

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES

Unit pendukung proses atau unit utilitas merupakan sarana yang sangat penting bagi keberlangsungan operasional suatu pabrik kimia. Tanpa adanya unit utilitas, proses produksi utama dari bahan baku hingga menjadi produk akhir tidak dapat berjalan secara optimal. Pada pra-rancangan pabrik *Ethylene* dari *Ethanol* melalui proses dehidrasi katalitis ini, unit utilitas dirancang untuk menyediakan berbagai kebutuhan penunjang proses. Pabrik *Ethylene* ini direncanakan didirikan di Kawasan Industri Maspion, Gresik, Jawa Timur. Lokasi ini dipilih karena memiliki keunggulan strategis, infrastruktur pelabuhan yang memadai, serta ketersediaan pasokan energi dan air industri yang berkelanjutan. Utilitas pada pabrik ini meliputi:

- A. Unit Pengadaan dan Pengolahan Air
- B. Unit Pengadaan *Steam*
- C. Unit Pengadaan Udara Tekan
- D. Unit Laboratorium
- E. Unit Pengolahan Limbah

4.1 Unit Pengadaan dan Pengolahan Air

Unit penyediaan dan pengolahan air berfungsi untuk menyediakan seluruh kebutuhan air di dalam pabrik, baik untuk kebutuhan proses, penukar panas (air pendingin), air umpan sistem pembangkit *steam*, maupun untuk keperluan sanitasi domestik, laboratorium, serta pemadam kebakaran (*hydrant*). Kebutuhan air bersih di pabrik ini mengacu pada standar Air Bersih Kawasan Industri Maspion, Gresik, yang dikelola oleh PT Maspion WTP dengan memanfaatkan air baku dari Sungai Bengawan Solo. Berikut standar kualitas air industri yang dijadikan acuan untuk pengolahan lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Standar Acuan Kualitas Kawasan Industri Maspion

Jenis Air Industri	pH	Conductivity Max ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TOC Max (ppm)
Air Rumah Tangga / Domestik	6.5 – 8.5	500	10
Air Pendingin (<i>Cooling Water</i>)	6.5 – 8.0	1000	50

Jenis Air Industri	pH	Conductivity Max ($\mu\text{S/cm}$)	TOC Max (ppm)
Air Demineralisasi (<i>Demin Water</i>)	6.5 – 7.5	10.0	5
<i>Soft Water</i>	6.0 – 8.0	100	10
<i>Pure Water / WFI</i>	6.0 – 7.5	1.0	0.5
Air Hidran Pemadam Kebakaran	6.0 – 8.5	1500	100

(Fitriyawan et al., 2019)

4.1.1 Unit Penyediaan Air

Untuk memenuhi kebutuhan air dalam suatu pabrik, umumnya menggunakan air laut, air sungai, air danau, dan air sumur. Pada perancangan pabrik *ethylene* ini, kebutuhan air untuk pabrik *ethylene* diperoleh dari air sungai karena lokasi pabrik yang didirikan di Kawasan Industri Maspion, Gresik, cukup dekat dengan aliran hilir Sungai Bengawan Solo. Pada unit ini, air sungai yang mempunyai kandungan padatan tersuspensi (turbiditas) tinggi serta mineral terlarut perlu dihilangkan terlebih dahulu. Kandungan mineral terlarut (seperti kalsium, magnesium, dan silika) dapat menyebabkan terbentuknya kerak (*scaling*) jika masuk ke dalam alat pembangkit *steam (fired heater)*. Maka, sebelum diolah lebih lanjut, air sungai diproses melalui tahap pengolahan awal fisis kimia (koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi) serta demineralisasi terlebih dahulu. Kebutuhan air pabrik digunakan untuk:

a. Air Pendingin

Air pendingin digunakan sebagai media pendingin pada *desuperheater* untuk menurunkan temperatur uap hingga mencapai kondisi operasi yang diinginkan. Agar perpindahan panas tetap berlangsung secara optimal dan tidak terjadi pembentukan kerak (*scaling*), korosi, maupun *fouling* pada peralatan penukar panas, air pendingin harus melalui proses pengolahan (*water treatment*) secara fisik dan kimia.

Sistem air pendingin berfungsi menyerap panas dari peralatan proses sehingga mencegah terjadinya *overheating* dan menjaga kestabilan operasi pabrik. Air pendingin merupakan air yang digunakan sebagai media pelepas panas tanpa berkontak langsung dengan bahan baku, produk antara, maupun produk akhir (KEP-49/MENLH/11/2010).

Secara umum, sistem air pendingin dibedakan menjadi dua, yaitu sistem resirkulasi (*recirculating cooling water*) dan sistem sekali lewat (*once through cooling*

water). Pada sistem resirkulasi, sebagian air mengalami penguapan di *cooling tower* sehingga menyebabkan peningkatan konsentrasi *total dissolved solids* (TDS). Peningkatan TDS dapat memicu terbentuknya kerak pada peralatan, sehingga diperlukan proses *blowdown* serta penambahan *make up water* untuk menjaga kualitas air. Sementara itu, pada sistem sekali lewat, air pendingin hanya digunakan satu kali untuk menyerap panas, kemudian langsung dialirkan ke unit pengolahan atau dibuang sesuai dengan ketentuan lingkungan yang berlaku.

