi

Klausul operasi merupakan intisari standar ISO 45001 dan membahas program yang diperlukan untuk memiliki SMK3 yang sukses. Topik spesifik yang dibahas, yaitu: ketentuan umum, hierarki pengendalian, manajemen perubahan, alih daya, pembelian, kontraktor, kesiapan dan tanggap darurat.

9. Evaluasi kinerja

Evaluasi kinerja menyediakan diskusi mendalam mengenai kriteria untuk mengevaluasi kinerja SMK3 secara keseluruhan. Fokus pada sarana evaluasi proses dan informasi terdokumentasi.

10. Perbaikan berkelanjutan

Klausul ini menggambarkan konsep perbaikan berkelanjutan dalam konteks kegiatan yang spesifik. Menekankan tindakan korektif, analisis akar penyebab insiden, dan peningkatan sistem manajemen secara terus menerus.

Manfaat penerapan ISO 45001:2018:

1. Mengurangi angka kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja
2. Memenuhi kewajiban hukum dan peraturan perundang-undangan
3. Meningkatkan produktivitas dan efisiensi kerja
4. Meningkatkan reputasi perusahaan dalam aspek keselamatan kerja
5. Meningkatkan partisipasi pekerja dalam budaya keselamatan

4.9. Fasilitas Pelayanan Kesehatan

Fasilitas pelayanan kesehatan merupakan elemen penting dalam mendukung penerapan sistem keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di lingkungan kerja. Keberadaan fasilitas ini tidak hanya menjadi bentuk pemenuhan kewajiban hukum organisasi, tetapi juga menjadi indikator kepedulian perusahaan terhadap kesehatan dan keselamatan tenaga kerja. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 75 Tahun 2014, fasilitas pelayanan kesehatan adalah sarana yang digunakan untuk menyelenggarakan upaya pelayanan kesehatan, baik promotif, preventif, kuratif, maupun rehabilitatif yang dilakukan oleh pemerintah maupun swasta.

Fasilitas kesehatan mencakup segala bentuk pelayanan medis dan pendukung yang tersedia untuk menangani masalah kesehatan pekerja, termasuk upaya pencegahan kecelakaan kerja. Fasilitas pelayanan kesehatan di lingkungan kerja dapat berupa:

1. Asuransi Kesehatan

Perusahaan diharapkan memberikan perlindungan kesehatan kepada karyawannya, misalnya melalui program seperti Jamsostek. Program ini mencakup berbagai perlindungan seperti jaminan hari tua, kecelakaan kerja, kematian, serta layanan pemeliharaan kesehatan.

2. Poliklinik

Poliklinik di lingkungan perusahaan berfungsi untuk memberikan layanan kesehatan menyeluruh bagi karyawan beserta keluarganya, baik terkait penyakit akibat kerja maupun keluhan kesehatan umum lainnya.

3. Kotak P3K

Setiap unit produksi wajib memiliki kotak P3K yang ditempatkan di kantor unit. Pemeriksaan isi kotak ini dilakukan sebulan sekali oleh petugas dari poliklinik dan tim keselamatan kerja untuk memastikan kelengkapan alat-alat seperti cairan antiseptik, celemek, alat penekan lidah, pembendung darah, kasa steril, perban, sarung tangan, dan kacamata pelindung.

4. Petugas P3K

Setiap unit kerja memiliki petugas P3K yang bertanggung jawab untuk memberikan pertolongan pertama jika terjadi situasi darurat yang mengancam keselamatan dan kesehatan karyawan.

5. Tenaga Medis

Fasilitas kesehatan di perusahaan agar dapat berjalan optimal memerlukan tenaga medis seperti dokter umum dan perawat yang mampu memberikan layanan kesehatan dan menangani kondisi darurat di tempat kerja.

6. Layanan Kesehatan

Perusahaan juga memberikan layanan medis sebagai bagian dari upaya menjaga kesehatan karyawan, yang meliputi pemeriksaan kesehatan prakerja, pemeriksaan berkala, pemeriksaan khusus, serta penanganan terhadap kecelakaan kerja.

7. Ambulans atau Kendaraan Gawat Darurat

Kendaraan darurat harus selalu dalam keadaan siap digunakan untuk mengangkut korban ke rumah sakit sambil memberikan pertolongan awal. Kendaraan ini dirawat secara rutin, dan operasionalnya dilakukan oleh sopir yang bekerja dalam sistem shift.

