

BAB IV. UNIT PENDUKUNG PROSES

Fasilitas penunjang proses atau yang dikenal sebagai unit utilitas merupakan kebutuhan utama agar pabrik dapat beroperasi dengan baik. Utilitas mempunyai peranan yang sangat vital dalam lingkungan pabrik karena bertanggung jawab memenuhi seluruh kebutuhan penunjang, mulai dari tahap awal proses hingga dihasilkannya produk akhir. Pada pabrik propilen glikol, utilitas yang tersedia mencakup:

1. Unit Pengolahan dan Penyediaan Air (*Water Treatment System*)
2. Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)
3. Unit Pembangkit Uap (*Steam Generation System*)
4. Unit Penyediaan Udara Instrumen (*Power Air System*)
5. Unit Laboratorium
6. Unit Pengolahan Limbah

4.1 Unit Pengadaan dan Pengolahan Air

4.1.1 Unit Penyedia Air

Air laut menjadi sumber utama yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan operasional pabrik. Air tersebut difungsikan sebagai air umpan sanitasi, air minum, air pendingin, air pemadam kebakaran, maupun air umpan boiler. Proses produksi propilen glikol mengharuskan air yang digunakan telah melalaui proses demineralisasi terlebih dahulu agar terbebas dari kandungan mineral dan kontaminan yang berpotensi menimbulkan kerak serta korosi pada peralatan. Pemilihan air laut sebagai sumber utama didasarkan pada sejumlah pertimbangan, diantaranya yakni:

- Lokasi pabrik yang berada di dekat kawasan pesisir
- Air laut tersedia secara berkelanjutan dengan tingkat ketersediaan yang tinggi sehingga risiko kekeringan relatif rendah
- Air laut dapat diperoleh dalam jumlah besar dan bersifat kontinyu

Air laut juga memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan, diantaranya yaitu:

- Memerlukan tahapan pemurnian sebelum digunakan
- Memerlukan spesifikasi material yang memiliki ketahanan terhadap korosi

Berdasarkan hal tersebut, air yang bersumber dari air laut perlu diolah terlebih dahulu agar memenuhi persyaratan kelayakan sebagai air proses. Berikut spesifikasi jenis air yang dihasilkan oleh unit penyediaan air

a. Air Pendingin

Air pendingin yang digunakan merupakan air yang bersumber dari air laut dengan lokasi yang tidak jauh dari area pabrik. Air laut sebagai air pendingin digunakan dengan sistem sekali pakai (*once through*), kemudian dikembalikan ke lingkungan melalui *outfall*. Persyaratan air pendingin secara umum mengacu pada standar ASME (1994) sebagaimana tercantum pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Syarat Air Pendingin

Parameter	Air Pendingin	
	<i>Circulating Water</i>	<i>Make up Water</i>
pH	6,5 – 8,5	6,0 – 8,4
Konduktivitas elektrik (mS/I)	< 80	< 30
Klorida (mg/I)	< 200	< 50
Sulfat (mg/I)	< 200	< 50
Alkali (mg/I)	< 100	< 50
Total <i>Hardness</i> (mg/I)	< 250	< 70
Kalsium (mg/I)	< 150	< 50
Silika (mg/I)	< 40	< 30

Persyaratan *outfall* yang telah mendapat persetujuan dari Kementerian Lingkungan Hidup mencakup, tidak mengandung limbah B3, bebas dari kandungan minyak dan turunannya, aman dari bahan kimia, serta suhu yang diizinkan maksimal 40C. Ketentuan tersebut juga mengacu pada persyaratan baku mutu air limbah industri yang diatur dalam peraturan Menteri LH RI No. 5 Tahun 2021 tentang baku mutu air limbah.

Air pendingin digunakan sebagai media penyerap panas pada alat penukar panas yang membutuhkan pendinginan, yaitu reactor fixed bed, kondensir flash drum, kondensor reflux kolom distilasi 1, 2 dan 3 serta *cooler*. Kebutuhan air pendingin dihitung berdasarkan beban panas yang harus dilepas oleh masing-masing alat, dengan asumsi air pendingin bersikulasi melalui cooling tower. Kebutuhan air pendingin pada pabrik propilen glikol dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Kebutuhan Air Pendingin pada Proses

Nama Alat	Kebutuhan Air Pendingin (kg/jam)
Reaktor Fixed Bed	1.276.585,60
Kondensor Flash Drum	302.096,25
Kondensor Distilasi 1 (Reflux)	7.539,51
Cooler 1	6.646,37
Kondensor Distilasi 2 (Reflux)	2.942,95
Cooler 2	3.496,14
Kondensor Distilasi 3	6.539,51
Total	1.599.306,81
Total (m ³ /jam)	1.599,31

b. Air Hydrant

Kebutuhan air *hydrant* merupakan bagian utilitas pabrik yang sangat penting, terutama apabila terjadi kebakaran pada salah satu area pabrik. Penyaluran air *hydrant* dilakukan melalui jaringan pipa yang melintas di seluruh lokasi pabrik. Air *hydrant* yang digunakan bersumber dari unit Desalinasi. Beberapa peralatan seperti *roll hydrant*, *connector*, dan *valve* ditempatkan di sejumlah titik strategis dengan tujuan utama agar mudah dijangkau di seluruh area pabrik. Total kebutuhan air pemadam kebakaran pada pabrik propilen glikol ditetapkan sebesar 140% dari total air sanitasi dan air laboratorium yakni sebesar 2.066,40 kg/jam.

c. Air Umpan Boiler

Air umpan boiler digunakan pada unit boiler untuk menghasilkan steam guna menunjang kelangsungan proses. Persyaratan air umpan boiler yang harus dipenuhi karena memiliki beberapa dampak sebagai berikut:

- Total *hardness* (kekerasan) yang diperbolehkan pada air umpan kurang dari 0,1. Apabila melebihi batas yang diperbolehkan, hal ini dapat memicu terbentuknya kerak
- Nilai pH yang diizinkan untuk umpan air boiler berada pada rentang 7,5 -10. Apabila melampaui batas tersebut, kondisi ini berpotensi menimbulkan korosi

- Kandungan oksigen dalam air harus dijaga pada batas tertentu, yakni maksimal 0,04 mg/L. Kandungan oksigen yang berlebih dapat mengakibatkan terjadinya korosi pada boiler
- Kandungan silika dalam air juga dibatasi pada rentang 35-150 mg/L. Apabila melampaui batas ditentukan, hal ini dapat memicu terbentuknya kerak

Persyaratan air umpan boiler berdasarkan standar ASME (1994), dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Syarat Air Umpan Boiler (ASME, 1994)

Parameter	Satuan	Pengendalian Batas
<i>Total Hardness</i>	mg/L	0,1
pH	Unit	7,5 – 10
Oksigen terlarut	mg/L	0,04
Silika	mg/L	150
Fe	mg/L	0,1

Air yang memiliki spesifikasi seperti yang tercantum pada Tabel 4.1 harus menjalani proses *treatment* eksternal maupun internal sebelum dapat memenuhi persyaratan sebagai air umpan boiler pada Tabel 4.3. *Treatment* eksternal merupakan perlakuan terhadap air laut sebelum masuk ke unit pembangkit uap, yang meliputi proses klorinasi, desalinasi, dan demineralisasi. Adapun *treatment* internal merupakan perlakuan yang dilakukan di dalam unit pembangkit uap itu sendiri sebagai upaya pencegahan terjadinya kerak, korosi, serta *foaming*. Kebutuhan air pendingin pada pabrik propilen glikol dapat dirinci sebagaimana tercantum pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Kebutuhan Air Sebagai Steam pada Proses