Pada pabrik *ethylene* ini digunakan sistem air pendingin *once through*. Pemilihan sistem ini didasarkan pada pertimbangan teknis dan ekonomis, yaitu memiliki investasi awal serta biaya operasi yang relatif lebih rendah dibandingkan sistem resirkulasi. Kualitas air pendingin dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kualitas Air Pendingin Sistem *Once Through*

Parameter	Nilai
Turbidinitas (NTU)	< 10
Konduktivitas (mhos/cm)	< 1000
pH	6,5 – 7,5
<i>Suspended Solid</i>	< 10
Total <i>Hardness</i> (ppm CaCO ₃)	< 100
Total Iron (ppm)	< 1,0
<i>Residual</i> Klorin (ppm)	0,5 – 1,0
<i>Silica</i> (ppm)	< 150
Total Kromate (ppm)	1,5 – 2,5

Sumber: (Petrokimia Gresik, 2025)

Hal-hal yang diperhatikan dalam pemilihan air pendingin

- Kesadahan (*hardness*) dan silica, dapat menyebabkan kerak
- Besi dan oksigen terlarut, dapat menimbulkan korosi
- 8 *Total Suspended Solid*, lumut yang dapat menyebabkan *fouling* (busa)

b. Air Umpan *Fired Heater*

Air umpan *fired heater* (*Fired Heater Feed Water*) merupakan air bebas mineral (demineralisasi) yang disiapkan khusus untuk menghasilkan *superheated steam* guna

mendukung kelangsungan proses reaksi dehidrasi katalitis *ethanol* menjadi *ethylene*. Pada proses pemanasan dan penguapan lanjut di dalam koil pipa (*tubes*) *fired heater*, uap yang terbentuk adalah uap murni bebas mineral (H_2O). Ion-ion terlarut yang tersisa di dalam fase cair tidak ikut menguap, sehingga konsentrasi kontaminan tersebut akan meningkat secara drastis seiring menguapnya air. Hal ini dapat memicu pengendapan langsung pada dinding bagian dalam pipa *heater* yang sangat berbahaya bagi keselamatan operasi alat.

Pada pra-rancangan pabrik *ethylene* dari *ethanol* ini, *fired heater* dirancang untuk memproduksi *superheated steam* bersuhu tinggi ($496.2^{\circ}C$) dengan tekanan 7.46 bar dengan kapasitas laju alir sebesar 322.484.55 kg/jam. Air pengisi *fired heater* ini terdiri atas campuran air kondensat panas sirkulasi kembali (76.19%) dan air tambahan segar (*make up water* segar sebesar 23.81%). Air umpan segar ini dipasok dari unit pengolahan air sungai (Sungai Bengawan Solo) yang telah bebas dari padatan tersuspensi melalui tahap koagulasi, sedimentasi, dan filtrasi, serta telah dihilangkan kandungan mineralnya melalui sistem demineralisasi (*cation anion exchanger*) dan *deaerator*.

Agar tidak terjadi kerusakan fatal berupa penipisan logam pipa akibat korosi atau pecahnya pipa koil akibat panas berlebih (*tube rupture*) pada *fired heater*, kualitas air umpan harus dikontrol ketat untuk meminimalkan parameter destruktif berikut:

- Kandungan yang memicu sifat korosifitas tinggi.
- Kandungan yang dapat menyebabkan pembentukan *scaling* (kerak tebal).
- Kandungan padatan tersuspensi yang dapat memicu ketidakstabilan penguapan (*foaming* atau *carryover*).

Beberapa hal penting yang wajib diperhatikan dalam penanganan air umpan *fired heater* suhu tinggi adalah sebagai berikut:

a. Zat-zat yang Menyebabkan Korosi

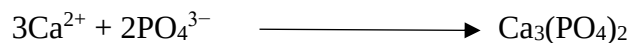
Korosi pada dasarnya merupakan proses degradasi logam pipa kembali menjadi bentuk oksidanya yang stabil secara termodinamika melalui reaksi elektrokimia yang rumit. Pada kondisi suhu tinggi di dalam *fired heater*, laju reaksi korosi akan berjalan berkali-kali lipat lebih cepat apabila pH air umpan rendah (bersifat asam), serta akibat adanya gas-gas terlarut korosif seperti oksigen (O_2), karbon dioksida (CO_2), hidrogen sulfida (H_2S), dan amonia (NH_3). Gas O_2 terlarut sangat berbahaya karena memicu korosi sumuran (*pitting corrosion*) yang dapat melubangi pipa logam dalam waktu singkat. Oleh karena itu, gas terlarut ini harus

dihilangkan hingga batas maksimum 0,01 ppm melalui kombinasi deaerasi mekanis dan injeksi bahan kimia pengikat oksigen (*oxygen scavenger*) berupa hidrazin (N_2H_4) di dalam unit *deaerator*.

b. Zat yang Menyebabkan Kerak (*Scale Forming*)

Pembentukan kerak padat disebabkan oleh adanya kesadahan (ion kalsium Ca^{2+} dan magnesium Mg^{2+}) serta silika (SiO_2) yang mengendap akibat suhu tinggi. Pada koil pipa *fired heater* pembakaran langsung, kerak bersifat sebagai isolator panas yang sangat kuat (konduktivitas termal sangat rendah). Hambatan termal ini menyebabkan panas dari gas pembakaran terakumulasi pada dinding luar logam pipa, menaikkan suhunya secara drastis melampaui batas ketahanan mekanis logam (*overheating*), yang berujung pada pecahnya pipa *heater (tube rupture)*. Untuk mencegah pembentukan kerak dari sisa-sisa kesadahan yang lolos dari unit demineralisasi, ditambahkan injeksi fosfat (PO_4^{3-}) ke dalam air umpan.

Reaksi pengendapan senyawa fosfat adalah sebagai berikut:



Endapan kalsium fosfat $Ca_3(PO_4)_2$ yang terbentuk berupa lumpur halus (*sludge*) non-adhesif yang melayang di dalam air (tidak menempel pada permukaan dalam pipa logam). Partikel terdispersi ini dapat dengan mudah dikeluarkan dari sistem perpipaan melalui proses pengosongan berkala (*blowdown*). Selain fosfat, polimer sintesis (seperti lignin, tanin, atau polielektrolit) juga ditambahkan untuk mengontrol kristal agar tetap berukuran mikro dan mencegah penggumpalan deposit.

c. Zat yang Menyebabkan Ketidakstabilan Aliran (*Foaming* dan *Carryover*)