8. Pemenuhan Gizi Pekerja

Perusahaan perlu memperhatikan asupan kalori dan nutrisi pekerja. Oleh karena itu, dianjurkan memiliki kantin khusus bagi karyawan, dengan pengawasan kebersihan oleh petugas kantin. Makanan yang disediakan harus memenuhi prinsip gizi seimbang, yaitu 4 sehat 5 sempurna.

Standar dan regulasi yang menjadi acuan penyediaan fasilitas pelayanan kesehatan di tempat kerja antara lain:

1. UU No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja
2. Permenakertrans No. PER.15/MEN/VIII/2008 tentang Pertolongan Pertama pada Kecelakaan di Tempat Kerja

3. ISO 45001:2018, yang mendorong organisasi untuk menyediakan sistem pendukung kesehatan dan keselamatan yang memadai sebagai bagian dari kontrol operasional

4.10. Potensi Bahaya di Sekitar Pabrik

Potensi bahaya di pabrik merupakan segala bentuk sumber risiko yang dapat mengancam keselamatan dan kesehatan tenaga kerja, serta dapat menimbulkan kerusakan terhadap alat, bahan, lingkungan, hingga mengganggu proses produksi. Identifikasi dan pengendalian potensi bahaya merupakan bagian penting dalam penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) di lingkungan industri. Menurut Wardana (2022) potensi bahaya di pabrik kimia, yaitu:

1. Percikan bahan kimia

Asam format bersifat korosif dan beracun. Paparan terhadap uap atau cairan asam format dapat menyebabkan iritasi pada mata, kulit, dan saluran pernapasan. Risiko paparan dapat terjadi akibat tumpahan, kebocoran tangki, atau penguapan dalam proses pemanasan.

2. Terpapar benda panas

Paparan panas yang berbahaya di pabrik asam format umumnya berasal dari proses pemanasan dalam reaktor atau sistem perpipaan suhu tinggi. Pekerja berisiko terkena panas dari permukaan logam, uap panas, atau radiasi termal saat melakukan pengawasan atau perbaikan peralatan.

3. Tertabrak kendaraan operasional

Lingkungan pabrik asam format sering dilalui oleh kendaraan berat seperti forklift atau truk pengangkut bahan baku dan produk akhir. Aktivitas kendaraan ini menimbulkan risiko tertabrak bagi pekerja, terutama di area logistik atau penyimpanan bahan.

4. Terjatuh dari ketinggian

Pekerjaan di area tinggi seperti pengecekan tangki reaktor, pemeliharaan instalasi, atau inspeksi pipa dapat menyebabkan risiko jatuh dari ketinggian. Potensi ini sangat berbahaya dapat mengakibatkan luka serius, disabilitas, hingga kematian.

5. Tertimpa benda

Bahaya kejatuhan benda dapat terjadi di area penyimpanan peralatan kerja atau suku cadang. Rak penyimpanan yang tidak tertata rapi atau kelebihan beban

bisa menyebabkan peralatan seperti helm, sepatu safety, atau tool kit jatuh dan mengenai pekerja.

6. Ledakan akibat cairan dan gas bertekanan

Ledakan di pabrik asam format dapat berasal dari tekanan berlebih dalam reaktor atau sistem perpipaan yang rusak. Selain itu, adanya kegagalan sistem tekanan, seperti katup pengaman yang rusak atau pipa bocor dapat menyebabkan ledakan.

7. Kebakaran dari cairan mudah terbakar

Kebakaran dapat terjadi akibat percikan api dari aktivitas pengelasan, korsleting listrik, atau adanya bahan kimia mudah terbakar seperti metanol di area produksi. Oleh karena itu, prosedur kerja aman dan sistem proteksi kebakaran sangat penting diterapkan di seluruh area pabrik.

8. Reaksi tak terkendali

Jika suhu atau tekanan tidak dikendalikan dengan tepat, reaksi kimia dalam produksi asam format bisa menjadi eksotermis dan menyebabkan pelepasan panas berlebih, tekanan tinggi, atau gas beracun.

9. Bahaya thermal

Peralatan seperti reaktor dan pemanas (heater) bekerja pada suhu tinggi, sehingga pekerja dapat terpapar permukaan panas, uap panas, atau radiasi termal yang membahayakan.