Nama alat	Kebutuhan Air sebagai steam (kg/jam)
Pre-Heater	11.628,70
Reboiler Kolom Distilasi 1	7.623,51
Reboiler Kolom Distilasi 2	19.786,72
Total kebutuhan steam (LS)	38.678,93
Blowdown boiler	5%
Kebutuhan air umpan boiler (BFW)	40.612,87

Dengan asumsi blowdown boiler sebesar 5% dari total kebutuhan steam, maka kebutuhan air umpan boiler (BFW) dihitung sebagai berikut:

$$\text{BFW} = \text{Total kebutuhan steam} \times (1 + \% \text{blowdown})$$

$$\text{BFW} = 38.678,93 \text{ kg/jam} \times (1 + ,05) = 40.612,87 \text{ kg/jam}$$

d. Air Kebutuhan Sanitasi

Air sanitasi dan konsumsi dalam suatu pabrik dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, antara lain kegiatan laboratorium, kebutuhan minum karyawan, mencuci, serta mandi. Mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023, air sanitasi wajib memenuhi standar kualitas air bersih yang mencakup:

1. Syarat Fisik

- Tidak berbau
- Tidak berasa
- TDS tidak lebih dari 1500 mg/L
- Kekeruhan maksimum 250 NTU
- Suhu tidak melebihi 3°C dari suhu udara sekitar
- Warna tidak lebih dari 50 TCU

2. Syarat Kimia

- pH 6,5 – 9,0
- Tidak mengandung zat kimia beracun dan berbahaya baik organik maupun anorganik
- Stril dari mikroba

3. Syarat Bakteriologis

- Tidak mengandung bakteri-bakteri, terutama bakteri patogen
- Bakteri *Echeruchia Coli* kurang dari 1/100 ml
- Untuk air sanitasi ditambakkab kaporit ($\text{Ca}(\text{Cl})_2$) atau desinfektan

Ketersediaan air sebanyak 20 liter/orang/hari sudah mencukupi kebutuhan kebersihan dan sanitasi minimal. Namun demikian, untuk menjaga kondisi kesehatan pekerja secara optimal dibutuhkan volume air yang lebih besar, umumnya berkisar 50-150 liter/orang/hari. Dengan mempertimbangkan jumlah karyawan sebanyak 246 orang dan kebutuhan air kebersihan serta sanitasi diasumsikan 120 liter/orang/hari, kebutuhan air karyawan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Air Sanitasi Karyawan} = \frac{120 \frac{\text{liter}}{\text{orang}} \times 246 \text{ orang} \times 1 \text{ kg/liter}}{24 \text{ jam}}$$

$$\text{Air sanitasi karyawan} = 1.230 \text{ kg/jam} = 1,23 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Air kebutuhan laboratorium} = 20\% \times 1.230 \text{ kg/jam} = 246 \text{ kg/jam}$$

e. Air proses

Air proses merupakan air yang digunakan secara langsung dalam alur proses produksi propilen glikol. Kebutuhan air proses pada pabrik propilen glikol meliputi air yang digunakan pada unit mixer, ion exchanger, dan kolom distilasi. Rincian kebutuhan air proses dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Kebutuhan Air Proses

Nama Alat	Kebutuhan Air Sebagai proses (kg/jam)
Mixer	5.245,78
Ion Exchanger	3,68
Distilasi 1 (Bottom)	11,82
Distilasi 2 (Bottom)	125
Distilasi 3	261
Total	5.261,28
Total (m ³ /jam)	5,26

f. Total Kebutuhan Air

Kebutuhan air total merupakan keseluruhan air yang dibutuhkan untuk menunjang operasional pabrik propilen glikol, mencakup air sanitasi, air laboratorium, air pemadam, air pendingin, air umpan boiler, serta air proses. Rincian total kebutuhan air pada pabrik propilen glikol dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Total Kebutuhan Air

Keterangan	Kebutuhan Air Total (kg/jam)
Air Sanitasi	1.230
Air Laboratorium	246
Air Pemadam	2.066,4
Air Pendingin	1.599.306,81
Air Reboiler	40.612,87
Air Proses	5.261,28

Total	1.648.723,37
Total (m ³ /jam)	1.648,72

4.1.2 Unit Pengolahan Air

Unit pengolahan air pada pabrik propilen glikol terdiri dari beberapa tahapan proses yang saling berkaitan, mulai dari proses klorinasi, hingga perlakuan eksternal untuk air umpan boiler. Setiap tahapan dirancang untuk menghasilkan air dengan kualitas yang sesuai dengan kebutuhan masing-masing unit proses.

Tahapan-tahapan dalam proses pengolahan air laut yaitu sebagai berikut:

a. Unit Klorinasi

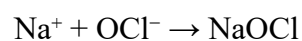
Air yang dibeli dari Krakatau Tirta Industri dialirkan ke sel elektrolisis setelah sebelumnya dilewatkan melalui *strainer* untuk mencegah kotoran masuk ke dalam sel. Unit ini memiliki 2 buah *cell bank*, setiap *cell bank*, terdiri dari 10 buah sel yang disusun secara seri dan setiap sel memiliki elektroda (katoda/anoda). Pada masing-masing *cell* terdapat anoda dan katoda yang disusun secara paralel. Anoda *cell* terbuat dari titanium dengan *special coating*, sedangkan katodanya terbuat dari *stainless steel* 304. Reaksi yang terjadi pada proses klorinasi yaitu sebagai berikut:

Reaksi awal: $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$

Reaksi anoda: $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$

Reaksi katoda: $2\text{Na}^+ + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2$

Reaksi pada elektrolizer: $2\text{OH}^- + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{OCl}^- + \text{H}_2$



Setelah dihasilkan, larutan klorin dialirkan ke *hypochlorite storage drum*. Tangki ini dilengkapi dengan blower udara yang berfungsi menghilangkan akumulasi H₂ dalam tangki sehingga konsentrasinya dibawah ambang batas peledakan (4%). Larutan klorin kemudian diinjeksikan secara kontinyu (*continuous dosing*) ke air laut di ujung masuk basin dengan pompa dan secara *shock dosing* dengan pompa.

b. Eksternal Treatment Boiler Feed Water

Eksternal *treatment* merupakan segala sesuatu yang dilakukan pada semua sistem pendukung boiler. Tujuan dari eksternal *treatment* adalah menghasilkan air dengan kualitas yang sesuai dengan persyaratan air umpan boiler. Hal ini mencakup penghilangan zat tersuspensi, pengurangan/penghilangan kadar kesadahan, pengurangan/penghilangan kadar silika, serta pengurangan/penghilangan kadar

oksigen terlarut dan sebagainya. Fasilitas *eksternal treatment* yang tersedia antara lain yaitu demineralisasi, dan deareator.

