

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES

Unit utilitas atau pendukung proses memiliki peran penting dalam operasional industri kimia. Selain bahan baku utama, proses produksi juga membutuhkan berbagai bahan penunjang seperti air, uap (*steam*), bahan bakar, listrik, dan udara tekan. Unit utilitas ini berfungsi sebagai fasilitas penunjang yang menyuplai kebutuhan tersebut selama proses berlangsung (Peters et al., 2003). Dalam perancangan pabrik Asam Akrilat, unit pendukung proses yang disertakan antara lain mencakup :

1. Unit Penyediaan Air

Termasuk di dalamnya air umpan untuk boiler, air pendingin, air yang digunakan dalam sistem pembersihan atau perawatan, air hidran untuk keperluan pemadaman kebakaran, serta air sanitasi untuk kebutuhan domestik di lingkungan pabrik (Turton et al., 2018).

2. Unit Penyediaan Uap Air (*Steam*)

Steam digunakan untuk berbagai keperluan, antara lain sebagai media pemanas dalam proses produksi, pengoperasian sistem vakum, serta sebagai tenaga penggerak turbin uap (Towler & Sinnott, 2013).

3. Unit Penyediaan Tenaga Listrik

Mencakup pasokan listrik untuk mengoperasikan motor listrik pada peralatan pabrik, serta kebutuhan listrik untuk area perkantoran dan sistem pencahayaan di seluruh fasilitas pabrik (Peters et al., 2003).

4. Unit Penyediaan *Thermal Fluid*

Thermal fluid dimanfaatkan sebagai media penghantar panas dalam proses yang memerlukan pengendalian suhu secara presisi, misalnya pada sistem pendingin reaktor. Dibandingkan dengan air, fluida ini memiliki kestabilan termal yang lebih baik, sehingga lebih sesuai digunakan pada aplikasi dengan rentang suhu menengah hingga tinggi (Turton et al., 2018).

5. Unit Penyediaan Bahan Bakar

Termasuk di dalamnya bahan bakar untuk boiler, bahan bakar yang digunakan

oleh motor generator listrik, serta bahan bakar bagi pembangkit tenaga listrik seperti batu bara, gas alam, maupun solar (Towler & Sinnott, 2013).

6. Unit Penyediaan Udara Bertekanan (*Instrument Air*)

Mencakup udara bertekanan yang digunakan untuk mendukung sistem kontrol pneumatik serta berbagai kebutuhan dalam proses produksi (Peters et al., 2003).

4.1 Unit Pengadaan dan Pengolahan Air

Unit penyediaan air merupakan salah satu bagian dari sistem utilitas yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan air, baik untuk keperluan industri maupun domestik di lingkungan pabrik. Ketersediaan unit ini sangat penting guna menjamin kelancaran proses produksi dari awal hingga akhir (Turton et al., 2018). Untuk mencukupi kebutuhan air dalam pabrik, salah satu pilihan sumbernya adalah air permukaan. Secara umum, air permukaan dapat diperoleh dari sumur, sungai, maupun laut. Dalam rancangan pabrik Asam Akrilat ini, air baku diambil dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Cidanau, sedangkan air dari sumur bor dimanfaatkan untuk kebutuhan sanitasi. Pemilihan air sungai sebagai sumber utama didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut :

1. Lebih murah dibandingkan dengan proses pengolahan air laut yang lebih rumit dan biaya pengolahannya yang lebih besar.
2. Air sungai merupakan sumber air yang kontinuitasnya relative tinggi jika dibandingkan dengan air sumur, sehingga kendala kekurangan air dapat dihindari.
3. Letak sungai berada tidak terlalu jauh dengan pabrik (Peters, Timmerhaus, & West, 2003).

Air yang diperlukan di lingkungan pabrik adalah untuk:

1. Air untuk proses

Kebutuhan air dalam proses industri harus memenuhi persyaratan kualitas tertentu guna mencegah gangguan pada reaksi kimia serta menghindari kerusakan pada peralatan. Beberapa parameter penting yang menjadi perhatian meliputi:

- a. Kesadahan (hardness) yang dapat menyebabkan kerak.

