

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES

4.1 Unit Penyediaan (*Water Supply*) dan Pengolahan Air (*Water Treatment*)

4.1.1 Unit Penyediaan Air (*Water Supply*)

Pada umumnya, untuk memenuhi kebutuhan air pada suatu pabrik menggunakan beberapa sumber air, misalnya air sungai, bendungan, laut, danau, dan sumur. Pemilihan sumber air untuk perancangan pabrik etilen oksida ini, mempertimbangkan beberapa faktor sebagai berikut:

1. Ketersediaan air

Debit air yang tersedia harus mampu memenuhi kebutuhan operasional harian seluruh pabrik. Debit minimum dari sumber air harus lebih besar dari kebutuhan puncak air setiap jamnya, dengan margin cadangan pada rentang 10-20% guna mengantisipasi fluktuasi atau kebutuhan air darurat. Serta memastikan bahwa sumber air tidak mudah kering sepanjang tahun, terutama saat musim kemarau.

2. Kualitas Air

Air yang memiliki kualitas baik ditentukan berdasarkan nilai ambang batas atau spesifikasi proses, meliputi kandungan padatan terlarut (*Total Dissolve Solid*), logam berat, mineral, dan cemaran mikroorganisme. Air yang digunakan akan mempengaruhi efisiensi kerja alat seperti heat exchanger, boiler dan sistem pendingin. Ketika air memiliki kualitas buruk, maka perlu pretreatment tambahan yang akan menambah biaya operasional.

3. Jarak dari Lokasi Pabrik

Sumber air tepat yang dipilih, sebaiknya berada dekat dengan lokasi pabrik guna mengurangi biaya transportasi seperti pipa dan pompa. Semakin jauh jarak maka akan meningkatkan biaya infrastruktur dan kebutuhan energi saat proses pendistribusian.

4. Kontinuitas dan Keandalan

Kontinuitas sumber air dimaksudkan, harus memberikan pasokan air yang stabil dalam berbagai kondisi cuaca dan musim serta berkelanjutan tanpa gangguan besar dalam jangka panjang. Keandalan dimaksudkan mampu menjamin pasokan tidak akan terganggu karena faktor teknis, legal, dan lingkungan.

5. Izin dan Regulasi

Perlu mempertimbangkan batas pengambilan air dan izin pembuangan limbah air limbah atau sisa hasil produksi, baik dari pemerintah daerah, kementerian lingkungan hidup, atau Lembaga pengelola air setempat. Aspek legal dan perizinan sangat penting, karena tanpa izin yang sah dan sesuai regulasi, operasional pabrik dapat dihentikan, dikenakan denda, atau bahkan dicabut izinnya.

6. Dampak Lingkungan

Pengambilan air tidak boleh merusak ekosistem lokal seperti sungai, danau, atau akuifer. Hal ini dapat ditunjukkan dengan penggunaan air tidak berdampak negatif terhadap lingkungan sekitar berdasarkan analisis dampak lingkungan (AMDAL).

7. Biaya Pengolahan

Biaya pengolahan air meliputi biaya instalasi sistem pengolahan (filtrasi, reverse osmosis, dan demineralisasi) dan biaya operasional jangka panjang. Analisa Cost-Benefit dilakukan untuk mengetahui mana sumber air yang murah tetapi memerlukan pengolahan berat atau sumber air mahal tetapi sudah terjamin kualitasnya.

Mempertimbangkan beberapa faktor di atas, sumber air yang digunakan untuk memenuhi seluruh kebutuhan air pabrik etilen oksida, direncanakan berasal dari jaringan utilitas air yang disediakan oleh PT Krakatau Tirta Industri (KTI) yang berada di Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC). Hal tersebut dipilih karena KIEC telah menyediakan infrastruktur utilitas air yang handal dan legal, serta telah melayani banyak industri skala besar yang berada di Kawasan tersebut. Selain itu, penggunaan air dari utilitas Kawasan dinilai lebih efisien dan praktis dibanding pengambilan air laut secara langsung yang memerlukan sistem desalinasi.

Meskipun secara geografis lokasi pabrik berada di pesisir Selat Sunda, dan memungkinkan pemanfaatan air laut. Proses desalinasi memerlukan investasi yang besar, konsumsi energi yang tinggi, serta pengelolaan limbah brine yang harus memenuhi ketentuan peraturan lingkungan hidup yang berlaku (Kementrian LHK, 2021). Dengan mempertimbangkan hal-hal tersebut, suplai air dari PT KTI menjadi alternatif yang paling layak untuk mendukung keberlanjutan dan efisiensi operasional pabrik.

Unit penyediaan air (*water supply*) di pabrik etilen oksida ini berfungsi guna memenuhi berbagai kebutuhan air, sebagai berikut.

1. Air Domestik

Keperluan sanitasi dan konsumsi sehari-hari pekerja seperti mandi, mencuci, dan kebutuhan toilet lainnya, mengandalkan suplai air domestik. Estimasi kebutuhan air domestik berkisar 10–15 m³/hari atau 3.650–5.500 m³/tahun, dengan asumsi 100–150 pekerja yang menggunakan 100 liter/orang/hari. Air ini harus memenuhi standar kualitas air bersih sesuai Permenkes No. 2 Tahun 2023 tentang Air Bersih ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 4. 1 Standar Baku Mutu Air Bersih (Permenkes No. 2, 2023)

No.	Jenis Parameter	Kadar Maks.	Satuan	Metode Uji
Mikrobiologi				
1	E. Coli	0	CFU/100ml	SNI/APHA
2	Total coliform	0	CFU/100ml	SNI/APHA
Fisik				
3	Suhu	Suhu udara ±3	°C	SNI/APHA
4	Total Dissolve Solid	< 300	mg/L	SNI/APHA
5	Kekeruhan	< 3	NTU	SNI atau yang setara
6	Warna	10	TCU	SNI/APHA
7	Bau	Tidak berbau	-	APHA
Kimia				
8	pH	6,5-8,5	-	SNI/APHA
9	Nitrat (sebagai NO ³) (terlarut)	20	mg/L	SNI/APHA
10	Nitrit (sebagai NO ²) (terlarut)	1	mg/L	SNI/APHA
11	Kromium valensi 6 (Cr ⁶⁺) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
12	Besi (Fe) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI/APHA
13	Mangan (Mn) (terlarut)	0,1	mg/L	SNI/APHA
14	Sisa Klor (terlarut)	0,2-0,5	mg/L	SNI/APHA

No.	Jenis Parameter	Kadar Maks.	Satuan	Metode Uji
		waktu kontak 30 menit		
15	Arsen (As) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
16	Kadmium (Cd) (terlarut)	0,003	mg/L	SNI/APHA
17	Timbal (Pb) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
18	Flouride (F) (terlarut)	1,5	mg/L	SNI/APHA
19	Aluminium (Al) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI/APHA

2. Air Hidran

Air ini disediakan sebagai cadangan dalam sistem pemadam kebakaran (*fire hydrant*). Volume minimum yang disediakan mengacu pada standar NFPA, yaitu sekitar 1.000–2.000 galon per menit (GPM) selama 2 jam, setara dengan $\pm 450\text{--}550\text{ m}^3$. Air disimpan dalam reservoir khusus dan dipompa dengan tekanan ≥ 4 bar. Kualitas air tidak harus demineral, namun tetap harus bersih dan tidak mengandung partikel besar yang dapat menyumbat pipa atau nozzle. Namun lebih baik memenuhi standar kualitas air bersih sesuai Permenkes No. 32 Tahun 2017 tentang Air Bersih. Guna mengurangi kerusakan pada alat berupa korosi dan pengkerakan, yang akan meningkatkan maintenance.

3. Air Demineral

Air demineral digunakan dalam proses yang membutuhkan air dengan kemurnian tinggi, seperti air umpan boiler dan proses kimia sensitif. Pengolahannya terdiri dari tahapan berikut:

1. Carbon Filter: Menghilangkan klorin, bau, warna, dan zat organik.
2. Cation Exchanger: Menghilangkan ion Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , dan Al^{3+} .
3. Anion Exchanger: Menghilangkan ion anorganik seperti Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , dan HCO_3^- .
4. Mixed Bed Exchanger: Tahap akhir untuk menyempurnakan kualitas demineralisasi, memastikan hampir seluruh ion tersisa tersaring.

Air demineral ini memiliki pH 6,5–7 dan TDS < 10 ppm. Estimasi kebutuhan sekitar 0,3–0,5 m^3 per ton EO, sehingga untuk 170.000 ton/tahun diperlukan 51.000–85.000 m^3 /tahun.

4. Air Pendingin

Air ini digunakan sebagai media pendingin dalam *heat exchanger* dan reaktor. Sistem menggunakan sirkulasi tertutup melalui *cooling tower*, dengan *make-up water* menggantikan air yang hilang karena evaporasi dan blowdown. Estimasi sirkulasi sebesar 5–10 m³/ton EO, dengan make-up sekitar 5–10% dari total, sehingga kebutuhan air make-up berkisar 85.000–170.000 m³/tahun. Air pendingin tidak perlu demineral, tetapi harus bebas padatan tersuspensi, memiliki pH 6,5–8, serta diberi bahan-bahan kimia sebagai antiskalan dan antikorosi. Beberapa bahan tersebut diantaranya.

1. Fosfat sebagai bahan pencegah timbulnya kerak.
2. Ortho-fosfat sebagai bahan pencegah timbulnya korosi.
3. Asam sulfat sebagai bahan pengatur keasaman.
4. Zat dispersant sebagai bahan pencegah pengendapan fosfat.
5. Klorin sebagai bahan pembunuh mikroorganisme.

Air pendingin harus memiliki kualitas tertentu agar tidak menimbulkan kerak (scaling), korosi, dan pertumbuhan mikroorganisme pada sistem perpipaan dan heat exchanger. Oleh karena itu, air ini harus memenuhi spesifikasi tertentu, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel berikut.