Pembentukan busa (*foaming*) terjadi akibat adanya akumulasi zat organik, minyak, atau zat kimia terlarut yang tidak terkontrol di dalam air umpan. Pada penguapan di dalam pipa koil *fired heater*, busa atau fluktuasi cairan yang ekstrem akan memicu terjadinya fenomena *carryover* (terbawanya tetesan cairan kaya mineral ke koil pemanas lanjut/*superheater*). Tetesan cairan ini akan menguap kering seketika di dalam koil *superheater* bersuhu $496.2^\circ C$, meninggalkan deposit padatan kristal kering di dinding dalam pipa *superheater* yang mengakibatkan penyumbatan aliran steam, penurunan efisiensi panas, serta korosi suhu tinggi. Pencegahan fenomena ini dilakukan dengan menerapkan laju pembuangan air (*blowdown*) yang presisi dan menginjeksikan bahan pencegah busa (*anti foam*) berbasis poliamida atau poliglikol. Berikut merupakan spesifikasi untuk air umpan *fired heater* yang

mengacu pada PT. Petrokimia Gresik karena masih 1 daerah pada Gresik. Spesifikasi air umpan *fired heater* dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Spesifikasi Air Umpan *Fired Heater*

Parameter	Satuan	Syarat Baku Mutu	Hasil Analisa
pH	-	6,5-7,5	6,7
<i>Total Solid</i>	ppm	<100	30
<i>Total Suspended Solid</i>	Ppm	<40	8
<i>Total Alkalinity</i>	ppm	<30	11
Kadar SiO ₂	ppb	Maks. 200	0,01
Konduktivitas	µs/cm	<10	0,8
Kadar PO ₄	ppm	3-10	5
Kadar N ₂ H ₄	ppm	0,02-0,04	0,02
<i>Hardness</i>	ppm	0,1	0
Kadar Besi	ppm	Maks. 0,1	0,01

Sumber: (Petrokimia Gresik, 2025)

c. Air Konsumsi dan Sanitasi

Penggunaan air tidak hanya dibutuhkan untuk proses, tetapi juga dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan umum seperti air minum, air kantor dan masjid, air laboratorium dan air perumahan. Air yang digunakan untuk kebutuhan umum dan sanitasi harus memenuhi standar yang berlaku. Standar ini meliputi standar fisik dan standar kimia. Untuk standar fisik meliputi suhu air harus sama dengan suhu lingkungan, mempunyai warna yang bening/jernih dan tidak memiliki rasa dan bau. Sedangkan, untuk standar kimia adalah tidak mengandung zat yang beracun (zat organik maupun anorganik). Untuk memenuhi standar tersebut, air perlu diproses desalinasi dan klorinasi sehingga air dapat dikonsumsi untuk umum dan sanitasi.

d. Air Pemadam Kebakaran

Air pemadam kebakaran harus ada keberadaannya di setiap pabrik. Jika suatu waktu terjadi kebakaran pada pabrik, maka dapat diatasi dengan mudah dan cepat dengan air pemadam kebakaran. Air pemadam kebakaran ini juga disediakan setelah air laut melewati proses desalinasi.

Penyaluran air hidran dilakukan melalui pipa *hydrant* yang tersambung melalui saluran yang melintasi seluruh lokasi pabrik. Pipa pipa *hydrant* dipersiapkan pada lokasi-lokasi yang strategis disekitar pabrik, dengan pertimbangan kemudahan pencapaian pada semua lokasi pabrik.

4.1.2 Unit Pengolahan Air

Untuk mengubah air baku Sungai Bengawan Solo yang keruh dan mengandung mineral kesadahan menjadi air yang layak pakai sesuai kebutuhan masing-masing unit, Anda merancang rangkaian instalasi pengolahan fisis-kimia mandiri di dalam pabrik. Tahapan unit pengolahan air (WTP) adalah sebagai berikut:

1. Bak Penyadapan dan *Screening* Fisis

Air disadap langsung dari aliran sungai melalui pintu intake yang dilengkapi dengan kisi penyaring kasar (*bar screen*). Penyaringan fisis awal ini berfungsi menahan benda-benda padat makro seperti dedaunan, ranting kayu, sampah plastik, dan mikro organisme air agar tidak terisap masuk ke dalam pipa utilitas dan tidak merusak impeler pompa utilitas (Metcalf & Eddy, 2003).

2. Bak Prasedimentasi Gravitasi

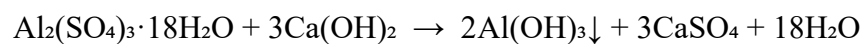
Air yang telah disaring mengalir masuk ke dalam Bak Prasedimentasi. Unit ini dirancang sebagai kolam pengendapan gravitasi murni tanpa tambahan bahan kimia dengan waktu tinggal (*retention time*) sekitar 1 hingga 2 jam. Partikel-partikel padat diskret berukuran besar seperti pasir halus, lanau, tanah liat kasar mata akan mengendap secara alami ke dasar kolam akibat perbedaan densitas. Tahap prasedimentasi ini sangat krusial untuk pengolahan air sungai guna meminimalkan beban padatan tersuspensi (TSS) dan menghemat pemakaian koagulan kimiawi pada unit berikutnya (Perry & Green, 2008).

3. Bak Koagulasi dan Flokulasi Kimiawi

Air dari bak prasedimentasi mengalir ke Bak Koagulasi-Flokulasi. Proses ini bertujuan mendestabilisasi muatan listrik koloid tanah yang melayang di dalam air (koloid bermuatan negatif) sehingga koloid tersebut saling tarik-menarik dan

membentuk flok mikro, yang kemudian digabungkan menjadi flok makro yang berat. Proses ini menginjeksikan dua bahan kimia utama secara proporsional:

- a. Koagulan Utama: Aluminium Sulfat atau Tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan dalam tangki Alum (TU-01) dan diinjeksikan secara cepat menggunakan pengaduk mekanis berkecepatan tinggi (*rapid mixer*)
- b. Co-Koagulan & pH Adjuster: Larutan Kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ditambahkan untuk menaikkan dan mempertahankan derajat keasaman air pada kondisi optimum pembentukan flok, yaitu pH 6,5 – 7,5 (Sincero & Sincero, 2003). Persamaan reaksi hidrolisis alum dan kalsium hidroksida di dalam bak koagulasi adalah sebagai berikut:



Endapan gelatin Aluminium Hidroksida $\text{Al}(\text{OH})_3\downarrow$ yang terbentuk memiliki struktur menyerupai jaring-jaring koloid lengket yang akan menyapu, mengikat, dan menjerat partikel koloid halus di sekitarnya sehingga membentuk makroflok yang mudah mengendap. Tanda endapan ($\downarrow$) menandakan produk berupa endapan (presipitat)