1. Unit Demineralisasi

Unit ini berfungsi mengolah proses kondensat yang telah melalui proses *stripping* dari *stripper*, steam kondensat, dan air desalinasi menjadi air demin sebagai air umpan boiler (BFW). Air demin merupakan air yang memiliki kandungan ion-ion mineral seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , Fe^{2+} , Cu^{2+} dalam jumlah yang sangat kecil. Konduktivitas yang disebabkan oleh adanya mineral logam pada air demin dibatasi tidak lebih besar dari $0,6 \mu\text{S}/\text{cm}$ karena pada temperatur tinggi hal tersebut dapat memicu terbentuknya kerak pada unit pembangkit steam. Unit demineralisasi terdiri dari tiga bagian, yaitu penukar kation, *degasifier*, dan *mixed bed polisher*.

a) Cation Exchanger

Kondensat proses yang berasal dari proses dialirkan melewati tangki penukar ion kation untuk mengikat ion-ion yang masih terlarut di dalamnya, antara lain Fe^{2+} , Ca^{2+} , Na^{2+} , K^+ , Mn^+ , dan Al^{3+} , kemudian disimpan dalam *new condensat tank*. Oleh karena itu, proses kondensat menjadi air demineralisasi memelurkan jalur yang lebih panjang dibandingkan pengolahan air desalinasi dan kondensat *steam*. Air umpan dimasukkan melalui bagian atas tangki, mengalir ke bawah sepanjang resin, dan keluar dari tangki.

b) Degasifier

Proses kondensat dari penukar kation dialirkan ke *degasifer* dengan tujuan menghilangkan gas-gas yang terlarut di dalam kondensat. Kondensat di kontakkan dengan udara yang dihembuskan dari *fan degasifer*. Dengan adanya kontak tersebut, CO_2 yang semula ada di dalam kondensat berpindah ke udara. Plastik *pall ring* yang terdapat di dalam *degasiferi* berfungsi untuk memperluas bidang kontak udara dengan kondensat. Hasil yang keluar dari *degasifer* dialirkan ke tangki *raw kondensat* menggunakan *degasifer water pump* dan bercampur dengan steam kondensat dan air desalinasi.

c) Mixed Bed Polisher

Mixed bed polisher merupakan bejana yang berisi resin kation dan anion. Resin ini akan menangkap seluruh kation maupun anion yang masih

terdapat di dalam raw condensate sehingga menghasilkan air bebas mineral (air demin). Raw condensate tank berisi air yang berasal dari unit *degasifier*, desalinasi, dan kondensat steam. Raw condensate dalam tangku perlu mendapat pengolahan lebih lanjut sebelum dapat digunakan sebagai Boiler Feed Water (BFW). Kandungan mineral dalam air yang akan digunakan sebagai BFW harus sekecil mungkin karena dapat memicu terbentuknya kerak pada Waste Heat Boiler (WHB) yang beroperasi pada temperatur tinggi. Oleh karena itu, proses yang dialami oleh raw condensate adalah penghilangan ion-ion di dalamnya, baik kation maupun anion. Penghilangan ion-ion tersebut dilakukan di *mixed bed polisher* yang berisi resin penukar kation dan resin penukar anion.

2. Deaerator

Deaerator digunakan untuk menghilangkan kadar oksigen dalam air demin karena dapat menyebabkan korosi pada sistem pembangkit uap melalui cara *stripping* menggunakan steam dan injeksi hidrazin (N_2H_4). Air demin dari tangki dialirkan ke deaerator menggunakan pompa demin. Sebagian air demin dimasukkan di *blow down cooler* dengan fluida panas yang berasal dari *continuous blow down*. Air demin kemudian dipanaskan lagi dengan memanfaatkan panas BFW yang keluar dari deaerator pada *plate exchanger* BFW preheater, kemudian dimasukkan ke bagian atas deaerator dan dilakukan *stripping*. Salah satu penyebab korosi di line BFW dan boiler adalah adanya O_2 dan CO_2 dalam air yang akan bereaksi dengan besi membentuk padatan yang mengendap (Fe_2O_3 dan $Fe(OH)_3$). Endapan ini dapat memicu terjadinya korosi. Oleh karena itu O_2 dan CO_2 yang mungkin masih ada dalam air demin harus dihilangkan, yang dilakukan melalui 2 tahap:

- Stripping/deaerasi air demin dengan steam untuk menghilangkan O_2 yang terlarut dalam air
- Injeksi *hydrazine* (N_2H_4) untuk mengikat O_2 yang masih tersisa, berdasarkan reaksi: $N_2H_4 + O_2 \rightarrow N_2 + 2H_2O$

BFW yang keluar dari deaerator masih diinjeksikan dengan amonia anhidrous untuk menjaga pH BFW pada kisaran 8,5-9,5 dan untuk mengikat CO_2 . BFW selanjutnya disimpan pada bagian boiler sebelum di pompa.

3. Internal Treatment Boiler Feed Water

Pengkondisian air boiler dengan bahan kimia dengan tujuan mencegah terbentuknya kerak, korosi, serta *foaming*. Beberapa mekanisme yang terjadi dalam *internal treatment* antara lain:

1. Mereaksikan kesadahan dengan bahan kimia agar kerak kalsium karbonat yang keras berubah menjadi endapat lunak berlumpur sehingga dapat dibuang melalui *blow-down*
2. Mengkondisikan alkalinitas air boiler untuk memastikan silika terbawa aliran *blow-down*
3. Penggunaan anti busa (anti *foam*) untuk mencegah potensi pembusaan air yang dapat mengakibatkan terjadinya *carry over* sehingga menurunkan kemurnian uap
4. Air umpan boiler diatur pH berkisar 9-10 sehingga korosi pada material tidak terjadi
5. O₂ yang terlarut dalam air umpan boiler diikat oleh *oxygen scavenger* (N₂H₄, DEHA, atau *Hydroquinone*) agar O₂ yang dapat menimbulkan korosi di boiler dapat dipisahkan

Beberapa jenis bahan kimia yang umum digunakan dalam *internal treatment* sebagai berikut:

- a) Fosfat (jenis orto maupun polifosfat)

Fosfat bereaksi dengan kalsium untuk menetralkan kesadahan air dengan membentuk *hydrat tricalcium fosfat* yang berbentuk lumpur dan dapat dibuang melalui *blow down* secara terus-menerus maupun secara berkala melalui bawah boiler.

- b) Dispersant

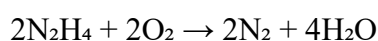
Digunakan untuk meningkatkan sifat *dispersive* air boiler.

- c) Anti Scale

Digunakan untuk mencegah terjadinya *scaling*.

- d) Hydrazine (N₂H₄)

Berfungsi untuk mengikat oksigen dengan reaksi sebagai berikut:



- e) Larutan Amonia

pH air umpan boiler dijaga pada kisaran 9 sampai 10. pH ini diatur sedemikian rupa menggunakan larutan amonia sehingga korosi pada material tidak terjadi.

- f) Anti Foaming

Campuran bahan aktif permukaan yang berfungsi mengubah tegangan permukaan cairan, menghilangkan busa, dan mencegah terbawanya air halus berupa partikel ke dalam uap.

4.2 Unit Pengadaan Listrik

Kebutuhan tenaga listrik pada pabrik propilen glikol diperoleh dari dua sumber utama, yaitu pasokan listrik dari PLTU Suralaya dan generator pembangkit listrik (generator set). Penggunaan dua sumber listrik ini bertujuan untuk menjamin ketersediaan energi listrik secara berkesinambungan, sehingga apabila salah satu sumber mengalami gangguan, sumber lainnya dapat berfungsi sebagai penunjang atau cadangan.

a. Suplai PLTU Suralaya

Sumber utama kebutuhan listrik pabrik berasal dari PLTU Suralaya. Pasokan listrik dari PLTU Suralaya dipilih karena memiliki kapasitas daya yang besar, kualitas tegangan yang stabil, serta jaringan distribusi yang andal untuk memenuhi kebutuhan listrik industri berskala besar. Pada perancangan pabrik ini, listrik dari PLN disuplai sebesar 5.400 MVA, yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan operasi seluruh unit proses dan utilitas pabrik.

b. Generator Pembangkit Tenaga Listrik (Generator Set)

Selain pasokan dari PLN, pabrik propilen glikol dilengkapi dengan generator pembangkit tenaga listrik (generator set) sebagai sumber listrik cadangan. Generator ini beroperasi dengan arus bolak-balik (Alternating Current/AC) dan menggunakan sistem 3 phase, yang umum diterapkan pada instalasi industri karena mampu menghasilkan daya listrik yang lebih stabil dan efisien untuk beban-beban besar.