Tabel 4. 2 Spesifikasi Air Pendingin (*Sawyer et al., 2003*)

Parameter	Unit	Nilai Maks./ Rentang
pH	-	6.5-8.5
Total Hardness (CaCO ₃)	mg/L	< 100
TDS	mg/L	< 1000
Silika (SiO ₂)	mg/L	< 20
Alkalinitas (CaCO ₃)	mg/L	50-150
Chloride (Cl ⁻)	mg/L	< 250
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	< 200
Konduktifitas	μS/cm	< 1500
Biocide Residual	mg/L	0.5 – 1.0
Iron (Fe ³⁺ / Fe ²⁺)	mg/L	< 0.3

5. Air Umpan Boiler

Air umpan boiler digunakan untuk menghasilkan steam. Karena suhu dan tekanan tinggi dalam boiler, air harus sangat murni. Estimasi kebutuhan air umpan boiler berdasarkan kebutuhan uap (steam), sekitar 1–2 m³/ton EO, atau sebesar 170.000–340.000 m³/tahun.

Air umpan boiler harus memiliki kualitas yang sangat baik agar tidak menimbulkan kerak, korosi, atau gangguan lainnya pada sistem boiler. Oleh karena itu, air ini harus memenuhi spesifikasi tertentu, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel berikut.

Tabel 4. 3 Spesifikasi Air Umpan Boiler (Perry & Green, 1986)

Parameter	Unit	Nilai Maks./ Rentang
Total Padatan (TDS)	ppm	3.500
Alkalinitas	ppm	700
Padatan Terlarut	ppm	300
Silika	ppm	60-100
Besi (Fe)	ppm	0,1
Tembaga (Cu)	ppm	0,5
Oksigen (O ₂)	ppm	0,007
Kesadahan (Hardness)	ppm	0
Kekeruhan	NTU	175
Minyak	ppm	7
Residu Fosfat	ppm	140

Guna mendapatkan air umpan boiler berdasarkan spesifikasi pada tabel di atas, harus memenuhi persyaratan mutu sebagai berikut.

1. Tidak membentuk busa (*foaming*)

Busa terbentuk akibat kandungan padatan tersuspensi, padatan terlarut, dan alkalinitas yang tinggi. Busa dapat mengganggu pengukuran level cairan dan menyebabkan percikan yang menimbulkan kerak serta korosi pada permukaan dalam boiler.

2. Tidak menimbulkan kerak (*scaling*)

Kerak menghambat perpindahan panas dan dapat menyebabkan retakan atau kebocoran. Penyebab utamanya adalah kandungan silika, kesadahan (Ca²⁺, Mg²⁺), dan zat

terlarut lainnya. Oleh karena itu, air umpan harus bebas dari kesadahan dan memiliki kadar silika yang terkendali.

3. Tidak menyebabkan korosi

Korosi dapat terjadi karena kandungan oksigen, karbon dioksida, pH rendah, dan keberadaan zat-zat kimia seperti H_2S , SO_2 , NH_3 . Oksigen yang tersisa akan bereaksi dengan besi membentuk karat ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), sedangkan bikarbonat akan terurai membentuk CO_2 yang juga memicu korosi. Oleh karena itu, oksigen dikeluarkan melalui deaerator, dan pH dinaikkan menggunakan $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ serta ammonia.

4.1.2 Unit Pengolahan Air (*Water Treatment*)

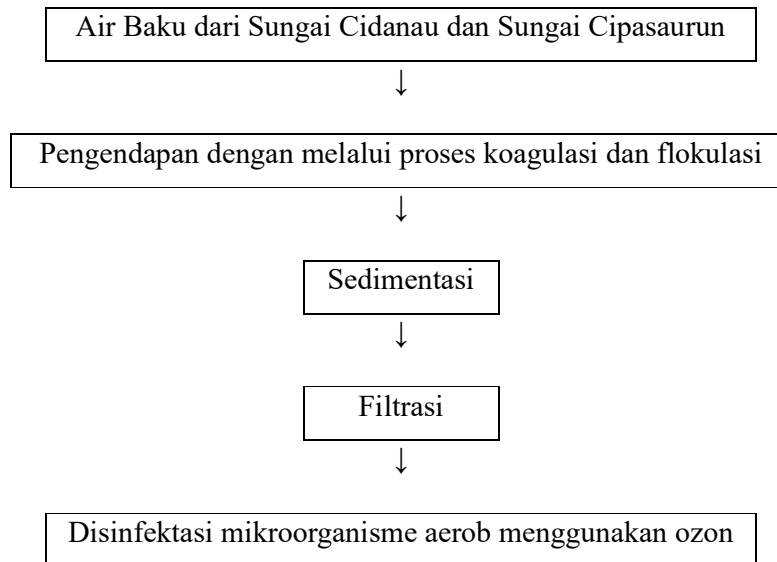
Untuk menjamin kelangsungan penyediaan air dalam suatu proses industri, maka diperlukan sistem pengambilan dan pengolahan air yang andal dan berkelanjutan. Dalam hal ini, air baku diperoleh dari utilitas jaringan milik Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC) yang dikelola oleh PT Krakatau Tirta Industri (KTI). Air ini kemudian disalurkan ke fasilitas penerimaan air (*water intake*), yang sekaligus berfungsi sebagai titik awal proses pengolahan air.

Pada tahap awal ini, dilakukan penyaringan kasar untuk menghilangkan material besar seperti sampah dan kotoran padat yang terbawa bersama aliran air. Setelah itu, air dipompa menuju instalasi pengolahan air di dalam pabrik untuk melalui beberapa tahapan pengolahan lebih lanjut sebelum akhirnya digunakan sesuai kebutuhan, baik untuk proses industri, pendinginan, maupun kebutuhan lainnya.

1. *Pre-Treatment* Air Bersih

Pada umumnya, suplai air bersih yang diberikan oleh PT KTI telah melewati berbagai tahapan pre-treatment seperti, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan disinfeksi. Tahapan pertama berupa proses penggumpalan partikel kecil tersuspensi, dilakukan dengan menambahkan bahan kimia koagulan dan flokulan seperti tawas atau PAC (*Poly Aluminium Chloride*), disebut sebagai koagulasi dan flokulasi. Dilanjutkan dengan proses sedimentasi guna mengendapkan partikel dan filtrasi dengan media pasir guna menyaring partikel halus. Terakhir proses disinfeksi dengan penambahan klorin atau ozon yang berguna untuk membunuh mikroorganisme. Air yang telah melalui pre-treatment tersebut dapat digunakan untuk keperluan umum seperti air domestik dan air hidran. Meskipun air bersih tersebut sudah memiliki kualitas yang baik, namun perlu diproses lebih lanjut agar sesuai dengan spesifikasi

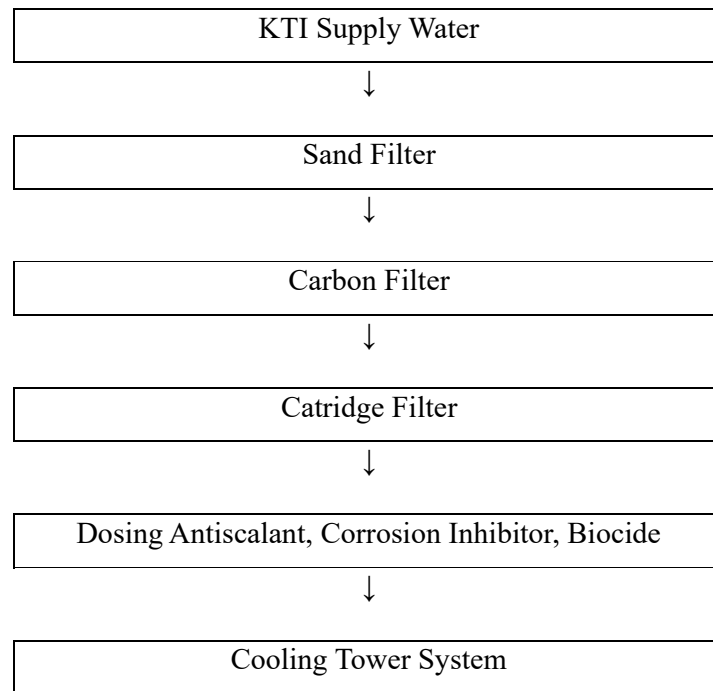
yang diperlukan di industri, terutama untuk sistem boiler, pendingin, dan demineralisasi (KTI, 2023).



Gambar 4. 1 Diagram Alir Pre-Treatment Air Bersih

2. Pengolahan Air Pendingin (*Cooling Water*)

Pengolahan lebih lanjut dilakukan terhadap air bersih yang akan digunakan sebagai air pendingin. Pengolahan ini agar sesuai dengan spesifikasi air pendingin, sehingga berbagai penyebab kerusakan dalam sistem perpipaan dan heat exchanger dapat dihindari serta menjaga efisiensi perpindahan panas dan umur peralatan. Pengolahan dimulai dengan melakukan proses filtrasi menggunakan *sand filter* atau multimedia filter (menghilangkan partikel ukuran > 20 mikron) dan filtrasi dengan *carbon filter* guna memperbaiki kualitas fisik air, dilanjutkan dengan proses *catridge filter* (menghilangkan partikel ukuran 1-10 mikron. Treatment selanjutnya dengan dosing atau penambahan berbagai bahan kimia untuk memperbaiki nilai pH sehingga korosi dapat dihindari. Beberapa bahan kimia tersebut diantaranya, antiscalant untuk mencegah pembentukan kerak, corrosion inhibitor untuk melindungi peralatan yang berbahan logam, *biocide* untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme berupa alga dan bakteri. Kemudian mengumpankan air menuju *cooling tower system* sebelum digunakan sebagai air pendingin pada berbagai unit dalam proses utama.



Gambar 4. 2 Diagram Alir Pengolahan Air Pendingin

3. Pengolahan Air Umpan Boiler (*Boiler Feed Water*)

Pengolahan air umpan boiler melalui empat tahapan meliputi proses *softening*, *reverse osmosis*, demineralisasi, dan deaerator. Tujuan dari pengolahan tersebut untuk mencegah pembentukan busa, timbulnya kerak, dan korosi.