4. Bak Pengendap *Clarifier*

Air yang membawa flok makro dialirkan ke dalam Bak Pengendap Akhir atau *Clarifier*. Aliran dirancang sangat tenang untuk memberikan kesempatan kepada makroflok mengendap ke dasar bak *clarifier* akibat gaya berat. Lumpur padatan yang terkumpul di dasar bak dipompa keluar secara berkala menuju Unit IPAL, sedangkan air jernih (*supernatant*) di permukaan mengalir bebas melalui pelimpah gergaji (*notch weir*) menuju tahap filtrasi

5. Penyaringan *Sand Filter* Cepat

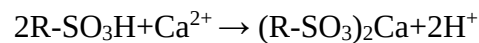
Air jernih dari *clarifier* dialirkan ke *Sand Filter* yang menggunakan media filter berlapis (pasir silika dan antrasit). *Sand Filter* berfungsi menyaring sisa-sisa flok mikro (pin-point flocs) dan padatan tersuspensi sangat halus yang masih lolos dari bak sedimentasi *clarifier*. Hasil penyaringan *Sand Filter* menghasilkan air bersih yang bebas dari kekeruhan ($\text{TSS} < 5 \text{ ppm}$) yang ditampung di Bak Penampung Air Bersih (BU-04) (AWWA, 2011)

6. Unit *Ion Exchanger*

Hasil penyaringan dari *Sand Filter* yang ditampung di Bak Penampung Air Bersih belum bebas dari kandungan mineral terlarut (kation dan anion). Kandungan

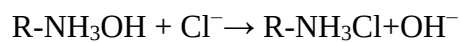
mineral terlarut (seperti kalsium, magnesium, dan silika) dapat menyebabkan terbentuknya kerak (*scaling*) jika masuk ke dalam koil pipa *fired heater* bersuhu tinggi. Oleh karena itu, air bersih tersebut diolah lebih lanjut menggunakan sistem penukar ion (*ion exchanger*) yang terdiri dari dua kolom utama

- a. Kolom Penukar Kation (*Cation Exchanger*): Kolom ini berisi resin penukar kation asam kuat yang berfungsi mengikat kation pengotor di dalam air seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan Na^+ , serta melepaskan ion hidrogen (H^+). Reaksi pengikatan kation adalah sebagai berikut:



Resin kation yang telah jenuh akan diregenerasi secara berkala menggunakan larutan Asam Klorida (HCl)

- b. Kolom Penukar Anion (*Anion Exchanger*): Air bersifat asam keluaran kolom kation dialirkan masuk ke dalam kolom penukar anion yang berisi resin basa kuat untuk mengikat anion terlarut seperti Cl^- , SO_4^{2-} , dan SiO_2 (silika), serta melepaskan ion hidroksil (OH^-). Reaksi pengikatan anion adalah sebagai berikut:



Resin anion yang telah jenuh akan diregenerasi secara berkala menggunakan larutan Natrium Hidroksida (NaOH).

Ion H^+ dan OH^- yang terlepas akan bereaksi membentuk air murni (H_2O) bebas mineral (*Demineralized Water*). Unit penukar ion ini dirancang untuk menghasilkan air umpan dengan kadar kesadahan (*hardness*) sebesar 0 ppm dan konduktivitas $<10 \mu\text{S/cm}$ sesuai dengan syarat mutu yang ketat. Air bebas mineral ini selanjutnya dialirkan menuju tangki penampung demin water sebelum masuk ke deaerator dan *fired heater*.

4.1.3 Kebutuhan Air

Secara umum penyediaan kebutuhan air baik untuk kebutuhan air proses, pendingin dan pada perancangan pabrik *ethylene* ini dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Kebutuhan Air Pendingin

No.	Nama Alat	Kebutuhan (kg/jam)
1	<i>Desuperheater</i>	154.273
Total		154.273

- Jumlah kebutuhan air untuk pendingin sebesar = 154.273 kg/jam
- Densitas air pada 28 °C (Perry, 2008) = 996.23 kg/m³
- Jadi total kebutuhan air pendingin = 154.273 m³/jam
- Kebutuhan dikali 24 jam sehari = 3.702.552 m³/hari
- Diperkirakan terjadi penguapan air saat proses pendinginan pada *cooling water* sebesar 10%
 $10\% \times 3.702.552 = 370.2552 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Kebutuhan make up air pendingin :
 $= 3.702.552 \text{ m}^3/\text{hari} + 370.2552 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $= 4.072.8072 \text{ m}^3/\text{hari}$

4.1.3.1 Kebutuhan Air Domestik

Berikut jumlah kebutuhan air sanitasi yang dibutuhkan :

- Air untuk karyawan kantor
Kebutuhan air untuk karyawan sebesar 50 L/orang/hari
Jumlah karyawan sebanyak 148 orang
Sehingga air yang diperlukan sebanyak = 148 orang x 50 L/orang/hari
 $= 7.000 \text{ L/hari}$
 $= 7.0 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Air untuk laboratorium direncanakan 20% dari kebutuhan karyawan
Kebutuhan laboratorium = 20% x 7.000 L/hari = 1.400 L/hari
 $= 1.4 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Air untuk Hidran dan Cadangan Air
Luas bangunan = 19.770 m²

Luas bangunan indoor = 8.770 m^2

Luas bangunan outdoor 11.000 m^2

Perencanaan air hidran berdasarkan Rafianza et al, (2024) mengacu pada SNI 03-1735-2000 dan NPFA, luas bangunan yang direnakan adalah 19.770 m^2