4.11. Faktor Bahaya di Sekitar Pabrik

Faktor bahaya di tempat kerja dapat mengganggu kesehatan para karyawan yang bekerja, faktor bahaya pada tempat kerja dapat berupa faktor ergonomi, faktor biologi, faktor fisika, faktor kimia, faktor psikologi (Safitri, Raharjo and Fitriangga, 2014; Parmawati, 2022). Faktor bahaya di pabrik yaitu sebagai berikut:

1. Faktor ergonomi

Ergonomi merupakan penerapan terhadap prinsip tentang kinerja manusia yang berhubungan dengan desain sistem kerja yang aman dan efisien. Faktor ergonomi dan psikologi telah diatur dalam Permenaker No.5 Tahun 2018 Tentang K3 Lingkungan Kerja pasal 3 dan 4 (pengendalian faktor ergonomi dan psikologi untuk mewujudkan lingkungan yang aman, sehat, dan nyaman). Faktor bahaya ergonomi dapat berupa posisi kerja, ruang kerja yang kurang luas, area kerja yang disatukan dengan rak penyimpanan, dan banyak barang berserakan. Sehingga, kondisi seperti ini harus di hindari.

2. Faktor psikologi

Faktor bahaya secara psikologi dapat berasal dari beban kerja yang dirasakan oleh tenaga kerja hal ini berkaitan dengan jam kerja, keadaan atau lingkungan tempat kerja, keterlibatan tugas dan dukungan organisasi, beban kerja, tanggung jawab kerja, beban kerja dan kecepatan kerja. Beban kerja yang semakin berat apabila tenaga kerja juga dituntut untuk bekerja dengan ritme pekerjaan yang lebih cepat dan target produksi yang lebih tinggi. Hal ini perlu diantisipasi oleh perusahaan dan para pekerja itu sendiri.

3. Faktor bahaya biologi

Faktor biologi dapat berasal dari toilet, kantin, dan tempat cuci tangan untuk mencegahnya maka disediakan sarana air bersih dapat membantu upaya pemberantasan penyakit menular, tempat pembuangan sampah yang layak, tenaga kerja tidak diperbolehkan makan dalam ruang kerja disebabkan di tempat kerja terdapat bahan yang membahayakan kesehatan khususnya pada laboratorium,

4. Faktor kimia

Faktor kimia berasal dari penggunaan bahan kimia yang digunakan pada proses produksi, hasil produksi, maupun pada laboratorium. Metil format sebagai bahan baku merupakan senyawa yang mudah terbakar, beracun, dan dapat menyebabkan iritasi mata yang serius. Selain itu reagen yang digunakan untuk menguji bahan baku dan produk juga memiliki karakteristiknya masing-masing, sehingga perlunya karyawan memahami MSDS masing masing bahan kimia. Selain dari bahan kimia, dapat juga berupa panajan debu dan fume yang ada di lingkungan kerja karena menyebabkan gangguan pernapasan, pajanan debu sudah diatur dalam keputusan menteri kesehatan tahun 2002 dalam satuan mg/m^3 .

5. Faktor fisika

Faktor fisika di lapangan kerja dapat berupa:

a. Kebisingan

Kebisingan yang berasal dari mesin-mesin area proses maupun utilitas yang sedang bekerja, kebisingan dapat menyebabkan pendengaran berkurang mengganggu konsentrasi pekerjaan dan menimbulkan reaksi psikologis yang tidak menyenangkan terhadap bising dan komunikasi terganggu, hal ini diatasi dengan menggunakan *earplug*.

Persyaratan kesehatan lingkungan adalah 85 dB untuk paparan 8 jam kerja.

b. Getaran

Getaran dari mesin yang menggunakan motor, getaran dapat mengganggu kenyamanan kerja dan dapat menyebabkan penyakit berupa sindroma getratan tangan lengan yang terdiri atas efek vaskuler dan efek neurologis.

c. Pencahayaan

- d. Persyaratan kesehatan lingkungan kerja dalam Kepmenkes adalah minimal 100 lux. Pada pabrik ini penerangan dapat menggunakan penerangan alami dan buatan, jika penerangan alami cukup maka lampu dapat dimatikan untuk menghemat energi, namun bila tidak maka lampu dapat dinyalakan, misalnya pada ruang-ruang dan kondisi tertentu seperti butuh ketelitian tinggi. Jika pencahayaan kurang maka akan menyebabkan penglihatan tidak fokus atau kabur, keluhan pegal mata, dan sakit kepala.

e. Suhu lingkungan

Faktor ini dapat berasal dari proses operasi terus-menerus, uap panas mesin, dan angin panas mesin. Persyaratan kesehatan lingkungan kerja berdasarkan kepmenkes adalah 18-30°C. Suhu lingkungan memberikan dampak pada psikis dan fisik pekerja. Dampak psikis berupa kemampuan kerja yang berkurang, konsentrasi berkurang, dan mudah lelah. Sedangkan dampak fisik berupa meningkatnya denyut jantung, mudah berkeringat, dan tidak imbangnya kadar air dan garam dalam tubuh.