1. Proses *Softening*

Proses softening dilakukan dengan menambahkan resin penukar ion Na^+ , dengan tujuan untuk mengurangi kesadahan total meliputi total hardness, ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Reaksi yang terjadi pada proses ini sebagai berikut.

- Pengikatan ion Ca^{2+} : $2\text{RNa} + \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{R}_2\text{Ca} + 2\text{Na}^+$
- Pengikatan ion Mg^{2+} : $2\text{RNa} + \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{R}_2\text{Mg} + 2\text{Na}^+$
- Regenerasi Resin : $\text{R}_2\text{Ca} + 2\text{Na}^+ \rightarrow 2\text{RNa} + \text{Ca}^{2+}$

Proses softening tersebut akan menghasilkan air yang memiliki total hardness < 1 ppm sebagai CaCO_3 dan TDS < 500 ppm. Penggunaan boiler dengan tekanan tinggi lebih dari 20 bar membutuhkan proses lanjutan yakni reverses osmosis dan demineralisasi.

2. Proses *Reverses Osmosis*

Proses reverse osmosis bertujuan untuk mengurangi nilai TDS dan zat terlarut menggunakan membrane semi permeabel pada tekanan 4-10 barg, serta mengurangi frekuensi regenerasi resin pada demineralisasi pertukaran ion. Proses ini tergolong dalam proses fisik berupa pemilahan larutan berdasarkan ukuran molekul dan tekanan osmotik, dengan persentase penurunan TDS hingga 90-99%. Air akan dipaksa melewati membran semi permeabel, yang akan menghasilkan air permeat berupa air yang lolos dari membran dan air reject berupa air yang tidak lolos. Air permeat harus memiliki TDS yang rendah < 10 ppm agar memenuhi standar untuk diproses lebih lanjut pada proses demineralisasi. Sedangkan air reject memiliki TDS yang tinggi karena tidak lolos membran, yang memiliki nilai TDS 2-4 kali TDS *feed water reverse osmosis*.

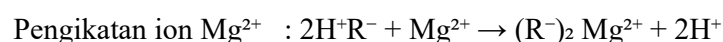
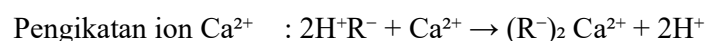
3. Proses Demineralisasi (*Ion Exchanger Demineralization*)

Proses demineralisasi akan memaksimumkan penghilangan sejumlah kecil ion-ion terlarut dari air hasil reverse osmosis, agar memenuhi standar air umpan boiler. Proses ini menggunakan resin penukar ion, yang terbagi dalam dua jenis sebagai berikut.

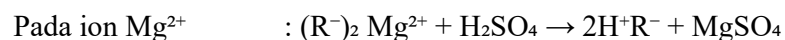
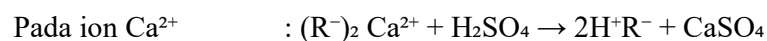
a. Penukar Kation (*Cation Exchanger*)

Penukar kation berfungsi sebagai penghilang ion-ion bermuatan positif meliputi Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan Na^{2+} dalam air. Proses ini secara kimiawi dengan proses pertukaran ion antara kation terlarut dengan ion H^+ yang berasal dari resin kation. Resin kation yang digunakan bermerek Daultie C-20, merupakan resin berbasis polistirena yang divinilbenzena (DVB) dengan kapasitas pertukaran ion yang tinggi, tahan terhadap tekanan operasi yang besar, serta mampu efektif dalam menghilangkan kation multivalent berupa Ca^{2+} dan Mg^{2+} (Perry & Green, 2008). Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut.

- Reaksi pengikatan kation



- Reaksi regenerasi resin kation



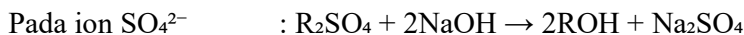
b. Penukar Anion (*Anion Exchanger*)

Penukar anion berfungsi sebagai penghilang ion-ion bermuatan negatif berupa Cl^- , SO_4^{2-} , dan NO_3^- dalam air. Proses ini secara kimiawi dengan proses pertukaran ion antara anion terlarut dengan ion OH^- yang berasal dari resin anion. Resin anion yang digunakan bermerek Dower 2, merupakan resin berbasis polistirena berikatan silang dengan gugus fungsional basa kuat (quaternary ammonium groups), yang mampu menukar ion berupa Cl^- dan SO_4^{2-} bahkan dalam konsentrasi rendah, serta stabil dalam berbagai konsentrasi nilai pH (Harza, 2001). Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut.

- Reaksi pengikatan anion



- Reaksi regenerasi resin anion



4. Proses Deaerasi

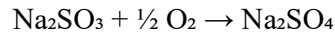
Proses terakhir setelah didapatkan air yang sangat murni adalah deaerasi atau penghilangan gas-gas terlarut dalam air, terutama oksigen (O_2) yang menyebabkan korosi pada pipa dan permukaan logam di boiler disebut sebagai *pitting corrosion*, dan karbon dioksida (CO_2) yang menyebabkan pembentukan asam karbonat (H_2CO_3) sehingga menimbulkan suasana asam yang bersifat korosif. Reaksi yang terjadi ditunjukkan sebagai berikut.



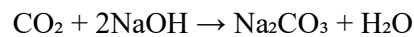
Karbon dioksida yang terkandung dalam air, akan dipanaskan pada suhu jenuh 105-120°C menggunakan deaerator. Berupa alat khusus berbentuk menara yang memiliki prinsip kerja deaerasi, penghilangan gas terlarut dengan proses pemanasan dan kontak uap. Deaerator yang digunakan jenis *Tray-Type Deaerator*, yang mampu bekerja pada kapasitas air besar, kontak uap-air lebih maksimal, dan efisiensi penghilangan gas sangat tinggi.

Uap air hasil pemanasan akan masuk dari bagian bawah deaerator dan bersentuhan dengan air yang turun dari atas melalui tray. Kemudian mendorong gas terlarut keluar dari air. Gas akan keluar ke bagian atas kolom deaerator berupa O_2 , CO_2 , dan gas lain, dan dilepas ke atmosfer atau sistem ventilasi.

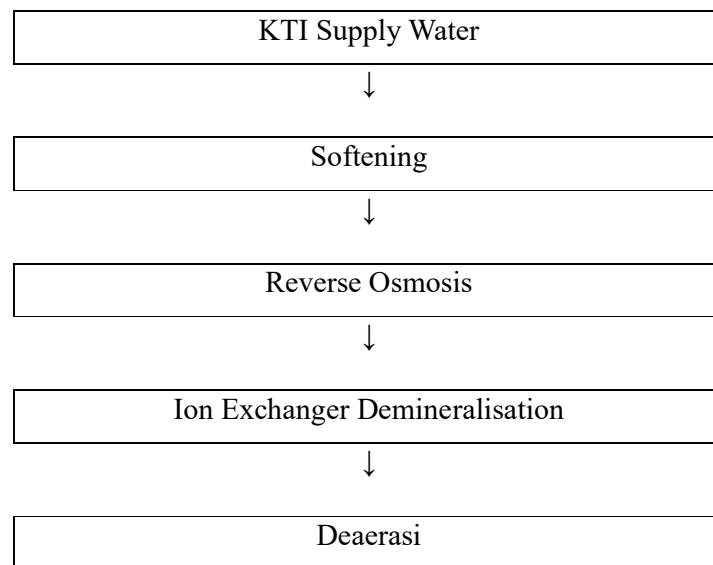
Proses ini tidak hanya dilakukan secara fisik dengan panas dan kontak uap, tetapi juga melibatkan reaksi kimia. Apabila ditambahkan dengan *chemical oxygen scavenger*, yaitu bahan kimia pengikat oksigen berupa natrium sulfite (Na_2SO_3) guna memastikan oksigen benar-benar habis. Reaksi yang terjadi ditunjukkan sebagai berikut.



Sodium sulfite bereaksi dengan oksigen terlarut akan menghasilkan sodium sulfat, berupa larutan yang tidak berbahaya dan tidak menyebabkan korosi. Untuk memaksimalkan penghilangan karbon dioksida juga dapat dihilangkan dengan meningkatkan temperature air karena lebih mudah lepas pada temperature yang tinggi, jika perlu menambahkan bahan kimia alkali berupa NaOH. Reaksi yang terjadi ditunjukkan sebagai berikut.



Mutu air setelah proses deaerasi yang siap digunakan sebagai air umpan boiler meliputi, oksigen terlarut $< 0,007$ ppm atau 7 ppb dan temperatur air $\pm 104\text{-}107^\circ\text{C}$.



Gambar 4. 3 Diagram Alir Pengolahan Air Pendingin

4. Pengolahan Air Domestik dan Sanitasi

Air domestik dan sanitasi yang ada di pabrik umumnya digunakan untuk kebutuhan non-proses meliputi toilet, wastafel, kamar mandi, cuci tangan, pembersihan area fasilitas atau peralatan dan sebagainya. Biasanya, air dari PT KTI yang sudah bersih tidak memerlukan pengolahan lanjutan yang lebih kompleks, tetapi harus tetap memenuhi standar kualitas air

bersih berdasarkan Permenkes RI No. 32 Tahun 2017 tentang standar baku mutu air minum karena digunakan untuk konsumsi manusia dan sanitasi pula.

Pengolahan air domestik dan sanitasi untuk perancangan pabrik etilen oksida ini meliputi empat tahapan sebagai berikut.