- Hydrant indoor

$Q = 400 \text{ L/menit}$

T operasi = 30 menit

Kebutuhan *hydrant box* = 9 buah

Hydrant pilar

$< 1.000 \text{ m}^2$ yaitu 2 *hydrant pilar*

Dimana setiap tambahan 1000 m^2 *hydrant pilar* ada 1 *hydrant pilar*

$Q = 1.200 \text{ L/menit}$

T = 45 menit

Jumlah *hydrant pilar* = 12 buah

Maka Total Kebutuhan Air *Hydrant*

Kebutuhan air *hydrant box* = 108.000 L

Kebutuhan air *hydrant box* = 108 m^3

Kebutuhan *hydrant pilar* = $12 \times 1.200 \text{ L/menit} \times 45 \text{ menit} = 648.000 \text{ L}$

$= 648 \text{ m}^3$

Total Kebutuhan air *hydrant* = 756 m^3

4.2 Unit Pengadaan *Steam*

Untuk menghasilkan *steam* yang digunakan untuk proses pabrik adalah dengan *Fired Heater*. Pabrik *ethylene* ini menggunakan *steam* untuk memenuhi kebutuhan panas pada alat *Vaporizer* untuk *start up* dan kebutuhan proses. Berikut merupakan total kebutuhan *steam* pada pabrik *ethylene* pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Kebutuhan *Steam*

No.	Nama Alat	Kebutuhan (kg/jam)
1	Air Proses	314.632.46
2	Vaporizer (E-113) (<i>Start Up</i>)	7.852.09
Total		322.484.5489

4.2.1 Kebutuhan *Steam* Total

Kebutuhan *steam* bersih adalah:

- *Steam* untuk Proses: 314.632.46 kg/jam
- *Steam* untuk Vaporizer (Start-up): 7.852.09 kg/jam
- Total *Steam* Bersih (*mraw*): 322.484.5489 kg/jam
- Kebutuhan Air Untuk *Steam* : $322.484.5489 / 1000 = 3.224.845.489 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Kebutuhan Air *Steam* Per Hari : $3.224.845.489 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24 = 7.739.629.173 \text{ m}^3/\text{jam}$

Untuk mengantisipasi kehilangan uap (*steam loss*) di sepanjang jaringan pipa distribusi, diterapkan faktor keamanan sebesar 0% :

$$\text{Steam Total} = 322.484,5489 \text{ kg/jam} \times 1.2 = 386.981.4587 \text{ kg/jam}$$

Konversi ke satuan imperial:

$$\text{Steam Total} = 386.981.4587 \text{ kg/jam} \times 2.20462262 \text{ lb/kg} = 853.148.0773 \text{ lb/jam}$$

4.2.2 Perhitungan Neraca Air

Mengikuti metodologi neraca air utilitas standar dengan *Blowdown* sebesar 5% dan Kondensat Kembali sebesar 80% dari *steam* yang dihasilkan:

1. *Blowdown* (5% dari *steam* yang dihasilkan):

$$\text{Blowdown} = 5\% \times 853.148.0773 \text{ lb/jam} = 42.657.4039 \text{ lb/jam}$$

2. Umpan Air Masuk *Fired Heater*:

$$\text{Air Masuk} = \text{Blowdown} + \text{Steam Generated:}$$

$$42.657.4039 + 853.148.0773 = 895.805.4812 \text{ lb/jam}$$

3. Kondensat yang Kembali (80% dari uap jenuh):

$$\text{Kondensat Kembali} = 80\% \times 853.148.0773 \text{ lb/jam} = 682.518.4619 \text{ lb/jam}$$

4. Kondensat yang Hilang:

$$\text{Air Masuk} - \text{Kondensat Kembali} = 895.805.4812 - 682.518.4619 = 213.287,0193 \text{ lb/jam}$$

5. Air *Make up* tambahan (*Fresh Feed Water*) : Sisa air hilang dari kondensat + Kondensat Kembali

$$= 213.287.0193 \text{ (23.81\% dari air masuk)} + 682.518.4619 = 895.805.4812 \text{ lb/jam}$$

6. Persentase Air *Make up* terhadap air umpan masuk:

$$\% \text{ Make up} = 895.805.4812 / 255.944,4232 \times 100\% = 28,57\%$$

7. Persentase Kondensat Kembali terhadap air umpan masuk:

$$\% \text{ Kondensat Kembali} = 895.805.4812 / 682.518.4619 \times 100\% = 76,19\%$$

4.2.4 Perhitungan Enthalpi Dan Beban Panas (Q)

a. Entalpi Air Umpan Masuk (H_f)

Air umpan masuk terdiri dari campuran air make-up pada suhu 30 °C (86 °F) dan air kondensat jenuh pada suhu saturasi.

- Entalpi air make-up (30 °C):

$$h_{liq, 30^\circ C} = 54,03 \text{ Btu/lb}$$

- Entalpi air kondensat jenuh pada tekanan 7.46 bar ($T_{sat} = 167,5^\circ C$):

$$h_{f, sat} = 304,47 \text{ Btu/lb (setara dengan 708,20 kJ/kg)}$$

Menggunakan rumus pencampuran entalpi:

$$H_f = (\% \text{ Make-up} \times h_{liq, 30^\circ C}) + (\% \text{ Kondensat} \times h_{f, sat})$$

$$H_f = (0.2381 \times 54,03) + (0.7619 \times 304.4706) = 244.83 \text{ Btu/lb}$$

4.2.4 Evaluasi dan Perhitungan Kapasitas *Fired Heater*

1. Uap Superpanas (Superheated Steam pada 7.46 bar 496.2 °C)

Dari tabel uap superheated pada tekanan 0.746 Mpa dan suhu 496.2 °C diperoleh:

$$H_{steam} = 3.413.14 \text{ kJ/kg} = 1.467.3842 \text{ Btu/lb}$$

c. Perhitungan Beban Panas (Q)

$$Q = m \times (H_{steam} - H_f)$$

$$Q = 853.148.0773 \text{ lb/jam} \times (1.467.3842 - 247.4147)$$

$$= 1.040.814.593.98 \text{ Btu/jam}$$

Dalam Satuan Energi Modern:

$$Q = 305.03 \text{ MW}$$

d. Kapasitas *Fired Heater* dalam *Boiler Horsepower* (Hp)

$$\text{Hp} = 970.3 \times 34.5 \text{ Q}$$

$$\text{Hp} = 33.475.351.040.814.593,98 = 31.091.97 \text{ Hp}$$

e. Luas Bidang Pemanasan (*Heating Surface Area, A*)