4.12. Sistem Keamanan Kerja

Perusahaan perlu adanya sistem keamanan kerja yang tujuannya adalah untuk memberikan perlindungan bagi para pekerja dari bahaya dan para pekerja dapat bekerja dengan tenang (Azhari, 2023). Unit yang bertugas untuk hal ini adalah HSSE (Health, Safety, Security, and Enviroment). Perusahaan menyediakan fasilitas keselamatan untuk para pekerja sebagai berikut:

1. Alat Pelindung Diri (APD)

Alat pelindung diri merupakan seperangkat perlengkapan yang wajib tersedia pada perusahaan untuk digunakan oleh tenaga kerja untuk melindungi seluruh atau sebagian tubuhnya terhadap kemungkinan adanya potensi bahaya di tempat kerja. Alat pelindung diri yang disediakan oleh perusahaan untuk pekerja berupa safety helmet, safety glass, masker, respirator, face shield, safety gloves, safety shoes, wearpack, earmuff/ear plug, safety belt, dan safety harness (Sugarda, Santiasih and Juniani, 2014).

2. Penanggulangan Kebakaran

a. Pembentukan sistem proteksi kebakaran

Kebakaran pada plant dapat dicegah dan diatasi dengan membentuk sistem proteksi kebakaran berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 26 Tahun 2008, sistem proteksi kebakaran bangunan dan gedung dan lingkungan. Terdiri dari sistem proteksi aktif dan pasif. Sistem proteksi aktif berupa sistem pendeteksi kebakaran yang dioperasikan secara otomatis maupun manual contohnya dipasang detektor asap, api, dan panas, serta dipasang alarm kebakaran (*fire alarm system*), disediakan pula Alat Pemadam Api Ringan (APAR), dan Alat Pemadam Api Besar (APAB), serta sistem hidran dan *sprinkler*. Sedangkan sistem perlindungan pasif mencakup alat, sistem, dan metode untuk mengontrol asap, panas, dan gas berbahaya saat terjadi kebakaran. Contoh sistem perlindungan pasif termasuk sistem pemisahan bangunan yang memiliki risiko kebakaran tinggi, sarana dan sistem untuk mengontrol asap dan api, dan pelambat api atau sarana pelambat api (Putri, Prawira and Ashari, 2023).

- APAR (Alat Pemadam Api Ringan)

APAR diatur dalam PERMENAKER No. 04/MEN/1980, merupakan alat yang digunakan untuk memadamkan api pada mula terjadinya kebakaran ketika api belum membesar. APAR yang tersedia pada pabrik ini terdapat berbagai jenis yang diletakkan sesuai kegunaannya, terdapat jenis foam, power, CO₂. PERMENAKER No. 04/MEN/1980 mengatur pemasangan APAR, yaitu:

- a. Setiap kurang dari 15 meter harus terdapat 1 APAR
- b. Harus diletakkan 1,2 meter dari permukaan lantai
- c. Melakukan pengecekan pada APAR seminggu sekali
- d. Melakukan penggantian APAR jika sudah kadaluarsa
- e. Pada tiap APAR diberi *work instruction*, jenis APAR, tanggal pemeriksaan, tanggal kadaluarsa, nomor APAR, dan kondisi APAR

- Hydrant

Hydrant merupakan alat pemadam kebakaran yang menggunakan air bertekanan untuk memadamkan api, air yang digunakan dapat berasal dari tandon dan air sumur. Umumnya hydrant akan diletakkan di tempat strategis sekitar pabrik. Hydrant akan diperiksa 2 minggu sekali meliputi sprayer, nozzle, tanggal kadaluarsa, dan tekanan air.

- Sprinkler

Sprinkler merupakan alat yang fungsinya untuk mendeteksi dan merespon kebakaran dengan menyemprotkan air ke area yang terbakar sehingga memadamkan api dan mencegah penyebarannya. Jarak antar sprinkler tidak lebih dari 4,6 meter. Aturan sprinkler terdapat pada SNI 03-3989-2000 dan NFPA 13 (Romadhon, 2018).