1. Filtrasi Awal (*Screening dan Sand Filter*)

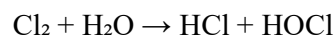
Proses ini dilakukan secara fisik dengan penyaringan, air bersih dari utilitas PT KTI disaring menggunakan saringan kasar (*screening*) ukuran 10-25 mm, guna menghilangkan partikel besar seperti daun, pasir, lumpur, dan material tersuspensi. Kemudian diumpankan menuju sand filter guna menyaring partikel halus dan mengurangi tingkat kekeruhan (*turbidity*). Sand filter bekerja secara kontinu, di mana air mengalir melewati media filtrasi yang terdiri dari tiga lapisan meliputi, antrasit, pasir silika, dan gravel (kerikil). Seiring berjalannya waktu, sand filter akan mengalami akumulasi lumpur sehingga memerlukan backwashing secara berkala. Setelah proses filtrasi awal, tidak memerlukan proses flokuasi-koagulasi dan sedimentasi, karena kondisi air awal sudah cukup baik.

2. Filtrasi Lanjutan (*Activated Carbon Filter*)

Air akan diumpankan menuju filter karbon aktif guna memperbaiki kualitas fisik air, berupa penghilangan bau, rasa, dan kandungan organik terlarut meliputi klorin, pestisida, dan senyawa organik volatil.

3. Desinfektasi (*Chlorination dan UV Disinfection*)

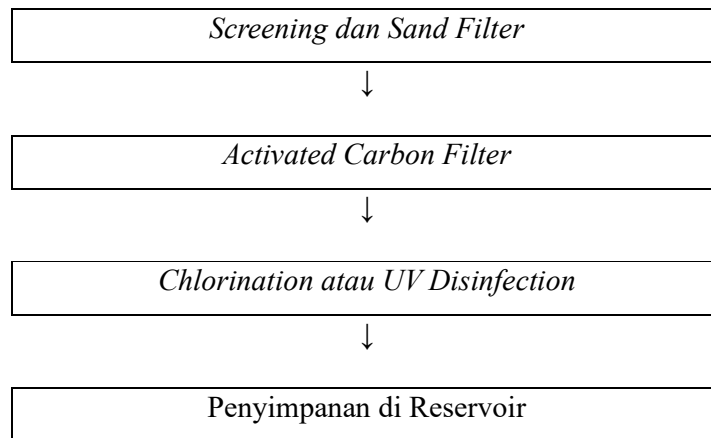
Air yang telah bersih kemudian disterilkan guna membunuh bakteri, virus, dan mikroorganisme patogen. Proses ini terdapat dua cara, meliputi klorinasi yaitu penambahan gas klorin (Cl_2) atau larutan hipoklorit. Reaksi yang terjadi sebagai berikut.



Selain proses injeksi, disinfeksi dapat pula dilakukan dengan disinfeksi UV menggunakan radiasi ultraviolet guna merusak DNA mikroorganisme.

4. Penyimpanan di Reservoir

Air bersih yang telah diolah dan dipastikan bahwa sesuai dengan standar yang mengacu, kemudian disimpan dalam tangka khusus air domestik sebelum didistribusikan menuju titik-titik penggunaan yang berada di pabrik.



Gambar 4. 4 Diagram Alir Pengolahan Air Domestik dan Sanitasi

4.1.3 Kebutuhan Air

1. Kebutuhan Air Proses

Air proses digunakan sebagai penyerap gas etilen oksida pada unit absorber serta keperluan cleaning pada unit proses. Berdasarkan perhitungan air proses diperoleh sebesar.

$$\text{Kebutuhan air proses} = 18.000 \text{ kg/jam} = 18 \text{ m}^3/\text{jam} = 432 \text{ m}^3/\text{hari}$$

2. Kebutuhan Air Boiler

Terdapat dua jenis boiler dalam unit utilitas, meliputi steam boiler untuk menghasilkan steam dan water tube boiler untuk menghasilkan *saturated water* untuk proses pendinginan. Kebutuhan steam untuk operasi ditunjukkan pada tabel sebagai berikut.

Tabel 4. 4 Kebutuhan Steam (Peters & Timmerhaus, 1991)

No.	Nama Alat	Kebutuhan Steam (kg/jam)
1.	Heater (HE-01)	34036,53
2.	Reboiler (V-01)	6675,92
3.	Reboiler (V-02)	3007,23
4.	Reboiler (V-03)	3454,29
Total		47173,96 kg/jam

Maka kebutuhan untuk steam sebagai berikut.

$$\text{Water steam} = 47173,96 \text{ kg/jam}$$

Kebutuhan Air Umpan Boiler yaitu, ekses 20% dari kebutuhan total steam. Sehingga kebutuhan air umpan $120\% \times \text{total kebutuhan steam}$

$$\text{Kebutuhan air umpan boiler} = 120\% \times 47173,96 \text{ kg/jam} = 56608,75715 \text{ kg/jam}$$

3. Kebutuhan Air Pendingin

Air pendingin (*Cooling Water*) digunakan untuk menurunkan temperatur pada unit kondensasi dan reaktor. Kebutuhan pendingin untuk peralatan utama ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4. 5 Kebutuhan Air Pendingin (Peters & Timmerhaus, 1991)

No.	Nama Alat	Kebutuhan (kg/jam)
1.	Reaktor (R-01)	78393,91
2.	EO Condenser (C-01)	10418,65
3.	Gas Separator Cooler (C-02)	1332,31
Total		90144,87 kg/jam

Diasumsikan bahwa terdapat *excess* 20% dari total kebutuhan air pendingin. Sehingga kebutuhan air pendingin $120\% \times \text{total kebutuhan air pendingin}$

$$\text{Kebutuhan air pendingin} = 120\% \times 90144,87 \text{ kg/jam} = 108173,85 \text{ kg/jam}$$

4. Kebutuhan Air Domestik

Diasumsikan memiliki total karyawan sejumlah 112 orang, dengan kebutuhan air domestic per orang sebesar 120 liter/hari.orang, maka kebutuhan air domestik sebagai berikut.

- i. Air untuk kebutuhan karyawan: 120 liter/hari.orang

$$\text{Jumlah Karyawan} = 112 \text{ orang}$$

$$\text{Jam Kerja Karyawan} = 8 \text{ jam/hari}$$

$$\text{Densitas Air} = 997,08 \text{ kg/m}^3$$

Maka air sanitasi untuk karyawan yaitu

$$(120 \text{ liter} / 24 \text{ jam.orang}) \times 112 \text{ orang} \times (8 \text{ jam}/24 \text{ jam}) = 186,67 \text{ liter/jam}$$

Air sanitasi untuk karyawan

$$(186,67 \text{ liter/jam}) \times (997,08 \text{ kg/m}^3) \times (1 \text{ m}^3/1000 \text{ liter}) = 186,12 \text{ kg/jam}$$

- ii. Untuk laboratorium dan taman: $20\% \times \text{kebutuhan karyawan}$

$$20\% \times (186,12 \text{ kg/jam}) = 37,22 \text{ kg/jam}$$

- iii. Untuk pemadam kebakaran dan cadangan air: $140\% \times \text{kebutuhan air sanitasi (i+ii)}$

$$140\% \times (186,12 \text{ kg/jam} + 37,22 \text{ kg/jam}) = 312,68 \text{ kg/jam}$$

Tabel 4. 6 Total Kebutuhan Air Sanitasi (Peters & Timmerhaus, 1991)

No.	Kebutuhan	Air Sanitasi (kg/jam)
1.	Kebutuhan Karyawan	186,12
2.	Laboratorium dan taman	37,22
3.	Pemadam kebakaran dan cadangan air	312,68
Total		536,03

4.2 Unit Suplai dan Pembangkit Listrik (*Captive Power Plant System*)

Unit pemangkit listrik memiliki tujuan untuk menunjang kebutuhan energi listrik selama proses produksi berlangsung yang secara kontinyu, pabrik etilen oksida ini menggunakan kombinasi dari beberapa sumber daya listrik, meliputi sebagai berikut.

1. Pasokan Utama dari PLN melalui PLTU Suralaya

PLN sebagai penyedia pasokan listrik utama yang menyalurkan jaringan interkoneksi, dengan pengambilan sumber dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Suralaya yang berlokasi di Jalan Raya Merak, Suralaya, Kec. Pulomerak, Kota Cilegon, Banten. Memiliki kapasitas besar dan menjadi sumber utama penyediaan daya untuk industri berat di Banten, termasuk KIEC. PLTU Suralaya memiliki total kapasitas ± 4.025 MW yang dibangkitkan dari 7 unit turbin uap.

2. Pasokan Pendukung dari PT Krakatau Daya Listrik (KDL)

PT Krakatau Daya Listrik merupakan anak perusahaan dari PT Krakatau Steel, sebagai perusahaan penyedia pasokan listrik di dalam Kawasan Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC). Mengoperasikan pembangkit listrik sendiri (*captive power plant*) dengan teknologi gas turbine dan diesel engine. Kapasitas total daya listrik yang dihasilkan sebesar ± 120 MW.

3. *Captive Power* dari *Cogeneration* (Co-gen)/ Turbin Generator Proses

Selain mengandalkan pasokan dari luar, perlu juga memanfaatkan turbin uap dari sistem utilitas proses utama (*waste heat recovery* atau *steam turbine generator*) sebagai *captive power* untuk menghasilkan listrik internal yang menjadi cadangan listrik ketika pasokan utama dari PLN mengalami kendala. Sistem ini memanfaatkan uap bertekanan tinggi dari hasil

recycle menuju turbin, untuk menghasilkan daya listrik. Kapasitas pembangkit listrik diperkirakan sebesar 5-10% dari total kebutuhan daya pabrik, bergantung pada efisiensi pemanfaatan uap proses.

Rincian perhitungan kebutuhan daya listrik dari utilitas dan proses utama ditunjukkan pada tabel sebagai berikut.