Pasokan listrik pada pabrik berasal dari jaringan tegangan menengah sebesar 200 kV. Tegangan tersebut kemudian disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing peralatan melalui penggunaan transformator. Keberadaan generator set sangat penting untuk menjaga kontinuitas operasi pabrik apabila terjadi gangguan pasokan listrik dari PLN, seperti pemadaman atau penurunan kualitas tegangan yang dapat mengganggu kinerja peralatan proses. Penggunaan generator set didasarkan pada beberapa pertimbangan sebagai berikut:

- Tegangan listrik yang dihasilkan cukup besar, sehingga mampu memenuhi kebutuhan daya untuk peralatan proses dan utilitas di pabrik.

- Tegangan dapat disesuaikan dengan kebutuhan menggunakan transformator, sehingga distribusi listrik ke berbagai unit proses dapat dilakukan dengan aman dan efisien.
- Tegangan listrik dan daya kerja stabil, sehingga dapat menjaga kinerja peralatan proses dan sistem kontrol selama kondisi darurat atau gangguan pasokan listrik utama.

Kebutuhan tenaga listrik pada pabrik propilen glikol akan dipenuhi oleh PLTU Suralaya dengan bantuan generator sebagai cadangan, dengan perbandingan PLTU Suralaya:generator set sebesar 2:1. Kebutuhan listrik meliputi:

- Listrik untuk keperluan proses dan utilitas
- Listrik untuk penerangan
- Listrik untuk AC ruangan

4.2.1 Kebutuhan Listrik Proses dan Utilitas

Kebutuhan listrik pada perancangan pabrik propilen glikol merupakan komponen utilitas yang penting karena berfungsi sebagai sumber energi untuk mengoperasikan berbagai peralatan proses maupun fasilitas penunjang pabrik. Energi listrik yang digunakan untuk menggerakkan pompa, mixer, kompresor, serta peralatan utilitas lainnya yang mendukung kelangsungan operasi produksi secara kontinu. Perhitungan kebutuhan listrik dilakukan berdasarkan jumlah peralatan, daya motor yang digunakan, dan kapasitas operasi masing-masing alat. Dengan mengetahui total kebutuhan daya listrik, dapat ditentukan kapasitas penyediaan energi listrik yang memadai sehingga seluruh unit proses dan utilitas dapat beroperasi secara efisien. Rincian kebutuhan listrik untuk peralatan proses disajikan pada Tabel 4.8, sedangkan kebutuhan listrik untuk peralatan utilitas yang mendukung operasi pabrik disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 7 Kebutuhan Listrik untuk Peralatan Proses

Nama Alat	Jumlah	Hour Power (HP)	Total HP	Daya (kW)
Pompa (Feed ke Mixer)	1	10	10	8,69
Pompa (Mixer ke Heater)	1	10	10	8,69
Pompa (Heater ke Reaktor)	1	10	10	8,69

Nama Alat	Jumlah	Hour Power (HP)	Total HP	Daya (kW)
Pompa (Reaktor ke Flash Drum)	1	10	10	8,69
Pompa (Flash ke kolom 1)	1	10	10	8,69
Pompa (Bottom kolom 1 ke kolom 2)	1	10	10	8,69
Pompa (Reflux kolom 1)	1	10	10	8,69
Pompa (Reflux Kolom 2)	1	10	10	8,69
Pompa (Produk ke Tangki PG)	1	10	10	8,69
Pompa (Produk sampling ke Tangki EG)	1	10	10	8,69
Mixer	1	21	21	15,66
kompresor	1	2.865,56	2.865,56	2.1316,85
Total Kebutuhan Listrik Proses			2.986,56	2.239,41

Tabel 4. 8 Kebutuhan Listrik untuk Peralatan Utilitas

Nama Alat	Jumlah	HP per Unit	Total HP	Daya (kW)
Pompa air pendingin (ke cooling tower)	1	15	15	11,19
Pompa air umpan (BFW ke boiler)	1	10	10	7,46
Pompa distribusi air proses	1	5	5	3,73
Pompa air sanitasi & domestic	1	5	5	3,73
Fan Cooling Tower	1	15	15	11,19
Forced Draft Fan Boiler	1	15	15	11,19
Pompa air pemadam kebakaran	1	10	10	7,46
Total Kebutuhan Listrik Utilitas			75	55,93

4.2.2 Kebutuhan Listrik Penerangan

Perkiraan kebutuhan daya listrik untuk sistem penerangan dapat dihitung menggunakan pendekatan Luminous Efficacy, yaitu besarnya energi cahaya yang dipancarkan oleh lampu dalam satuan lumen. Jumlah lumen yang dibutuhkan bergantung pada tingkat pencahayaan (lux) dan luas area yang diterangi. Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\text{Lumen} = \text{Luas area} \times \text{Lux}$$

Keterangan:

Lumen = Jumlah fluks Cahaya yang dibutuhkan (lm)

Lux = Tingkat pencahayaan yang diperlukan pada suatu area (lm/m²)

Luas area = Luas ruang atau area yang memerlukan penerangan (m²)

Nilai kebutuhan pencahayaan (lux) berbeda-beda untuk setiap jenis area sesuai dengan fungsi dan aktivitas yang dilakukan di dalamnya. Oleh karena itu, pada perancangan ini digunakan nilai standar tingkat pencahayaan berdasarkan Knight et al., (2020) sebagai acuan dalam menentukan kebutuhan penerangan di setiap area pabrik. Rincian yang digunakan untuk kebutuhan penerangan *outdoor* disajikan pada Tabel 4.10, sedangkan kebutuhan penerangan *indoor* disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 9 Kebutuhan Penerangan Outdoor

Nama Bangunan	Luas Area (m ²)	Lux	Lumen
Pos satpam	150	100	15.00
Area bahan baku	6.000	350	2.100.000
Area proses	8.500	500	4.250.000
Area perbaikan	300	100	30.000
Area peralatan	700	100	70.000
Unit pembangkit listrik	400	200	80.000
Unit pengolahan air	350	200	70.000
Unit pengolahan limbah	500	200	100.000
Unit H2	2.000	500	1.000.000
Area perluasan	1.180	100	118.000
Total	20080	-	7.833.000

Bagian luar ruangan, akan digunakan lampu LED philips 50 Watt yang memiliki 4500 lumen (www.philips.co.id). Maka, dapat dihitung kebutuhan lampu luar ruangan adalah:

Lumen Philips TL 50 W = 4500

Jumlah lumen diluar ruangan = 7.833.000

Kebutuhan listrik *outdoor* = $7.833.000 / 4500 = 1.741$ buah

Kebutuhan daya lampu = $1.741 \times 50 \text{ watt} = 87.050 \text{ watt}$ atau 87,05 kW

Tabel 4. 10 Kebutuhan Penerangan Indoor

Nama Bangunan	Luas Area (m ²)	Lux	Lumen
Perkantoran	950	350	332.500
Laboratorium	400	500	200.000
Control Room	400	350	140.000
Masjid	150	200	30.000
Poli Klinik	120	250	30.000
Kantin	400	200	80.000
HSSE	200	200	40000
Gudang Produk	3.800	100	380.000
Total	6.420	-	1.232.500

Dengan menggunakan lampu jenis Philips TL 16 W (1.600 lumen/unit), diperoleh jumlah lampu *indoor* sebanyak $1.232.500 \text{ lumen} / 1.600 \text{ lumen} = 770,31 = 770$ buah, dengan total kebutuhan daya penerangan *indoor* sebesar 12,32 kW. Perhitungan total kebutuhan listrik penerangan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Total kebutuhan listrik penerangan} &= \text{Penerangan outdoor} + \text{penerangan indoor} \\
 &= 87,05 + 12,32 \\
 &= 99,37 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

4.2.3 Kebutuhan Listrik Air Conditioner

Pendingin ruangan menggunakan AC (*Air Conditioner*) 1 pK *low watt* merk LG tipe *Dual Core* (www.lg.com) yang memiliki beban kalor standar ruangan 9200

BTU/jam.m2 dan diperkirakan cukup untuk memenuhi ruangan seluas 7x7 meter (49 m2). Rincian luas area yang memerlukan listrik AC dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 11 Kebutuhan Listrik Air Conditioner

Nama Bangunan	Luas Area (m ²)
Perkantoran	950
Laboratorium	400
Control Room	400
Masjid	150
Poli Klinik	120
Kantin	400
HSSE	200
Total	2.620

Total luas area dalam ruangan adalah 2.620 m².