- Metode Severn (Standard Boiler):

$$A = 10 \text{ ft}^2/\text{Hp} \times 31.091.97$$

$$\text{Hp} = 310.919.70 \text{ ft}^2$$

- Metode Desain *Fired Heater* Modern (Berdasarkan Heat Flux):

Untuk tipe tabung radiasi *fired heater*, fluks panas rata-rata (q/A) yang diizinkan adalah sebesar 10.000 Btu/jam.ft² untuk menjaga keamanan pipa:

$$\text{Aradiant} = 10.000 \text{ Q}$$

$$= 10.000 \times 1.040.814.593,98$$

$$= 104.081,46 \text{ ft}^2$$

a) Perhitungan Beban Panas (Q)

$$Q = 853.148,0773 \text{ lb/jam} \times (1.188,8779 - 247,4147)$$

$$= 803.207.480,98 \text{ Btu/jam}$$

Dalam Satuan Energi Modern:

$$Q = 235,39 \text{ MW}$$

b) Kapasitas *Fired Heater* dalam *Boiler Horsepower*

$$\text{Hp} = 33.475,35803 \times 207.480,98 = 23.994,00 \text{ Hp}$$

c) Luas Bidang Pemanasan (*Heating Surface Area, A*)

- Metode Severn:

$$A = 10 \text{ ft}^2/\text{Hp} \times 23.994,00$$

$$\text{Hp} = 239.939,98 \text{ ft}^2$$

- Metode Desain *Fired Heater* (*Heat Flux* = 10.000 Btu/jam.ft²):

$$\text{Aradiant} = 10.000 \times 803.207.480,98$$

$$=80.320,75 \text{ ft}^2$$

4.2.5 Perhitungan Bahan Bakar *Fired Heater*

Spesifikasi bahan bakar menggunakan Minyak Residu (*Fuel Oil Grade 4*):

- *Heating Value* (NHV) = 19.676 Btu/lb
- Densitas = 59.32 lb/ft³
- *Specific Gravity* (SG) = 0,8691
- Efisiensi Fired Heater (*n*) = 80%

1. Laju Alir Massa Bahan Bakar (*mf*)

$$Mf = n \times \text{NHV}Q$$

$$mf = 0,80 \times 196.761.040.814.593,98$$

$$= 66.122,09 \text{ lb/jam}$$

2. Laju Alir Volume Bahan Bakar (*V*)

$$V = \text{Densitas}mf$$

$$V = 59,32 \text{ lb/ft}^3 \times 66.122,09 \text{ lb/jam}$$

$$=1.114,67 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$=31,56 \text{ m}^3/\text{jam}$$

4.2.6 Estimasi *Steam* Bulanan

Dengan asumsi pabrik beroperasi secara kontinyu selama 24 jam/hari dan 30 hari/bulan (total 720 jam operasi/bulan):

1. Kebutuhan *Steam* Bulanan

$$\text{Steam Bulanan} = 386.981,4587 \text{ kg/jam} \times 720 \text{ jam}$$

$$= 278.626.650,25 \text{ kg/bulan}$$

2. Kebutuhan Bahan Bakar Bulanan

$$\text{Volume BBM} = 31,5639 \text{ m}^3/\text{jam} \times 720 \text{ jam}$$

$$= 22.725,99 \text{ m}^3/\text{bulan} \text{ (22.725.990 Liter/bulan)}$$

4.3 Unit Pengadaan Udara Tekan

Udara tekan berfungsi untuk mengkonversi energi dengan cara memampatkan udara di sekitarnya dengan memanfaatkan peralatan pneumatic. Sebagai udara instrumentasi, udara tekan bermanfaat untuk membuka katup pada daerah yang berbahaya jika dioperasikan langsung oleh manusia pada kondisi panas, bahan kimia berbahaya, dan tegangan listrik tinggi. Penggunaan udara tekan memungkinkan lebih kecilnya daya yang dikeluarkan manusia juga mempersingkat waktu pengerjaan.

Untuk mendapatkan udara yang diinginkan pada pabrik maka digunakan alat kompresor. Kompresor merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengatur besar kecilnya tekanan yang dihasilkan.

Udara tekan yang dihasilkan dengan kompresor mempunyai kelebihan dibandingkan dengan listrik dan tenaga hidrolik dalam hal konstruksi dan operasi mesin yang sederhana, pemeliharaan dan pemeriksaan mesin dan peralatan mudah, harga mesin dan peralatan lebih murah, kebocoran udara tidak membahayakan maupun menimbulkan pencemaran. Pengadaan system udara tekan terdiri dari komponen sebagai berikut :

1. Filter Udara Masuk

Mencegah debu yang dapat menyebabkan lengketnya *valve* masuk kompresor.

2. Pendingin Antar Tahap

Menggunakan air pendingin untuk menurunkan suhu udara sebelum masuk ke tahap berikutnya untuk meringankan kerja alat kompresor.

3. *After Cooler*

Menurunkan suhu dalam alat penukar panas sehingga kadar air dalam udara dapat berkurang.

4. Pengering Udara

Memanfaatkan adsorben seperti silika, karbon aktif, pengering refrigerant, atau panas dari pengering kompresor itu sendiri untuk menghilangkan sisa kadar air setelah *after cooler* karena udara tekan untuk keperluan instrument dan peralatan *pneumatic* harus bebas dari kadar air.