4.2.1 Kebutuhan Listrik

Kebutuhan listrik guna pemenuhan pengoperasian peralatan proses dan keperluan pengolahan air ditunjukkan pada tabel sebagai berikut.

a. Keperluan Proses

Tabel 4. 7 Keperluan Proses (Peters & Timmerhaus, 1991)

Nama Alat	Kode	Jumlah	Tenaga (HP)	HP Total
Pompa Oksigen	P – 01	1	1	1
Pompa Nitrogen	P – 02	1	1	1
Pompa Etilen	P – 03	1	2	2
Pompa Etilen Oksida Absorber	P – 04	1	2	2
Pompa CO ₂ Absorber	P – 05	1	2	2
Pompa CO ₂ Stripper	P – 06	1	2	2
Pompa Top Product Distilasi	P – 07	1	1	1
Pompa Bottom Product Distilasi	P – 08	1	1	1
Kompresor Recycle	C - 01	1	4	4
Ekspander Produk Reaktor	E - 01	1	4	4
Total				20

b. Keperluan Utilitas

Tabel 4. 8 Keperluan Utilitas (Peters & Timmerhaus, 1991)

Nama Alat	Kode	Jumlah	Tenaga (HP)	HP Total
Pompa Raw Water	P – 09	2	4	8
Pompa Air Proses	P – 10	1	1	1
Pompa Air Pendingin	P – 11	1	3	3

Nama Alat	Kode	Jumlah	Tenaga (HP)	HP Total
Pompa Air Sanitasi	P – 12	2	3	6
Pompa Pengolahan Limbah	P – 13	2	3	6
Pompa Bahan Bakar	P – 14	2	2	4
Pompa Boiler	P – 15	2	3	6
Pompa Refrigerasi	P - 16	1	4	4
Kompresor Udara Tekan	C - 02	3	4	12
Total				50

Kebutuhan Total Listrik = Keb. Listrik Proses + Keb. Listrik Utilitas

$$= 20 \text{ HP} + 50 \text{ HP}$$

$$= 70 \text{ HP}$$

Jika diketahui 1 HP = 0,75 kW power dibutuhkan = 52,5 kW

c. Kebutuhan Penerangan dan AC

Kebutuhan listrik guna penerangan proses yang dipakai sesuai standar (Perry & Green, 1999) ditunjukkan pada tabel sebagai berikut.

Tabel 4. 9 Kebutuhan Penerangan (Perry & Green, 1999)

No.	Area	Luas, m ²	Luas, ft ²	Cd, ft	Lumen
1	Pos Keamanan	25	269,10	10	2690,98
2	Lapangan Parkir	*200	2152,78	10	21527,82
3	Kantor	900	9687,52	30	290625,60
4	Kantin	150	1614,59	10	16145,87
5	Laboratorium	250	2690,98	25	67274,44
6	Unit Pemadam Kebakaran	200	2152,78	15	32291,73
7	Gudang	*250	2690,98	10	26909,78
8	Bengkel	325	3498,27	20	69965,42
9	Ruang Kontrol	300	3229,17	25	80729,33
10	Unit Proses	3500	37673,69	30	1130210,67

No.	Area	Luas, m ²	Luas, ft ²	Cd, ft	Lumen
11	Tempat Ibadah	100	1076,39	15	16145,87
12	Poliklinik	200	2152,78	10	21527,82
13	Unit Utilitas	1000	10763,91	15	161458,67
14	Aula	200	2152,78	10	21527,82
15	Unit Pengolahan Limbah	600	6458,35	10	64583,47
16	Jalan dan Taman	*2000	21527,82	10	215278,22
17	Daerah Perluasan	*3000	32291,73	10	322917,33
Total			13.200		2.561.810,84

Area dalam bangunan menggunakan lampu TL 40 W. Lumen output tiap lampu instant starting daylight adalah 1.920 lumen (Perry & Green, 1999).

Jumlah lumen di dalam ruangan = 1.975.177,69 lumen

Jumlah lampu yang digunakan = $1.975.177,69 : 1.920$
= 1.029 buah

Halaman, jalan, tempat parkir, serta seluruh area di luar ruangan menggunakan lampu mercury 100 W. Lumen output tiap lampu adalah 3.000 lumen (Perry & Green, 1999)

Jumlah lumen yang dibutuhkan = 586.633,16 lumen

Jumlah lampu yang digunakan = $586.633,16 : 3.000$
= 196 buah

Total daya penerangan = $(1.029 \times 40) + (196 \times 100)$
= 60.760 W
= 60,70 W

Listrik untuk AC diperkirakan sebesar 20.000 watt (20 kW)

Total Kebutuhan listrik = Listrik Penerangan + Listrik AC
= 60,70 kW + 20 kW
= 80,70 kW

d. Kebutuhan Bengkel, Laboratorium, dan Instrumentasi

Kebutuhan listrik untuk laboratorium dan instrumentasi menggunakan daya sebesar 35 kW.

$$\begin{aligned}\text{Total kebutuhan listrik} &= 52,5 \text{ kW} + 80,76 \text{ kW} + 35 \text{ kW} \\ &= 168,26 \text{ kW}\end{aligned}$$

4.2.2 Pengadaan Turbin Generator Proses

Sistem cadangan energi listrik didapatkan dari turbin generator berbasis uap, dengan memanfaatkan uap buang dari reaksi eksotermis proses produksi atau dari sistem utilitas berupa *waste heat recovery steam generator* (WHRS). Mampu menghasilkan efisiensi energi 30% tanpa memerlukan bahan bakar tambahan.

a. Daya Listrik yang Dihasilkan

$$\begin{aligned}\text{Energi termal uap} &= \text{Aliran massa} \times (\text{enthalpy masuk} - \text{enthalpy keluar}) \\ &= 1.500 \text{ kg/jam} \times (800 - 200) \text{ kJ/kg} \\ &= 1.500 \times 600 \\ &= 900.000 \text{ kJ/jam} \\ &= 900.000 : 3.600 \\ &= 250 \text{ kWh}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Hasil Daya Listrik} &= 30\% \times 250 \text{ kWh} \\ &= 75 \text{ kWh}\end{aligned}$$

b. Spesifikasi Turbin Generator

Jenis Turbin	= <i>Steam Turbine</i>
Kapasitas Output	= 75 kW
Tegangan Output	= 380 – 400 Volt
Frekuensi Output	= 50 Hz
Jenis Generator	= <i>AC Synchronous Generator (3-Phase)</i>
Tekanan Uap Inlet	= 10-15 bar

Temperatur Uap Inlet	= 250 – 300 °C
Laju Alir Uap	= 1.500 kg/jam (0,42 kg/s)
Efisiensi Turbin	= 30%
Sistem Pendingin	= Air-cooled atau <i>Water-cooled</i>
Kontrol	= Otomatis dengan <i>synchronizer</i>
Aplikasi	= <i>Cogeneration/ Waste Heat Recovery</i> (WHRSG)

Berdasarkan rincian kebutuhan daya listrik dari utilitas dan proses utama yang mengacu pada data tabel perhitungan sebelumnya, total daya yang dibutuhkan oleh pabrik etilen oksida sebesar 5.000-6.000 kW atau 5 – 6 MW. Sumber daya listrik yang disediakan secara rinci terdiri dari:

- PLN melalui PLTU Suralaya sebesar ≥ 5 MW sebagai pasokan utama.
- PT Krakatau Daya Listrik sebesar 1-2 MW sebagai pasokan pendukung.
- Turbin Generator Proses sebesar ± 500 kW sebagai *captive power*.

4.3 Unit Pembangkit Steam (*Steam Generation System*)

Unit pembangkit steam memiliki tujuan guna memenuhi kebutuhan steam (uap air) pada proses produksi pabrik etilen oksida. Unit ini terdiri dari ketel uap (boiler) yang dilengkapi dengan sistem economizer, safety valve, dan perlengkapan pengaman lainnya yang bekerja secara otomatis. Burner yang digunakan berbahan bakar natural gas atau fuel oil sesuai dengan ketersediaan energi yang ada di pabrik.

Air dari *water treatment plant* (WTP) yang sudah melalui tahap demineralisasi (BFW) akan digunakan sebagai umpan boiler. Air BFW ini harus terbebas dari kontaminasi seperti silika (SiO_2), oksigen (O_2), dan ion-ion Ca^{2+} , Mg^{2+} , yang mampu menyebabkan korosi atau timbulnya kerak di dalam boiler. Pemantauan nilai pH juga diperlukan untuk mencegah korosi tinggi, sehingga diatur tetap pada rentang pH 10,5-11,5.

Air umpan dialirkan terlebih dahulu ke economizer sebelum masuk ke dalam boiler untuk menaikkan temperatur air hingga 150°C. Economizer merupakan alat pemanas awal yang menggunakan panas sisa dari gas buang pembakaran. Air keluaran economizer dimasukkan ke dalam drum boiler, kemudian dipanaskan hingga menghasilkan uap jenuh. Pemisahan uap dengan air berdasarkan prinsip perbedaan densitas di dalam steam drum. Uap jenuh di arahkan

menuju superheater guna menaikkan temperatur dan kualitasnya sebelum dikirim ke area proses.