Jumlah AC yang digunakan = $\frac{2.620 \text{ m}^2}{49 \text{ m}^2/\text{buah}} = 53 \text{ buah}$

Total Daya AC = 840 watt x 53 buah = 44.520 watt = 44,52 kW

Total kebutuhan listrik merupakan jumlah dari kebutuhan daya pada penerangan unit proses/utilitas, kebutuhan penerangan, dan kebutuhan daya pendingin ruangan (AC). Rincian kebutuhan listrik pada pabrik propilen glikol dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 12 kebutuhan Listrik pada Pabrik Propilen Glikol

Keterangan	Kehtuhan (kW)
Listrik proses	2.239,41
Listrik utilitas	55,93
Listrik penerangan	99,37
Listrik AC	41,50
Total	2.436,21

Total kebutuhan listrik diperoleh dengan menjumlahkan seluruh komponen kebutuhan listrik, seperti penerangan, AC, proses, dan utilitas. Kemudian ditambahkan faktor cadangan sebesar 20% untuk mengantisipasi pertumbuhan beban dan faktor efisiensi motor listrik. Perhitungan total kebutuhan listrik dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Faktor cadangan} &= 20\% \\
&= 20\% \times 2.436,21 \\
&= 487,24 \text{ kW} \\
\text{Total kebutuhan listrik terpasang} &= (\text{kebutuhan listrik proses} + \text{utilitas} + \\
&\quad \text{penerangan} + \text{AC}) + \text{faktor cadangan} \\
&= 2.436,21 + 487,24 \\
&= 2.923,45 \text{ kW}
\end{aligned}$$

4.3 Unit Pengadaan Steam

Steam bertekanan rendah (*Low Pressure Steam/LS*) digunakan sebagai media pemanas pada reboiler kolom distilasi 1 dan kolom distilasi 2. Pemilihan steam LS didasarkan pada kemampuannya untuk menyediakan energi panas yang stabil dan efisiensi guna mendukung proses penguapan sebagai cairan pada bagian bawah kolom distilasi. Panas yang ditransfer oleh steam menyebabkan terbentuknya uap yang kemudian dikembalikan ke kolom sebagai aliran *reflux*, sehingga proses pemisahan komponen dapat berlangsung secara kontinu.

Kebutuhan panas pada masing-masing reboiler diperoleh dari hasil neraca panas kolom distilasi. Nilai beban panas tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan laju alir massa steam yang diperlukan pada kondisi operasi tertentu. Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan panas laten kondensasi steam pada temperatur operasi masing-masing reboiler, sehingga jumlah steam yang dihitung telah disesuaikan dengan kebutuhan energi proses.

4.3.1 Kebutuhan Panas dan Massa Steam Reboiler

Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan steam untuk reboiler distilasi 1 dan reboiler distilasi 2 memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan beban panas masing-masing unit. Data kebutuhan panas dan laju alir massa steam pada setiap boiler disajikan pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 13 kebutuhan panas dan laju alir massa steam pada boiler

Unit	T steam (°C)	m steam (kg/jam)	Q reboiler (kkal/jam)
Reboiler Distilasi 1	189	7.263,51	1.316.461,19
Reboiler Distilasi 2	212	19.786,72	392.259,04
Total		27.410,23	1.708.721,23

4.3.2 Blowdown dan Steam Loss Boiler

Dalam sistem boiler, blowdown dan steam loss perlu diperhitungkan sebagai bagian dari kehilangan air dan uap selama proses operasi. Blowdown merupakan pembuangan sebagian air boiler secara terkontrol untuk menjaga kualitas air di dalam boiler, sehingga akumulasi padatan terlarut, kerak, dan kotoran lainnya dapat dikurangi. Sementara itu, steam loss adalah kehilangan uap yang terjadi selama proses distribusi maupun akibat kebocoran pada sistem perpipaan. Dalam perancangan ini, blowdown ditetapkan sebesar 4% dari kebutuhan air umpan boiler (BFW), sedangkan steam loss ditetapkan sebesar 2% dari kebutuhan BFW. Dengan kebutuhan BFW sebesar 40.612,87 kg/jam, diperoleh nilai blowdown sebesar 1.624,51 kg/jam dan steam loss sebesar 812,26 kg/jam. Perhitungan ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan air umpan boiler secara lebih akurat dan mendukung pengoperasian boiler yang efisien.

4.3.3 Kebutuhan BFW saat Start-up dan Makeup

Kebutuhan *Boiler Feed Water* (BFW) merupakan salah satu parameter dalam perancangan system utilitas boiler karena air umpan berfungsi sebagai sumber pembentuk uap dan pengganti kehilangan air selama proses operasi. Pada kondisi start-up, kebutuhan BFW cenderung lebih besar dibandingkan kondisi operasi normal karena boiler dan jaringan perpipaan harus diisi hingga mencapai kondisi operasi yang stabil. Oleh karena itu, perhitungan kebutuhan BFW pada tahap start up dilakukan berdasarkan data steam loss dari Steam Table (Yaws, 1999) yang dikalikan dengan laju alir air umpan boiler.

Pada kondisi operasi normal atau makeup, kebutuhannya BFW tambah dihitung sebagai pengganti kehilangan air dalam sistem boiler. Kehilangan air tersebut terutama berasal dari *blowdown*, yaitu pembuangan sebagian air boiler untuk mengontrol konsentrasi padatan terlarut serta *steam loss*, yaitu kehilangan uap akibat kebocoran, penggunaan uap pada unit proses. Dengan demikian, kebutuhan BFW makeup diperoleh dari penjumlahan laju *blowdown* dan *steam loss*.

Berdasarkan perhitungan, kebutuhan BFW pada kondisi start up diperoleh sebesar 32.988.109,43 kg/jam, sedangkan kebutuhan BFW pada kondisi makeup diperoleh sebesar 24.436,77 kg/jam. Nilai kebutuhan BFW saat start up yang jauh lebih besar menunjukkan bahwa tahap awal pengoperasian boiler memerlukan

suplai air umpan yang signifikan untuk mengisi sistem dan mencapai kondisi operasi yang stabil.

4.4 Unit Pengadaan Bahan Bakar

Unit pengadaan bahan bakar merupakan salah satu bagian penting dalam sistem utilitas pabrik yang berfungsi untuk menjamin ketersediaan energi selama proses produksi berlangsung. Pada perancangan pabrik ini, bahan bakar digunakan untuk dua keperluan utama yaitu, sebagai sumber panas pada reboiler dan sebagai sumber energi penggerak generator diesel (*genset*) yang berfungsi sebagai daya cadangan. Unit ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar pada boiler, generator, dan furnace. Bahan bakar yang digunakan adalah solar (fuel oil no.2) untuk boiler dan generator, serta batu bara untuk furnace.