5. Traps Pengeluaran Kadar Air

Trap pengeluaran kadar air digunakan untuk membuang kadar air dalam udara tekan

4.4 Kebutuhan Listrik

4.4.1 Keperluan Proses

Total kebutuhan listrik proses dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Total Kebutuhan Listrik Proses

Nama Alat	HP	Jumlah	Total HP
<i>Reactor</i>	0	1	0
Pompa sentrifugal	17	2	34
<i>Vaporizer</i>	0	1	0
<i>Heater</i>	0	1	0
<i>Coller</i>	0	1	0
<i>Condenser</i>	0	1	0
<i>Compressor</i>	995	1	995
TOTAL			1029

Sumber: Dokumen Pribadi Penulis

4.4.2 Keperluan Utilitas

Total kebutuhan Listrik utilitas dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Total Kebutuhan Listrik Utilitas

Nama Alat	HP	Jumlah	Total HP
<i>Fired Heater</i>	500	1	500
<i>Electric Heater</i>	350	1	350
Strainer	50	1	50
<i>Decarbonator</i>	50	2	100
<i>Dearator</i>	50	1	50
Pompa	25	2	50
Ion Exchanger	50	1	50
<i>Compressor</i>	995	2	1990
<i>Blower</i>	150	1	150
<i>Filter Air Dryer</i>	50	2	100
TOTAL			3390

Sumber: Dokumen Pribadi Penulis

4.4.3 Keperluan Listrik untuk Penerangan dan Air Conditioner

Listrik untuk penerangan dan ac = 209.65 HP

Maka total keperluan Listrik = Keperluan Proses + Keperluan utilitas + Keperluan listrik penerangan dan AC = 4.682 HP

$$=3.452 \text{ KWH}$$

4.5 Unit Laboratorium

Bagian laboratorium memegang peranan penting dalam suatu pabrik, karena dari laboratorium ini data-data tentang raw material dan produk akan diperoleh. Secara garis besar, tugas laboratorium adalah melaksanakan pengamatan bahan baku, bahan pembantu, produk utama, dan produk samping agar spesifikasi yang diinginkan dapat terpenuhi. Dengan data-data yang diberikan maka proses produksi akan selalu dapat dikontrol dan dijaga standar mutu sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Selain itu juga dapat digunakan untuk menganalisa baku mutu limbah yang keluar dari unit pengolahan limbah yang ada di pabrik.

Tugas dan fungsi utama Laboratorium adalah pencatatan, pelaporan, dan menganalisa factor penyebab terjadinya penyimpangan kualitas bahan baku, produk, metode kerja, serta manusia.

1. Pengendalian Mutu Produk (*Quality Control*)

Pengertian pengendalian mutu adalah kegiatan terpadu mulai dari pengendalian standar kualitas mutu bahan, standar proses produksi, barang setengah jadi, barang jadi, hingga ke standar pengiriman produk akhir ke konsumen agar barang (jasa) yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi mutu yang direncanakan.

2. Pengendalian Baku Mutu Lingkungan

Program kegiatan ini mencakup Analisa limbah hasil proses produksi seperti limbah cair, limbah gas. Selain itu menganalisa limbah yang telah diolah melalui unit pengolahan limbah sebelum melakukan pembuangan ke lingkungan, dan menganalisa buangan *coolingwater* ke sungai kembali yang telah digunakan pada unit alat proses.

3. Penelitian dan Pengembangan (*Research and Development*)

Penelitian dan pengembangan bermanfaat dalam mengatasi permasalahan yang berhubungan dengan kualitas material terkait dalam proses untuk meningkatkan hasil produk dan mengimbangi kebutuhan pasar. Kegiatan utama yang digunakan untuk menunjang kegiatan di laboratorium adalah sebagai berikut :

4.5.1 Analisis Bahan Baku (Umpan *Ethanol*)

A. Kadar Air dalam *Ethanol* (*Karl Fischer Titration*)

- Tujuan: menentukan kadar air dalam umpan *ethanol*, karena kadar air yang berlebih pada umpan reaktor dehidrasi akan menurunkan konversi kesetimbangan reaksi dan dapat mempercepat deaktivasi katalis alumina (Kocher et al., 1981). Pengujian

dilakukan mengacu pada metode standar ASTM E203 (*Standard Test Method for Water Using Volumetric Karl Fischer Titration*).

- Peralatan: titrator *Karl Fischer* otomatis, buret, labu erlenmeyer bertutup, pipet mikro.
- Cara Uji: sampel *ethanol* diinjeksikan ke dalam sel titrasi yang berisi reagen *Karl Fischer* (campuran iodin, sulfur dioksida, basa, dan pelarut alkohol); titik akhir titrasi ditentukan secara otomatis melalui deteksi elektrokimia (biamperometri), dan kadar air dihitung dari volume reagen yang terpakai dikalikan faktor kesetaraan air reagen (mg H₂O/mL), dibagi massa sampel.

B. Kemurnian *Ethanol* (Gas Chromatography dan Densitometri)

- Tujuan: menentukan kemurnian *ethanol* umpan (persen berat *ethanol* terhadap air dan pengotor lain seperti metanol/fusel oil pada *ethanol* hasil fermentasi/distilasi), menggunakan kromatografi gas (GC) dengan detektor FID (*Flame Ionization Detector*) mengacu pada ASTM D5501 (*Standard Test Method for Determination of Ethanol Content of Denaturated Fuel Ethanol by Gas Chromatography*), serta pengukuran densitas/indeks bias sebagai metode pelengkap yang lebih cepat (mengacu OIML R22/ASTM D4052)
- Peralatan: seperangkat GC-FID dengan kolom kapiler polar, piknometer atau densitometer digital, refraktometer.
- Cara Uji: sampel diinjeksikan ke dalam kolom GC, dipisahkan berdasarkan titik didih komponen, dan dideteksi oleh FID kadar *ethanol* dihitung dari luas puncak (peak area) kromatogram dibandingkan terhadap kurva kalibrasi standar *ethanol* murni.

4.5.2 Analisis Produk (*Ethylene*):

A. Kemurnian *Ethylene* (Gas Chromatography)

- Tujuan: menentukan kemurnian produk *ethylene* serta kandungan pengotor seperti etana, propilena, dietil eter, asetaldehida, dan air, yang merupakan produk samping reaksi dehidrasi katalitik *ethanol*. Pengujian mengacu pada ASTM D6420 atau metode GC-TCD/FID setara untuk analisis gas hidrokarbon ringan.
- Peralatan: seperangkat GC dengan kolom PLOT (*Porous Layer Open Tubular*) untuk pemisahan gas hidrokarbon ringan, dilengkapi detektor TCD (Thermal Conductivity Detector) dan/atau FID.
- Cara Uji: sampel gas produk diambil melalui sampling *valve* bertekanan, diinjeksikan ke kolom GC, dan dianalisis komposisinya; kemurnian *ethylene* dihitung dari

persentase area puncak *ethylene* terhadap total area seluruh komponen terdeteksi. Spesifikasi kemurnian *ethylene* grade kimia (*chemical grade*) umumnya mensyaratkan kadar *ethylene* minimal 99.5%.