4.3.1 Perhitungan Kapasitas Boiler

Perhitungan kapasitas boiler mengacu pada persamaan energi sebagai berikut.

$$Q = m (h - h_f)$$

Dengan:

Q = Kapasitas boiler (Btu/jam)

m = Massa steam (lb/jam)

h = Entalpi steam (Btu/lb)

h_f = Entalpi Feedwater (Btu/lb)

Kondisi steam berdasarkan (Smith, et al., 2001):

Temperatur steam : 473 K → h = 737,18 Btu/lb

Temperatur make-up water : 303,15 K → h_L = 54,04 Btu/lb

Temperatur kondensat kembali : 473 K → h_L = 466,80 Btu/lb

Persentase make-up water : 18,18%

Persentase kondensat kembali : 81,18%

Sehingga,

$$h_f = (0,1818 \times 54,04) + (0,8118 \times 466,80) = 391,76 \text{ Btu/lb}$$

Maka kapasitas boiler,

$$Q = 372.699,62 \times (737,18 - 391,76) = 392.680.232,3 \text{ Btu/jam}$$

Dengan efisiensi boiler 80%, kebutuhan energi input,

$$Q_{input} = \frac{392.680.232,3}{0,8} = 490.850.290,4 \text{ Btu/jam}$$

4.3.2 Menentukan Luas Perpindahan Panas

Konversi panas ke Horsepower Boiler (HP)

$$HP = \frac{490.850.290,4}{970,3 \times 34,5} = 14.667,57 \text{ HP}$$

Diketahui bahwa setiap 1 HP memerlukan 10 ft² luas pemanasan, maka total luas permukaan pemanasan.

$$\begin{aligned} \text{Total Area} &= 14.667,57 \times 10 \\ &= 146.675,72 \text{ ft}^2 \\ &= 13.626,62 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

4.3.3 Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan adalah solar (*fuel oil grade 4*) dengan nilai kalor (*heating value*) sebesar 19.440 Btu/lb. Maka massa bahan bakar,

$$mf = \frac{392.680.232,3}{0,8 \times 19.440} = 25.249,50 \text{ lb/jam}$$

Volume bahan bakar jika diketahui densitas solar sebesar 59,14 lb/ft³.

$$vf = \frac{25.249,5}{59,14} = 426,94 \text{ ft}^3/\text{jam} = 12,09 \text{ m}^3/\text{jam}$$

4.3.4 Spesifikasi Boiler

Tipe Boiler	: <i>Fire Tube Boiler</i>
Jumlah	: 1 buah
Heat Surface Area	: 13.626,62 m ²
Tekanan Operasi	: 473 K
Kapasitas Boiler	: 392.680.232,3 Btu/jam
Bahan bakar	: Solar
Kebutuhan bahan bakar	: 12,09 m ³ /jam

4.4 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Unit bahan bakar memiliki tujuan dalam pemenuhan kebutuhan bahan bakar pada boiler guna menjamin kontinuitas proses di dalam pabrik. Boiler sebagai alat penghasil uap

superheated yang dibutuhkan untuk berbagai proses dalam pabrik dan juga penggerak turbin generator berbasis uap. Dalam unit ini, turbin generator tidak menggunakan bahan bakar, tetapi memanfaatkan uap hasil proses utama guna meningkatkan efisiensi energi yang dimiliki oleh pabrik. Bahan bakar yang digunakan berupa natural gas (gas alam) yang diperoleh dari PT Pertamina Gas (Pertagas) Cilegon, Banten, melalui *underground pipeline*.

Pemilihan penggunaan *natural gas* dibanding dengan bahan bakar yang lain, berdasarkan beberapa alasan sebagai berikut.

1. Memiliki nilai kalor tinggi sehingga efisiensi termal lebih baik.
2. Proses pembakaran bersih tanpa menghasilkan jelaga atau kerak.
3. Maintenance cenderung rendah pada peralatan boiler dan burner.
4. Ramah terhadap lingkungan berdasarkan regulasi emisi karbon yang berlaku.

Perhitungan jumlah bahan bakar untuk boiler secara rinci sebagai berikut. Diketahui bahwa boiler memiliki efisiensi 80%, panas yang dibutuhkan boiler sebesar 6.451.316,52 kJ/jam, dan berdasarkan datasheet Pertagas heating value natural gas sebesar 38.000 kJ/m³.

Energi input yang dibutuhkan sebagai berikut.

$$Q_{input} = \frac{6.451.316,52 \text{ kJ/jam}}{0,8} = 8.064.145,65 \text{ kJ/jam}$$

Volume natural gas yang dibutuhkan sebagai berikut.

$$Volume \text{ gas} = \frac{8.064.145,65 \text{ kJ/jam}}{38.000 \text{ kJ/m}^3} = 212,74 \text{ m}^3/\text{jam}$$

4.5 Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah memiliki fungsi untuk mengolah limbah atau sisa bahan hasil kegiatan operasional pabrik etilen oksida. Limbah yang dihasilkan dapat dikategorikan dalam beberapa jenis, meliputi limbah cair dan lumpur, padat, gas, serta B3. Pengelolaan limbah dilakukan dengan tujuan mencegah pencemaran lingkungan dan memenuhi peraturan perundang-undangan terkait limbah industri pada PP No. 22 Tahun 2021 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

4.5.1 Pengolahan Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan dari keseluruhan operasional pabrik meliputi beberapa sumber diantaranya, limbah air sanitasi dari area domestik, limbah air berminyak dari buangan pelumas dan peralatan putar lainnya, serta air sisa proses dari kegiatan *cleaning*, *blowdown*,

atau *purge* yang mengandung sisa bahan kimia. Sistem pengolahan limbah cair tersebut melewati berbagai tahapan sebagai berikut.

1. *Equalization Tank*

Tangki yang berfungsi untuk menyamakan debit dan beban pencemar limbah yang masuk sebelum diproses lebih lanjut. Limbah cair diumpankan ke dalam equalization tank yang beroperasi pada temperatur 30-40°C, waktu tinggal selama 6-8 jam, melakukan kontrol kualitas pH pada rentang 6-8, serta melakukan proses aerasi ringan guna menjaga kondisi aerob dan mencegah timbulkan endapan di dasar tangki.

2. *Neutralization Tank*

Tangki yang berfungsi untuk menyesuaikan pH air limbah agar sesuai dengan standar kualitas air dalam proses biologis. Limbah cair yang telah disimpan dalam equalization tank diumpankan menuju neutralization tank yang beroperasi pada standar pH 6,5-7,5, apabila pH terlalu rendah maka perlu menambahkan reagen NaOH 20%, apabila pH terlalu tinggi maka perlu menambahkan reagen H₂SO₄ 98%. Kontrol kualitas pH menggunakan sensor pH dan pengumpanan reagen menggunakan dosing pump.

3. *Primary Clarifier*

Tangki yang berfungsi untuk mengendapkan padatan kasar dari air limbah. Air limbah yang telah memenuhi standar pH, kemudian diumpankan menuju primary clarifier dengan kecepatan aliran 0,3-0,5 m/jam. Standar kecepatan aliran kecil guna menghasilkan aliran laminar, sehingga padatan yang lebih berat akan mengendap ke dasar clarifier akibat gaya gravitasi. Proses sedimentasi berlangsung selama 1-2 jam dengan kontrol temperatur pada suhu lingkungan $\pm 30^{\circ}\text{C}$. Padatan yang mengendap disebut sebagai sludge, yang dipindahkan atau dikeluarkan secara berkala dari bagian bawah *clarifier*. Air yang telah bersih terpisah dari endapan disebut sebagai filtrat, akan *effluent* ke permukaan clarifier dan alirkan menuju tangki aerasi.

4. *Aeration Tank*

Tangki yang berfungsi untuk menguraikan senyawa organik (BOD/COD) secara biologis dengan mikroorganisme. Sebagian besar padatan yang mengandung bahan organik pada *primary clarifier* akan membantu dalam pengurangan beban BOD untuk *secondary clarifier*. Filtrat dari primary clarifier ditambahkan dengan oksigen dari udara permukaan selama 8-12

jam waktu tinggal, pada temperatur optimal pertumbuhan mikroba yakni 28-35°C. control kualitas meliputi *dissolved oxygen* (DO) 2-4 mg/L dan pH 6,8-7,5. Selain oksigen, apabila diperlukan juga menambahkan nutrisi berupa nitrogen dan fosfat guna membantu bakteri aerobik dalam proses penguraian. Hasil proses aerasi terbagi menjadi dua meliputi, endapan limbah yang kaya akan bakteri aerobik disebut sebagai *activated sludge*, dan air yang telah bersih berupa filtrat.

5. Secondary Clarifier

Tangki yang berfungsi untuk memisahkan lumpur aktif (*sludge* biomassa) yang merupakan air hasil reaksi biologis, dengan konsentrasi lumpur yang keluar sebesar 8.000 – 10.000 mg/L. Prinsip kerja pada *clarifier* ini sama dengan *primary clarifier*, dimana air limbah tersebut diumpankan secara lamban sehingga didapatkan aliran laminar dan padatan yang lebih berat akan mengendap di dasar *clarifier*. Proses sedimentasi berlangsung selama 2-3 jam dengan kecepatan aliran $< 1 \text{ m}^3/\text{jam}$. Sludge yang lebih berat akan mengendap di bagian bawah, dan filtrat berupa air yang lebih jernih akan effluent ke bagian atas tangka. Sebagian sludge yang mengendap, akan diumpankan kembali (recycle) ke tangka aerasi guna menjaga jumlah mikroorganisme yang cukup untuk proses aerasi. Sebagian yang tidak di-recycle akan dibuang guna menghindari penumpukan sludge berlebihan.

6. Sand Filter

Tangki filtrasi yang berfungsi untuk menghilangkan sisa partikel tersuspensi mikro (TSS $< 10 \mu\text{m}$) dari air limbah yang telah jernih. Air diumpankan dari bagian atas sand filter dengan kecepatan aliran 5-10 m^3/jam . Media yang digunakan secara berturut-turut dari bagian atas berupa antrasit, pasir silika, dan gravel (kerikil). Proses backwash dilakukan ketika *sand filter* mengalami pressure drop $> 3,5 \text{ bar}$ atau 30% dari pressure normal sebesar 5 bar, dengan mengalirkan air berlawanan arah guna menghilangkan partikel yang mengendap di dalam.