4.4.1 Bahan Bakar Reboiler

Kebutuhan bahan bakar reboiler dihitung dari beban panas total reboiler yang telah dikonversi ke satuan kJ/jam, dibagi dengan efisiensi pembakaran boiler. Jenis bahan bakar reboiler menggunakan solar (fuel oil no.2). karakteristik solar sebagai berikut:

- Heating value = 45.500 kJ/kg
- Specific gravity = 0,865
- Densitas solar = 0,865 kg/L
- Efisiensi = 80%

Nilai kalor bahan bakar reboiler, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$\begin{aligned}\text{laju bahan bakar} &= Q \text{ reboiler (kJ/jam)} / (\eta \text{ pembakaran} \times \text{Heating Value}) \\ &= 7.149.289,63 / (0,8 \times 45.500) \\ &= 196,41 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Laju bahan bakar} &= \text{Laju bahan bakar (kg/jam)} / \text{densitas bahan bakar} \\ (\text{L/jam}) &= 19,641 / 0,865 \\ &= 227,06 \text{ L/jam}\end{aligned}$$

Pada kondisi start up, seluruh air umpan boiler diasumsikan dipanaskan dengan suhu 30°C tanpa adanya kondensat balik (recovery panas), berbeda dengan kondisi normal dimana Sebagian energi pemanasan telah disuplai oleh kondensat

balik yang masih panas. Oleh karena itu, kebutuhan bahan bakar pada kondisi start-up jauh lebih besar dibanding kondisi *steady state*.

Beban panas yang dibutuhkan untuk memanaskan seluruh air umpan boiler dari kondisi awal (entalpi hf pada 30oC) hingga menjadi steam pada kondisi operasi boiler (entalpi hg) dihitung menggunakan persamaan neraca energi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{\text{start-up}} &= \text{Massa BFW} \times (h_g - h_f) \\ &= 40.612,87 \times (2.776,30 - 125,79) \\ &= 40.612,87 \times 2.650,51 \\ &= 107.644.826,61 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Beban panas start-up tersebut kemudian dikonversi menjadi kebutuhan bahan bakar dengan persamaan seperti kondisi normal sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Bahan bakar start-up} &= Q_{\text{start-up}} / (\eta_{\text{pembakaran}} \times \text{Heating Value}) \\ &= 107.644.826,61 / (0,8 \times 45.500) \\ &= 2.957,28 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bahan bakar start-up} &= \text{Bahan bakar start-up (kg/jam)} / \text{Densitas} \\ &= 2.957,28 / 0,865 \\ &= 3.418,82 \text{ L/jam} \end{aligned}$$

4.4.2 Bahan Bakar Generator

Generator berfungsi sebagai daya cadangan (*standby*) yang beroperasi apabila suplai listrik utama dari PLTU mengalami gangguan, sehingga generator tidak beroperasi secara kontinu. Perhitungan bahan bakar generator dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan energi termal (kW)} &= \text{Total kebutuhan listrik terpasang} / \eta_{\text{generator}} \\ &= 2.923,45 / 0,35 \\ &= 8.352,71 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan energi termal (kJ/jam)} &= \text{Kebutuhan energi termal (kW)} \times 3.600 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 8.352,71 \times 3.600 \\ &= 30.069.742,40 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju alir bahan bakar (kg/jam)} &= \text{Kebutuhan energi termal (kJ/jam)} / \text{heating value} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 30.069.742,40 / 45.500 \\ &= 660,87 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju alir bahan bakar (L/jam)} &= \text{Laju alir bahan bakar (kg/jam)} / \text{Densitas} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 660,87 / 0,865 \\
&= 764,02 \text{ L/jam} \\
\text{Kebutuhan bahan bakar generator per tahun} &= \text{Laju alir volume} \times 24 \text{ jam/hari} \times \text{Hari operasi/Tahun} \times 1.000 \\
&= 764,02 \times 24 \times 330 / 1.000 \\
&= 6.051 \text{ ton/tahun}
\end{aligned}$$

4.4.3 Bahan Bakar Furnace

Bahan bakar furnace pada perancangan ini, disamakan dengan bahan bakar yang digunakan pada reboiler dan generator. Dengan demikian, pabrik hanya memerlukan satu jenis bahan bakar dan satu penyimpanan untuk seluruh unit pembakar. Efisiensi pembakaran furnace mengacu pada efisiensi pembakaran boiler sebesar 80%, sebagaimana digunakan pada perhitungan kebutuhan bahan bakar boiler, bukan efisiensi generator sebesar 35%. Hal ini disebabkan oleh perbedaan mekanisme kerja keduanya, yaitu generator mengubah energi termal hasil pembakaran menjadi energi listrik melalui mesin diesel, sedangkan furnace memanfaatkan energi termal hasil pembakaran secara langsung untuk proses pemanasan sehingga efisiensi konversinya lebih tinggi. Spesifikasi bahan bakar furnace dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 14 Spesifikasi Bahan Bakar Furnace

Parameter	Nilai
Heating value bahan bakar	45.500 kJ/kg
Densitas	0,865
Efisiensi pembakaran furnace	80%

Maka, perhitungan kebutuhan bahan bakar furnace dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
Q \text{ furnace} &= \text{Beban panas pre-heater} \\
&= 5.422.117,92 \times 4,184 \\
&= 22.686.141,39 \text{ kJ/jam} \\
\text{Kebutuhan bahan bakar furnace} &= Q \text{ furnace} / (\eta \text{ pembakaran} \times \text{Heating Value}) \\
&= 22.686.141,39 / (0,8 \times 45.500) \\
&= 623,25 \text{ kg/jam}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kebutuhan bahan bakar furnace} &= \text{Bahan bakar furnace (kg/jam)} \times 24 \times \\
\text{per tahun} &\quad \text{hari operasi} / 1.000 \\
&= 623,25 \times 24 \times 330 / 1.000 \\
&= 4.936,11 \text{ ton/tahun}
\end{aligned}$$

4.5 Unit Pengadaan Udara Tekan

Udara bertekanan (*compressed air*) merupakan salah satu utilitas yang harus disediakan dalam operasi pabrik kimia. Udara bertekanan pada perancangan ini dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan fungsi dan persyaratan kualitasnya, yaitu instrumen (*instrument air*) dan udara plant/service (*plant air*). Udara instrumen digunakan sebagai fluida kerja untuk menggerakkan instrumen pneumatik, seperti control valve, potensioner yang berfungsi mengatur dan mengendalikan jalannya proses secara otomatis, karena bersentuhan langsung dengan komponen instrumentasi yang presisi, udara instrumen harus memenuhi persyaratan kualitas yang ketat, yaitu bebas dari kandungan minyak (*oil-free*), bebas debu/partikel, dan memiliki kadar kelembapan yang sangat rendah (*dew point* umumnya di bawah -20°C hingga -40°C , mengacu pada standar ISO 8573-1).

Udara plant/service digunakan untuk keperluan yang tidak memerlukan tingkat kekeringan setinggi udara instrumen, seperti menggerakkan peralatan pneumatik portable (*pneumatic tools*), pembersihan (*cleaning/blow down*) peralatan dan area kerja, serta purging pada saat start-up maupun maintenance. Secara umum, sistem penyediaan udara bertekanan terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu unit kompresor (*air compressor*), pendingin akhir (*after-cooler*) untuk menurunkan suhu udara keluaran kompresor, tangki penampung (*air receiver*) yang berfungsi meredam fluktuasi tekanan dan menyediakan cadangan udara sesaat, unit pengering udara (*air dryer*), filter udara, serta jaringan pipa distribusi menuju titik-titik pemakaian. Tekanan operasi header udara bertekanan pada industri umumnya berkisar 6-8 barg (setara $\pm 7-8 \text{ atm}$), sebagaimana digunakan pada perancangan ini.