- b. Pembentukan sarana penyelamatan jiwa

Pembentukan sarana penyelamatan jiwa telah diatur dalam PERMEN PU No. 26/PRT/M/2008 yang menyatakan bahwa setiap bangunan harus dilengkapi dengan sarana penyelamatan yang dapat digunakan oleh penghuni bangunan maupun petugas sehingga memiliki waktu yang cukup untuk menyelamatkan diri dengan aman tanpa terhambat oleh hal-hal yang diakibatkan oleh keadaan darurat. Sehingga pada perusahaan akan dilengkapi sarana jalan keluar, tangga darurat, tanda petunjuk arah, pintu darurat, penerangan darurat, dan titik berkumpul (*assembly point*).

- c. Pembentukan sistem manajemen tanggap darurat

Sistem manajemen tanggap darurat sesuai Kepmenaker No. KEP.186/MEN /1999 tentang unit penanggulangan kebakaran di

tempat kerja menyatakan bahwa perusahaan wajib mencegah, mengurangi dan memadamkan kebakaran, pembentukan unit penanggulangan kebakaran serta latihan penanggulangan di tempat kerja. Pada perusahaan akan dibentuk regu pemadam kebakaran yang bekerja dengan sistem shift yang bertanggung jawab terhadap masalah kebakaran. Pembentukan ini diharapkan dapat meminimalisir terjadinya kerusakan dan kerugian bagi perusahaan.

3. Surat Izin Kerja

Surat izin kerja dibuat untuk mencegah terjadinya hal yang tidak diinginkan terhadap para pekerja yang bekerja dengan risiko kerja tinggi. Adapun pekerjaan yang memerlukan surat izin kerja adalah pekerjaan panas seperti pengelasan, pekerjaan di ketinggian, pekerjaan di ruangan tertutup, pekerjaan yang berhubungan listrik tegangan tinggi. Pekerja yang ingin mendapatkan izin kerja tersebut harus meminta izin kerja terlebih dahulu pada atasan/supervisi bagian yang ditunjukkan ke petugas safety.

4. Rambu-Rambu dan Poster

Rambu-rambu dan poster akan dipasang pada tempat-tempat tertentu untuk mengingatkan para pekerja akan bahaya disekitar tempat kerja supaya lebih dapat mengantisipasi bahaya tersebut.

5. *Behaviour Basement Safety Management* (BBSM)

Behavior Based Safety Management (BBSM) atau manajemen keselamatan berbasis perilaku merupakan suatu program kegiatannya mengidentifikasi bahaya serta menilai potensi risiko yang ada, jadi fokus utamanya adalah perilaku pekerja yang menyebabkan kecelakaan kerja. Penerapan BBS yang efektif memiliki 5 elemen yaitu menganalisis perilaku, menganalisis data perilakum mencari solusi dari perilaku yang ditemukan, merubah perilaku, dan mengevaluasi hasil dari BBS yang telah dilakukan. BBSM mengajarkan untuk bekerja secara aman dengan mengetahui segala resiko yang dapat terjadi dan diberi alat untuk pengendaliannya yaitu berupa administratif dan *engineering control* (Rinaldi, 2020).

6. Pengaman Mesin

Mesin-mesin proses dilengkapi dengan instrumentasi, *interlock system*, dan *emergency stop button* untuk menghindari terjadinya kecelakaan kerja. Pabrik dilengkapi dengan LOTO jika akan dilakukan start up shutdown.

4.13. Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL)

AMDAL adalah kegiatan menganalisis kegiatan usaha sebelum maupun setelah didirikan sehingga mengidentifikasi, menilai, dan mengelola dampak lingkungan yang dihasilkan dan dijadikan pedoman perusahaan. AMDAL aspek fisik kimia, ekologi, sosial-ekonomi, sosial budaya, dan kesehatan masyarakat sebagai pelengkap studi kelayakan suatu rencana usaha. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (UU PPLH), setiap kegiatan atau usaha yang berpotensi menimbulkan dampak besar terhadap lingkungan diwajibkan menyusun dokumen. Sehingga, studi kelayakan untuk melaksanakan suatu rencana usaha dan/atau kegiatan, namun syarat yang harus dipenuhi untuk mendapatkan izin melakukan usaha dan/atau kegiatan. Berdasarkan analisis ini dapat diketahui secara lebih jelas dampak besar dan penting terhadap lingkungan hidup, baik dampak negatif maupun dampak positif yang akan timbul (Aulia *et al.*, 2025).