B. Air dalam Produk *Ethylene* (*Dew Point*)

- Tujuan: memastikan produk *ethylene* memenuhi spesifikasi kadar air maksimum yang dipersyaratkan konsumen (grade polimerisasi dan agroindustri umumnya mensyaratkan kadar air sangat rendah, dalam orde ppm), menggunakan metode *dew point analyzer* untuk gas (ASTM D6304).

4.5.3 Pemantauan Aktivitas Katalis

Bertujuan untuk memantau tingkat konversi dan selektivitas katalis alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) sepanjang siklus operasinya, karena aktivitas katalis dehidrasi *ethanol* akan menurun seiring waktu akibat pembentukan kokas (*coking*) dan *sintering* permukaan aktif (Kocher et al., 1981). Pemantauan dilakukan melalui analisis komposisi umpan dan produk reaktor secara berkala menggunakan GC. dengan perhitungan konversi dan selektivitas sebagai berikut:

$$X_{\text{EtOH}} = (F_{\text{EtOH, masuk}} - F_{\text{EtOH, keluar}}) / F_{\text{EtOH, masuk}} \times 100\%$$

Dengan X_{EtOH} adalah konversi *ethanol* (%), dan F_{EtOH} adalah laju alir molar *ethanol* pada masing-masing titik pengukuran (kmol/jam). Penurunan konversi secara signifikan dari nilai desain menjadi indikator perlunya regenerasi atau penggantian katalis.

4.5.4 Analisis Limbah Cair

Bertujuan untuk memantau baku mutu air limbah sebelum dibuang ke badan air penerima, mencakup parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), pH, *Total Suspended Solid* (TSS), dan kadar *ethanol* sisa/senyawa organik volatil, mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Petrokimia Hulu (PermenLHK No. P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 dan perubahannya)

Peralatan yang digunakan antara lain spektrofotometer UV-Vis (untuk COD), inkubator BOD, pH meter, kertas saring/oven (untuk TSS), serta GC (untuk kadar *ethanol* residual pada limbah cair).

4.6 Unit Pengolahan Limbah

4.6.1 Limbah cair

Limbah cair berasal dari air bocoran-bocoran proses, buangan utilitas, serta limbah buangan sanitasi dari kamar mandi, dan dapur. Limbah ini dapat diolah dengan cara :

1. Reaktor UASB / *Reaktor anaerobic*

Di dalam *reactor upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) ini, air limbah akan melewati lumpur anaerobic berbentuk granular. Kemudian, memisahkan larutan dengan biogas dengan memanfaatkan separator 3 fasa (air lumpur biogas) yang ada pada bagian atas reactor. Sedangkan, lumpur bakteri keluar dari blanket, yang kemudian kembali ke reactor. *Efluent reactor anaerobic* mengalir ke tangki aerasi dimana BOD dan COD air limbah diturunkan lebih lanjut sampai di bawah batas yang ditetapkan oleh pemerintah. Biogas yang terbentuk dari *reactor anaerobic* dibakar.

2. Reaktor Aerobik

Air limbah yang keluar dari reactor UASB diolah kembali dengan menggunakan mikroorganisme *aerobic*. Aerasi diperlukan pada *reactor* ini untuk keperluan mikroorganisme dan juga untuk pengadukan. Dalam *reactor* ini senyawa-senyawa dalam air limbah diubah menjadi mikroba baru dan senyawa yang lebih sederhana.

Hasil dari reaktor *aerobic* kemudian dialirkan ke clarifier agar mikroorganisme yang terikut dapat terendapkan. Sebagian lumpur yang terendapkan didaur ulang ke *reactor aerobic* dan Sebagian lagi dipompa ke tangki lumpur untuk dikurangi kadar airnya (*dewatering*).

4.6.2 Limbah Padat

Limbah padat berupa sludge yang dihasilkan dari unit pengolahan air dan juga kegiatan domestic rumah tangga. Limbah padat dari unit pengolahan air akan dikurangi kadar airnya sehingga dapat dijadikan sebagai pupuk. Limbah rumah tangga akan dibuang ke tempat pembuangan akhir. Selanjutnya, solusi pengolahan pertama yang bisa dilakukan pada limbah padat adalah penimbunan terbuka. Limbah padat dibagi menjadi *organic* dan juga *non organic*. Limbah padat *organic* akan lebih baik ditimbun, karena akan diuraikan oleh organisme-organisme pengurai sehingga akan membuat tanah menjadi lebih subur. Kemudian, *sanitary landfill* dengan menggunakan lubang yang sudah dilapisi tanah liat.

4.7 Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lingkungan Hidup (K3LH)

Gas *ethylene* merupakan gas hidrokarbon tak jenuh yang memiliki sifat sangat mudah terbakar (*highly flammable*) serta dapat membentuk campuran eksplosif dengan udara pada rentang konsentrasi 2,7% - 36%. Oleh karena itu, aspek K3LH dirancang sangat ketat mengikuti UU No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja. Pabrik dilengkapi dengan sistem pemadam kebakaran hidran pilar (*hydrant pillar*) luar ruangan, hidran kotak dalam ruangan sebanyak, sistem detektor kebocoran gas otomatis, serta jalur evakuasi darurat yang jelas bagi seluruh pekerja.

4.8 Instrumentasi

Untuk menjaga kondisi operasi pabrik tetap stabil, aman, dan efisien, seluruh parameter proses utama dikontrol menggunakan sistem instrumentasi otomatis terpusat (*Distributed Control System – DCS*) dengan loop kontrol berikut:

1. *Flow Control* (FC): Mengendalikan laju alir pada alat proses
2. *Temperature Control* (TC): Mengatur suhu pada alat proses
3. *Level Control* (LC): Mengontrol secara otomatis batas *level* cairan di dalam vessel alat proses