4.5.1 Kebutuhan Udara Instrumen

Kebutuhan udara instrumen dihitung berdasarkan jumlah titik instrumen pneumatik yang terpasang pada unit operasi utama pabrik, seperti reaktor, flash drum, kolom distilasi, pre-heater, cooler, mixer, ion exchanger, kompresor, dan pompa utama. Setiap instrumen pneumatik diasumsikan memiliki konsumsi udara sebesar $1 \text{ Nm}^3/\text{jam}$ per

instrumen sebagai acuan untuk utilitas pabrik kimia. Rincian kebutuhan udara instrumen dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4. 15 Kebutuhan Udara Instrumen

Parameter	Nilai
Jumlah instrumen pneumatik	21
Konsumsi udara per instrumen	1 Nm ³ /jam
Faktor kebersamaan (diversity factor)	70%
Kebutuhan udara instrumen	14,70 Nm ³ /jam

Dalam praktiknya, tidak seluruh instrumen pneumatik bekerja secara bersamaan pada beban puncak, karena masing-masing control valve hanya membutuhkan pasokan udara pada saat berubah posisi (membuka/menutup), sedangkan pada kondisi steady operation sebagian besar valve berada pada posisi tetap. Oleh karena itu, diterapkan faktor kebersamaan (*diversity factor*) sebesar 70% terhadap kebutuhan udara maksimum teoretis, sehingga kebutuhan udara instrumen dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan udara instrumen} &= \text{Jumlah instrumen} \times \text{Konsumsi per instrumen} \times \\
 &\quad \text{Diversity factor} \\
 &= 21 \times 1 \times 0,7 \\
 &= 14,70 \text{ Nm}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

4.5.2 Kebutuhan Udara Plant/Service

Kebutuhan udara plant/service tidak dihitung dari jumlah titik pemakaian secara rinci, dikarenakan pemakaian yang tidak kontinu seperti untuk pembersihan filter/stariner, serta purging saluran saat start up maupun perbaikan alat. Kebutuhan udara plant/service diestimasi menggunakan rasio terhadap kebutuhan udara instrumen, yaitu sebesar 25% (rule of thumb) dari kebutuhan udara instrument.

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan Udara Plant/Service} &= 25\% \times \text{Kebutuhan Udara Instrumen} \\
 &= 25\% \times 14,70 \\
 &= 3,68 \text{ Nm}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

4.5.3 Total Kebutuhan Udara Tekan

Total kebutuhan udara tekan pabrik diperoleh dengan menjumlahkan kebutuhan udara instrumen dan udara plant/service kemudian ditambahkan faktor cadangan sebesar 20%.

Faktor cadangan ini diperlukan untuk mengantisipasi kemungkinan kebocoran pada sistem perpipaan dan sambungan (yang umum terjadi pada jaringan udara bertekanan), serta memberikan ruang untuk penambahan titik instrumen tanpa perlu mengganti unit kompresor. Perhitungan total kebutuhan udara tekan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Total kebutuhan udara Tekan} &= (\text{kebutuhan udara instrumen} + \text{kebutuhan udara} \\
 &\quad \text{plant/service}) \times (1 + \text{faktor cadangan}) \\
 &= (14,70 + 3,68) \times (1 + 0,2) \\
 &= 18,38 \times 1,2 \\
 &= 22,05 \text{ Nm}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

4.6 Laboratorium

Laboratorium merupakan fasilitas yang berperan dalam pengumpulan data untuk mendukung operasional pabrik, evaluasi unit proses, serta pengendalian mutu. Kegiatan laboratorium meliputi analisis bahan baku, pemantauan proses produksi, dan pengujian kualitas produk agar sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Selain itu, pemeriksaan secara rutin dilakukan untuk mendeteksi adanya penyimpangan proses sehingga kualitas dan kinerja produksi tetap terjaga. Dalam pelaksanaan tugasnya, laboratorium dikelompokkan menjadi:

- **Laboratorium Analitik**
Laboratorium ini bertugas melakukan pemeriksaan dan pengamatan terhadap berbagai sifat fisik dan kimia dari bahan baku, produk, utilitas, limbah, serta bahan penunjang proses produksi.
- **Laboratorium Penelitian dan Pengembangan**
Laboratorium berfokus pada kegiatan riset dan pengembangan untuk menangani permasalahan yang berkaitan dengan kualitas material dalam proses produksi guna meningkatkan hasil akhir. Berbeda dengan laboratorium analitik, laboratorium ini lebih berorientasi pada eksplorasi hal-hal baru untuk keperluan pengembangan. Selain itu, limbah yang dihasilkan dari proses analisis juga diolah terlebih dahulu sebelum dilepas ke lingkungan.

Adapun perincian program kerja dari laboratorium Pabrik Asam Akrilat untuk menganalisa bahan baku, produk, air yang digunakan dalam proses, amupun pada unit utilitas dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4. 16 Rincian Laboratorium

Parameter Uji	Tujuan Pengujian	Alat Uji
Analisa bahan baku gliserol	Analisa kemurnian gliserol	GC-MS
	Analisa viskositas gliserol	<i>Viscometer batch</i>
Analisa bahan <i>intermediate</i> acetone	Analisa kemurnian acetone	GC-MS
	Analisa viskositas cairan	<i>Viscometer bath</i>
Analisa produk propilen glikol	Analisa kandungan air	Rangkaian alat distilasi
	Analisa viskositas cairan	<i>Viscometer bath</i>
Analisa gas H ₂	Analisa <i>humidity</i> dan temperatur	<i>Hygrometer</i>
Analisa air sanitasi	Analisa <i>specific gravity</i>	<i>Densimeter gas</i>
	Analisa kekeruhan air	<i>Turbidity meter</i>
	Analisa pH	pH meter
	Analisa kadar TDS (<i>Total Dissolved Solid</i>)	TDS meter
	Analisa kandungan logam pada air	AAS
	Analisa <i>dissolved oxygen</i> (oksigen terlarut dalam air)	DO meter
Analisa BFW (<i>Boiler Feed Water</i>) dan CW (<i>Cooling Water</i>)	Analisa kadar BOD (<i>Biological Oxygen Demand</i>)	BOD meter
	Analisa kadar TDS (<i>Total Dissolved Solid</i>)	TDS meter
	Analisa kesadahan air	<i>Water Hardness Tester</i>

4.7 Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah berfungsi untuk mengurangi potensi pencemaran yang berasal dari kegiatan produksi sehingga limbah yang dihasilkan dapat memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dibuang. Pada pabrik propilen glikol, limbah yang dihasilkan berasal dari beberapa sumber, baik berupa limbah cair maupun limbah padat. oleh karena itu,

diperlukan sistem pengolahan yang sesuai agar dampak terhadap lingkungan dapat diminalkan.