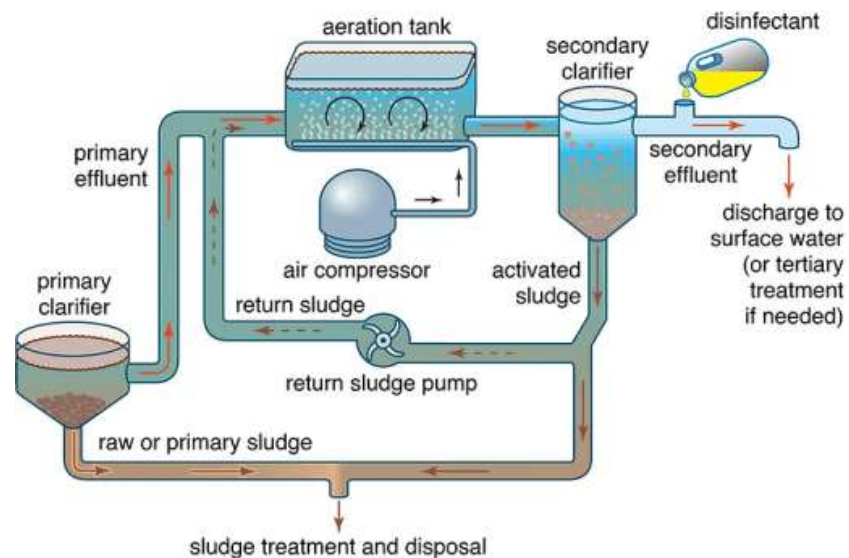
7. Carbon Filter

Tangki filtrasi yang berfungsi untuk menyerap senyawa organik tersisa, guna memperbaiki kualitas air secara fisik meliputi warna, bau, rasa, terbebas dari logam berat ringan, dan konsentrasi klorin dan senyawa kimia lainnya. Air hasil filtrasi dari *sand filter* diumpankan dari bagian atas carbon filter dengan kecepatan aliran 5-8 m^3/jam . Media yang digunakan berupa karbon aktif, yang terbuat dari bahan organik seperti batubara, arang kayu, atau kokas yang telah diaktivasi melalui proses oksidasi. Proses *backwash* dilakukan ketika *carbon filter*

mengalami *pressure drop* > 1,64 bar atau 30% dari pressure normal sebesar 2,34 bar, dengan mengalirkan air berlawanan arah guna menghilangkan partikel yang mengendap di dalam.

8. Chlorination Unit

Unit yang berfungsi untuk proses disinfektasi akhir agar patogen (mikroorganisme penyebab penyakit) yang terlarut dalam air dapat dihilangkan. Proses disinfektasi ini dilakukan dengan melakukan penambahan klorin (NaOCl) atau kaporit ke dalam air dengan dosis 5-10 mg/L selama 30-60 menit. Hasil air yang telah terdisinfektasi disimpan dalam *storage tank* sebelum dibuang ke lingkungan atau digunakan kembali ke unit-unit proses sebelumnya.



Gambar 4. 5 Unit Pengolahan Limbah Cair (Azka, 2019)

Beberapa monitoring dan sistem kontrol diberlakukan pada beberapa aspek guna menjaga kinerja sistem serta mencapai standar acuan pada masing-masing unit pengolahan. Dalam unit ini terdapat beberapa instrument dan sistem kontrol yang diterapkan meliputi, pH meter untuk memastikan pH berada dalam rentang aman pada equalization tank, neutralization tank, dan aeration tank. *Dissolve Oxygen* (DO) meter untuk memastikan kadar oksigen terlarut berada pada konsentrasi sesuai dalam pertumbuhan mikroorganisme pada aeration tank. COD/BOD *Analyzer* untuk mengetahui konsentrasi senyawa organik dalam air limbah pada seluruh unit. *Flow meter* untuk mengukur laju aliran limbah pada tiap titik kritis (*inlet*, *outlet*, *recycle sludge*) guna pemantauan beban harian. Alarm otomatis sebagai sistem kontrol terintegrasi dengan alarm guna mendeteksi gangguan (pH ekstrem, DO rendah, level

overflow). *Programme Logic Controller* (PLC) sebagai pengatur pompa, aerator, dan chemical dosing pump secara otomatis berdasarkan umpan balik sensor. *Sampling chamber* sebagai titik pengambilan sampel air limbah untuk dianalisis di laboratorium berdasarkan regulasi yang berlaku.

4.5.2 Pengolahan Limbah Padat

Limbah padat yang dihasilkan dari keseluruhan operasional pabrik meliputi beberapa sumber diantaranya, sisa lumpur dari unit pengolahan air limbah (IPAL), sampah domestik, berbagai media filter pada proses filtrasi, debu dari *dust collector*, dan kemasan bahan kimia. Pengelolaan limbah sludge dilakukan dengan proses *dewatering*, menggunakan *belt filter press* dengan cara filtrasi menggunakan tekanan. Pengelolaan limbah B3 dilakukan dengan penyimpanan sementara pada gudang limbah B3 sebelum dikirim ke pihak ketiga tersertifikasi. Pengelolaan limbah domestik ini dilakukan melewati beberapa tahap meliputi, pemilahan, pengeringan, dan pemimbunan di tempat pembuangan akhir (TPA) yang telah bekerja sama dengan pihak ketiga yang tersertifikasi. Monitoring dilakukan terhadap catatan manifest limbah, inspeksi fisik secara berkala, dan pengkalibrasian timbangan digital guna pencatatan jumlah limbah.

4.5.3 Pengolahan Limbah Gas

Limbah gas yang dihasilkan dari keseluruhan operasional pabrik meliputi beberapa sumber diantaranya, emisi dari reaktor (*ethylene oxide vent*), gas buang boiler (CO₂, NO_x, SO_x), *Volatile Organic Compound* (VOC) dari tangki penyimpanan atau *un/loading area*, proses stripping, dan flare atau incinerator. Pengelolaan limbah gas dilakukan dengan beberapa tahapan proses sebagai berikut.

1. Cyclone Dust Collector

Cyclone dust collector berfungsi sebagai alat untuk menghilangkan partikel padat kasar seperti debu, abu, dan pasir yang terkandung di dalam aliran gas sebelum atau sesudah unit pembakaran. *Cyclone* bekerja dengan memanfaatkan prinsip gaya sentrifugal. Gas kotor yang mengandung partikel debu diumpankan 12-25 m/s pada tekanan atmosfer $\pm 0,5$ bar secara tangensial ke dalam ruang silindris pada alat ini, sehingga menyebabkan gas berputar membentuk pusaran (*vortex*). Gaya sentrifugal akan mendorong partikel debu ke arah dinding siklon, tempat partikel kehilangan kecepatan dan jatuh ke bagian bawah alat yang disebut sebagai hopper. Sementara itu gas bersih akan naik melalui pusat silinder dan keluar dari bagian atas alat. Penghilangan partikel di dalam aliran memiliki persentase efisiensi sebesar 70-90%

untuk partikel dengan ukuran $> 10 \mu\text{m}$. Gas keluaran dari alat ini akan diumpankan menuju *bag filter*, untuk proses filtrasi lebih lanjut terhadap partikel yang lebih halus.

2. Bag Filter

Bag Filter memiliki fungsi sama seperti *cyclone dust collector*, yakni sebagai alat untuk menghilangkan partikel padat, namun dengan ukuran partikel yang lebih kecil (halus) yakni $0,1 - 10 \mu\text{m}$. *Bag filter* bekerja dengan melewati gas ke dalam filter, kemudian partikel akan terperangkap di permukaan filter sehingga gas bersih dapat lolos keluar. Filter yang digunakan perlu dibersihkan secara berkala menggunakan *pulse-jet cleaning system*. Sistem ini menggunakan semburan udara bertekanan tinggi (*compressed air*) yang diumpankan secara tiba-tiba (*pulse*) ke dalam kantong filter dari arah yang berlawanan dengan aliran gas. Semburan tersebut akan menciptakan gelombang kejut singkat yang mengguncang kantong filter, sehingga lapisan debu terlepas dan jatuh ke *hopper* (penampungan bawah).

3. Scrubber (Gas Washing Tower)

Scrubber sebagai unit pengolahan gas berbasis pencucian basah, berfungsi untuk menghilangkan gas-gas asam seperti HCl dan SO_2 serta berbagai partikel dari aliran gas buang. Prinsip kerja dari *scrubber* yakni dengan mengalirkan gas secara berlawanan arah dengan cairan *scrubbing* berupa air atau larutan alkali dengan pH 7-9, dalam kolom bersusun (*packed column*), sehingga terjadi kontak intensif dan reaksi kimia antara polutan dan cairan. Dioperasikan pada temperatur $30-50^\circ\text{C}$ pada tekanan atmosfer 30 atm. Produk utama hasil *scrubber* memiliki persentase penghilangan gas asam sebesar $> 90\%$. *Scrubber* terdapat beberapa instrument dan sistem kontrol yang diterapkan meliputi sensor pH larutan untuk memastikan larutan *scrubbing* memiliki pH sesuai dengan standar, *flow meter* gas dan cairan untuk mengukur kecepatan aliran gas dan cairan selama proses berlangsung sehingga mendapatkan output yang sesuai, level kontrol tangki penampung untuk memastikan level cairan tidak *overflow* maupun habis guna menghindari *trouble* terhadap proses maupun kolom scrubber itu sendiri. Alarm *pressure* guna mendeteksi gangguan seperti *backpressure* di dalam kolom.

4. Thermal Oxidizer

Thermal oxidizer sebagai alat untuk menghancurkan senyawa organik volatil (VOC) dan gas berbahaya lainnya, melalui pembakaran gas pada suhu tinggi. Prinsip kerja dari *thermal oxidizer* yakni dengan mengoksidasi VOC dan gas beracun dengan udara, berupa *excess oxygen*

sebesar 2-5% pada temperatur $> 800^{\circ}\text{C}$, dengan waktu tinggal ≥ 1 s. Hasil proses oksidasi berupa gas CO_2 dan H_2O . *Thermal oxidizer* terdapat beberapa instrument dan sistem kontrol yang diterapkan meliputi sensor suhu di dalam chamber untuk memastikan temperature sesuai dengan standar. *Flame detector* untuk mendeteksi kebakaran akibat kelainan selama proses seperti temperatur berlebih. *Flow controller* untuk mengetahui laju aliran udara dan gas menuju chamber. *Continuous Emission Monitoring System (CEMS)* sebagai sistem yang diterapkan untuk memantau tingkat emisi penyebab polusi udara dari *output chamber*.