4.7.1 Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan dari pabrik propilen glikol meliputi beberapa jenis sebagai berikut:

a. Air Regenerasi dari Unit Demineralisasi

Air regenerasi berasal dari proses *backwash* dan regenerasi pada unit demineralisasi. Air limbah ini umumnya memiliki pH yang tidak netral sehingga perlu dilakukan proses penyesuaian pH sebelum dibuang. Proses netralisasi dilakukan menggunakan larutan asam atau basa sesuai kondisi pH limbah. Setelah mencapai pH yang memenuhi persyaratan, limbah dialirkan menuju bak penampungan dan selanjutnya dikirim ke instalasi pengolahan limbah.

b. Air yang mengandung minyak pelumas

Limbah ini berasal dari peralatan proses seperti pompa yang menggunakan minyak pelumas selama operasi. Air dan minyak dipisahkan berdasarkan perbedaan massa jenis menggunakan tangki pemisah. Minyak yang terpisah dikumpulkan dalam tangki penampung untuk dikelola lebih lanjut, sedangkan air hasil pemisahan dialirkan menuju Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).

c. Air buangan sanitasi

Air limbah sanitasi berasal dari aktivitas domestik karyawan, seperti penggunaan kamar mandi dan fasilitas umum lainnya. Limbah ini mengandung bahan organik serta padatan tersuspensi sehingga perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang. Pengolahan dilakukan melalui unit sanitasi yang menerapkan proses biologi, seperti sistem lumpur aktif dan biofilter. Setelah melalui proses pengolahan, air limbah dialirkan ke IPAL untuk tahap pengolahan lanjutan.

d. Air buangan sistem pendingin (*cooling water*)

Limbah dari sistem pendingin umumnya berasal dari kebocoran peralatan atau penggantian air pendingin secara berkala. Limbah ini dapat mengandung zat organik maupun bahan kimia yang digunakan dalam pengolahan air pendingin. Air limbah kemudian dikumpulkan pada bak penampungan dan diolah menggunakan proses biologis serta proses desinfeksi sebelum dibuang ke lingkungan. Tahap desinfeksi dilakukan untuk mengurangi jumlah mikroorganisme yang masih terdapat dalam air limbah.

4.7.2 Limbah Padat

Limbah padat yang dihasilkan pabrik propilen glikol umumnya berasal dari aktivitas perkantoran, kantin, serta kegiatan operasional pendukung lainnya. Pengolahan limbah padat dapat dilakukan sesuai dengan ketentuan yang berlaku agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan.

a. Sistem Pengumpulan Sampah

Sampah dikumpulkan secara terpisah berdasarkan jenisnya, yaitu sampah organik dan anorganik. Pengumpulan dilakukan secara rutin setiap hari atau disesuaikan dengan jumlah sampah yang dihasilkan. Pemisahan sejak sumber bertujuan untuk mempermudah proses pengolahan pada tahap berikutnya.

b. Peralatan Pengangkut Sampah

Sarana pengangkutan sampah menggunakan tempat sampah tertutup yang dilengkapi untuk mencegah penyebaran bau dan masuknya hewan pengganggu. Kapasitas wadah disesuaikan dengan jumlah sampah yang dihasilkan. Pengangkutan dilakukan menggunakan troli atau kendaraan pengangkut menuju lokasi pengolahan sementara.

c. Metode Pengolahan Sampah

Metode pengolahan disesuaikan dengan karakteristik sampah yang dihasilkan. Sampah organik dapat diolah melalui proses pengomposan, sedangkan sampah anorganik yang masih memiliki nilai guna dapat didaur ulang. Selain itu, penerapan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) dilakukan untuk mengurangi jumlah limbah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir.

d. Pembuangan Akhir Sampah

Sampah yang tidak dapat dimanfaatkan kembali akan dikirim ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Metode yang digunakan adalah *sanitary landfill*, yaitu sistem penimbunan sampah secara terkendali yang dilengkapi lapisan pelindung dan sistem pengelolaan lindi sehingga dampak terhadap lingkungan dapat diminimalkan.

4.8 Kesehatan Keselamatan Kerja dan Lingkungan Hidup

4.8.1 Keselamatan Kerja

Aspek keselamatan dan kesehatan kerja di perusahaan ini mengacu pada regulasi HSE (*Health, Safety, and Environment*). Regulasi tersebut bertujuan agar tidak terjadi kecelakaan, dan berlaku bagi seluruh karyawan maupun pihak luar yang memasuki

lingkungan pabrik. Setiap orang yang masuk ke area pabrik tidak diperbolehkan membawa rokok, korek api, kamera, atau benda lain yang berpotensi menimbulkan api. Prosedur keamanan dan keselamatan di perusahaan diterapkan secara ketat guna menciptakan lingkungan kerja yang aman bagi semua pihak, baik tenaga kerja maupun peralatan demi mewujudkan kondisi bebas kecelakaan. Sistem keselamatan yang diberlakukan antara lain:

1. Alat Pelindung Diri (APD)

APD atau *Personal Protective Equipment* (PPE) digunakan sesuai jenis pekerjaan untuk meminimalkan Risiko kecelakaan. Secara umum, seluruh karyawan produksi wajib mengenakan Sepatu keselamatan, helm, dan kacamata selama berada di lingkungan pabrik.

2. Jenis pengaman

Peralatan pengaman digunakan untuk melindungi karyawan dari berbagai potensi bahaya, seperti penutup mesin yang berputar, pagar di area ketinggian, *eye and body shower*, rambu lalu lintas, sistem *grounding and bonding*, *sikring*, serta katup pengatur tekanan.

Selain alat pelindung diri dan sistem pengaman, perusahaan juga menerapkan prosedur khusus dalam menghadapi situasi darurat dan mengatur izin kerja demi menjaga keselamatan seluruh karyawan di lingkungan pabrik. Prosedur tersebut mencakup:

- a. Penanggulangan Kebakaran dan Keadaan Darurat

Pabrik propilen glikol memiliki prosedur dalam menghadapi kebakaran maupun situasi darurat lainnya. Apabila keadaan darurat terjadi, seluruh karyawan diwajibkan menuju titik kumpul yang dikenal sebagai *Head Account Point* (HAP) yang tersedia di setiap gedung. HAP diketuai oleh seorang *Building Warden* yang bertugas memastikan keselamatan karyawan di dalam gedung serta memantau perkembangan situasi melalui *Handy Talky* (HT). Apabila kondisi semakin mengkhawatirkan, seluruh karyawan yang telah berkumpul di masing-masing HAP akan diarahkan bersama-sama menuju titik yang disebut *Assembly Point* (AP) di sekitar area pabrik. Selain itu, penanganan informasi terkait keadaan darurat menuju tanggung jawab *Emergency Response Team* yang beranggotakan petugas keamanan, medis, pemadam kebakaran, *Auxiliary Fireman*, Shift superintendent, dan *supervisor*.

Bagi karyawan baru maupun tamu yang baru pertama kali memasuki area pabrik, pemahaman mengenal keselamatan kerja wajib disampaikan melalui kegiatan *Safety Induction*. Setiap karyawan juga diharuskan memiliki kemampuan untuk bertindak

cepat dan tepat dalam menghadapi situasi darurat. Oleh karena itu, latihan kedaruratan dilaksanakan secara rutin setiap tiga bulan sekali, dan pengecekan sirine dilakukan setiap hari jumat pukul 10.00 WIB.

b. Surat Izin Kerja

Berisi aturan bahwa setiap pekerjaan (terutama dalam kondisi darurat) harus menggunakan surat izin kerja resmi yang dikeluarkan oleh *supervisor* area dan diketahui oleh *safety engineering*, meskipun pabrik tersebut tergolong berisiko rendah secara teknis.

4.8.2 Kesehatan Kerja

Seluruh karyawan dapat mengakses layanan kesehatan melalui klinik yang tersedia di dalam area pabrik. Klinik tersebut dikelola oleh dua orang dokter, yakni satu dokter yang bertugas secara langsung (*on duty*) dan satu dokter lainnya yang dapat dipanggil sewaktu-waktu (*on call*), serta didukung oleh dua orang tenaga paramedis. Adapun layanan kesehatan yang tersedia meliputi:

- a. Pemeriksaan kesehatan bagi karyawan baru sebelum mulai bekerja
- b. Pemeriksaan kesehatan yang dilakukan secara berkala setiap tahun
- c. Penyuluhan dan pelatihan kesehatan untuk seluruh karyawan tetap

Selain fasilitas kesehatan, pabrik juga menyediakan kantin yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan gizi para karyawan. Menu yang disajikan setiap harinya bervariasi, namun tetap disesuaikan dengan standar kandungan gizi yang dianjurkan.