5. Flare Stack

Flare Stack sebagai sistem pengaman untuk membakar kelebihan gas buang atau kondisi darurat seperti pelepasan tekanan berlebih. Prinsip kerja dari *Flare Stack* yakni membakar gas pada ujung cerobong (*flare tip*) dengan sistem *igniter (pilot flame)* secara aman. Gas diakumulasikan pada sistem pipa yang disebut sebagai header, kemudian dialirkan melalui pipa vertikal (*riser*) menuju puncak *flare stack*. Pada puncak tersebut akan mempertemukan gas dengan sumber ignisi dan akan terbakar. *Flare Stack* terdapat beberapa instrument dan sistem kontrol yang diterapkan meliputi katup pengaman *pressure* guna mengindikasikan nilai *pressure* agar tetap pada kondisi yang aman. *Flame arrester* sebagai pengaman untuk mencegah nyala api (*flame*) dari luar maupun dari *flare* itu sendiri, masuk ke dalam sistem perpipaan yang mengandung gas *flammable* sehingga ledakan dan kebakaran balik (*flashback*) dapat dihindari. Sistem pemadam kebakaran (*Fire Protection System*) sebagai sistem untuk mencegah dan mengendalikan kebakaran tidak terkendali.

4.5.4 Pengolahan Limbah B3

Limbah B3 yang dihasilkan dari keseluruhan operasional pabrik meliputi, oli bekas, kemasan bahan kimia, lumpur kimia dari IPAL, sisa bahan kimia expired, limbah laboratorium, dan resin exhausted. Pengelolaan limbah B3 melewati beberapa tahapan, yang pertama dengan mengumpulkan limbah secara terpidah sesuai jenisnya berdasarkan sumbernya, kemudian memberi label pada wadah berdasarkan kode limbah sesuai dengan PP No. 22 tahun 2021. Wadah yang telah berlabel tersebut di tempat penyimpanan sementara limbah. Area penyimpanan sementara limbah memiliki temperatur ruang $20\text{-}30^{\circ}\text{C}$ Pastikan bahwa wadah penyimpanan tahan bocor dan korosi menggunakan material HDPE dan/atau baja tahan korosi sesuai dengan karakter limbah. Memastikan area penyimpanan memiliki drainase tertutup, sistem ventilasi, dan penampungan tumpahan. Limbah dikirim ke pihak ketiga yang memiliki izin, dengan proses pengiriman dilengkapi dengan dokumentasi manifest B3 wajib. Monitoring

dilakukan terhadap labelisasi dan barcode tracking, dokumentasi dan manifest, pengawasan keamana dengan CCTV dan sensor di TPS B3, inspeksi berkala, dan menerapkan *fire protection system*.

4.6 Unit Penyedia Udara Tekan

Instrument Air atau udara tekan menjadi unit penting dalam sistem pengendalian dan utilitas untuk keberjalanan proses dalam pabrik. Proses penyediaan udara tekan di dalam pabrik etilen oksida, dimulai dengan pengambilan udara di lingkungan sekitar menggunakan unit kompresor reciprocating. Proses kompresi dilakukan hingga tekanan operasional 4-15 atm berdasarkan kebutuhannya. Output kompresor berupa udara panas dan lembab yang kemudian dialirkan menuju *Dryer* sebagai unit pengering udara yang biasanya terdiri dari filter dan adsorben. Proses pengeringan berfungsi untuk mencegah terjadinya korosi dengan mengurangi kandungan uap air pada aliran pipa, katup, dan berbagai instrumentasi yang sensitif terhadap kelembapan. Selain itu, *Dryer* juga berfungsi sebagai penyaring debu atau partikel halus yang terbawa selama proses kompresi. Hasil udara kering tersebut dalirkan menuju *buffer tank* sebagai tangki penampung sementara bertekanan sebelum udara diumpankan oleh berbagai perangkat. Udara kering kemudian diumpankan melalui jaringan pipa menuju berbagai unit pengguna (*user*), sehingga dapat menggerakkan berbagai peralatan kontrol meliputi aktuator pneumatik, *control valve*, dan sistem proteksi pada pabrik.

4.7 Laboratorium

Laboratorium berperan penting dalam mendukung kelancaran operasional pabrik etilen oksida, terkhusus pada pengawasan mutu, pemantauan proses produksi, serta pengendalian pencemaran lingkungan. Laboratorium ini berfungsi sebagai pusat analisa guna menjamin kualitas bahan baku, bahan pendukung, dan produk akhir agar memenuhi standar yang telah ditetapkan. Serta berfungsi untuk mendeteksi adanya penyimpangan pada proses sedini mungkin agar dapat segera dilakukan perbaikan.

4.7.1 Fungsi Laboratorium

Fungsi utama laboratorium dalam pabrik etilen oksida yakni sebagai berikut.

1. Pengawasan mutu bahan baku dan produk guna memastikan kesesuaian spesifikasi berdasarkan parameter fisik dan kimia.
2. Pemantauan parameter proses meliputi temperatur, tekanan, laju alir, impuritas, dan komposisi zat kimia.

3. Pengawasan unit utilitas meliputi umpan boiler, air pendingin, udara instrument, dan air demineral.
4. Pengujian dan analisa limbah guna memastikan pengolahan limbah sesuai dengan standar baku mutu lingkungan.
5. Penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) dilakukan guna meningkatkan efisiensi proses dan mengatasi kendala operasional proses.

4.7.2 Sistem Kerja Laboratorium

Laboratorium beroperasi selama 24 jam setiap hari dengan dua jenis kelompok kerja sebagai berikut.

1. Kelompok Shift

Bertugas dalam melakukan pengujian dan pemantauan proses produksi secara kontinu yang terbagi menjadi tiga shift dengan masing-masing 8 jam kerja.

2. Kelompok Non-Shift

Bertugas dalam melakukan analisa secara rutin, pengkalibrasian alat laboratorium, dan mendukung kegiatan pengembangan dengan metode analisis.

4.7.3 Program Kerja Laboratorium

Program kerja laboratorium dalam pabrik etilen oksida terbagi menjadi tiga kelompok sebagai berikut.

1. Laboratorium Pengamatan

Program kerja yang dilakukan meliputi pemeriksaan visual dan parameter fisik seperti warna, kejernihan, dan viskositas guna memastikan mutu produk sesuai dengan standar.

2. Laboratorium Analisa

Program kerja yang dilakukan meliputi pengujian kimia terhadap bahan baku, bahan penunjang, dan produk akhir. Termasuk analisa kadar zat, kandungan kontaminan, dan evaluasi mutu lingkungan.

3. Laboratorium Riset dan Pengembangan (R&D)

Program kerja yang dilakukan meliputi pengembangan formulasi, optimasi proses, serta percobaan laboratorium guna meningkatkan mutu produk dan efisiensi produksi.

4.8 Instrumentasi

Instrumentasi adalah komponen vital dalam sistem pengendalian proses dalam suatu pabrik, yang berfungsi untuk memonitor dan mengontrol parameter operasi meliputi, suhu, tekanan, level, dan laju alir agar memastikan bahwa proses berjalan dengan stabil, aman, dan menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi produk yang ditargetkan (Considine & McMilan, 1985).

4.8.1 Fungsi dan Peran Instrumentasi

Fungsi penggunaan dari adanya instrument yang dipasang pada perancangan pabrik etilen oksida ini, guna memastikan beberapa faktor sebagai berikut.

1. Memastikan parameter operasi berada dalam batas aman, sehingga keamanan operasional pabrik dan keselamatan kerja dapat terjaga, serta kestabilan proses.
2. Melakukan pengendalian variabel proses secara real time guna menjaga kualitas produk.
3. Pemantauan terhadap keseluruhan operasional proses oleh operator melalui sistem DCS (*Distributed Control System*) dan pencatatan otomatis melalui PHD (*Process History Data*).
4. Pemantauan terhadap emisi dan limbah secara ketat menggunakan alat ukur khusus guna menjaga kepatuhan terhadap regulasi lingkungan.

4.8.2 Jenis Instrumen yang Digunakan

Beberapa instrumen yang digunakan untuk kebutuhan proses produksi etilen oksida sebagai berikut.

1. *Pressure Transmitter*

Instrumen yang berfungsi untuk memantau tekanan di dalam reaktor dan jalur perpipaan sehingga memastikan bahwa proses tetap berada dalam batas aman dan optimal.

2. *Temperature Sensor (RTD/ Thermocouple)*

Instrumen yang berfungsi untuk mengontrol suhu reaksi agar tidak melebihi batas yang akan menyebabkan overreaksi atau pun risiko terjadinya ledakan.

3. *Flow Meter (Electromagnetic/ Vortex)*

Instrumen yang berfungsi untuk mengukur laju aliran gas etilena, udara, dan pendingin secara akurat, memastikan bahwa distribusi bahan baku dan utilitas berjalan dengan stabil.

4. Level Transmitter

Instrumen yang berfungsi untuk mengukur level bahan baku maupun produk pada tangki penyimpanan etilen oksida dan tangki reaktan, guna menjaga ketersediaan bahan dan mencegah *overflowing*.

5. Gas Analyzer

Instrumen yang berfungsi untuk memantau konsentrasi etilen oksida, oksigen, atau gas buangan, guna mengendalikan keamanan dan efisiensi pembakaran pada *flare stack*.

6. Alarm dan Indicator

Instrumen yang berfungsi untuk memberikan peringatan dini apabila terjadi penyimpangan yang signifikan terhadap batas nilai aman pengoperasian alat.

4.8.3 Sistem Monitoring dan Kontrol

Sistem monitoring dan kontrol dilakukan secara otomatis melalui DCS, dimana sinyal dari transmitter akan dikirimkan menuju controller, kemudian dibandingkan dengan set poin. Apabila terjadi deviasi, controller akan mengirimkan sinyal korektif ke final control element seperti valve dan actuator. Selain itu data historis akan dicatat di dalam sistem PHD yang berfungsi untuk menganalisa performa proses dan investigasi saat terjadi kegagalan di dalam sistem.

Sistem instrumentasi yang baik akan meningkatkan efisiensi, keamanan, dan keandalan proses produksi etilen oksida, serta mampu menghasilkan produk yang memiliki kualitas terbaik, konsisten, dan memenuhi standar lingkungan.