- b. Besi yang dapat menimbulkan korosi.
- c. Minyak yang dapat menyebabkan terbentuknya lapisan film yang mengakibatkan terganggunya koefisien transfer panas serta menimbulkan endapan (Towler & Sinnott, 2013).

2. Air pendingin

Menurut Turton et al., 2018 pada umumnya, ada beberapa faktor yang menyebabkan air digunakan sebagai media pendingin, yaitu:

- a. Air merupakan materi yang dapat diperoleh dalam jumlah yang besar
- b. Mudah dalam pengaturan dan pengolahannya
- c. Dapat menyerap sejumlah panas per satuan volume yang tinggi dan tidak terdekomposisi.

3. Air umpan boiler

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penanganan air umpan boiler adalah:

- a. Zat-zat yang dapat menyebabkan korosi
Korosi disebabkan air mengandung larutan-larutan asam, gas-gas terlarut seperti O_2 , CO_2 , H_2S yang masuk ke badan air
- b. Zat yang dapat menyebabkan kerak (*scale reforming*)
Pembentukan kerak disebabkan karena adanya kesadahan dan suhu tinggi, yang biasanya berupa garam-garam karbonat dan silikat.
- c. Zat yang menyebabkan *foaming* dan *Priming*
Foaming merupakan fenomena terbentuknya busa atau gelembung di permukaan air yang ikut terbawa bersama uap (*steam*). Gejala ini bisa terjadi akibat penggunaan air hasil daur ulang dari proses pemanasan yang mengandung senyawa organik dan anorganik dalam konsentrasi tinggi. Kondisi ini umumnya muncul pada tingkat alkalinitas yang tinggi. Sementara itu, *priming* adalah terbawanya tetesan air dalam uap berupa buih atau kabut, yang berdampak pada penurunan efisiensi energi uap dan berpotensi menyebabkan terbentuknya endapan kristal garam di sistem. *Priming* dapat disebabkan oleh konstruksi boiler yang kurang baik, kecepatan alir yang berlebihan atau fluktuasi tiba-tiba dalam aliran (Cheremisinoff, 1999).

4.1.1 Unit Pengolahan Air

Keberadaan air memegang peranan penting dalam operasional pabrik kimia berskala besar, seperti pada produksi Asam Akrilat. Air dimanfaatkan untuk berbagai fungsi, mulai dari reaksi kimia, pembangkitan uap (*steam*), pendinginan peralatan, hingga kebutuhan sanitasi dan domestik. Maka dari itu, dibutuhkan sistem distribusi air yang efisien dan handal, serta dilengkapi tahap pengolahan untuk menjamin mutu air sesuai standar yang ditentukan (Turton et al., 2018; Towler & Sinnott, 2013).

Pada desain pabrik Asam Akrilat ini, air dikelompokkan menurut sumbernya. Air dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Cidanau digunakan dalam proses produksi dan unit utilitas seperti boiler dan sistem pendingin, sementara air tanah dari sumur bor dimanfaatkan untuk keperluan laboratorium, sanitasi, air minum, dan sistem proteksi kebakaran (hidran).

a. Pengolahan air proses dari air sungai

Kebutuhan air dalam pabrik dipenuhi melalui pemanfaatan air sungai yang sebelumnya harus melalui proses pengolahan agar layak digunakan. Proses pengolahan ini dapat mencakup metode fisika dan kimia. Adapun tahapan-tahapan pengolahan air tersebut adalah sebagai berikut :

1. Penyaringan Awal/*Screen*

Sebelum memasuki tahap pengolahan lebih lanjut, air sungai harus melalui proses penyaringan awal untuk memastikan kelancaran proses selanjutnya. Pada tahap ini, air dialirkan melalui screen (penyaring awal) yang berfungsi menahan kotoran berukuran besar seperti potongan kayu, ranting, daun, dan sampah lainnya. Setelah itu, air dialirkan menuju bak pengendapan (Turton et al., 2018).

2. Bak Pengendap

Setelah melewati proses penyaringan awal, air sungai dialirkan ke dalam bak pengendap awal yang berfungsi untuk mengendapkan lumpur dan partikel kotoran yang masih terbawa setelah melewati screen. Proses pengendapan ini dibantu oleh pengaduk untuk meningkatkan efektivitas

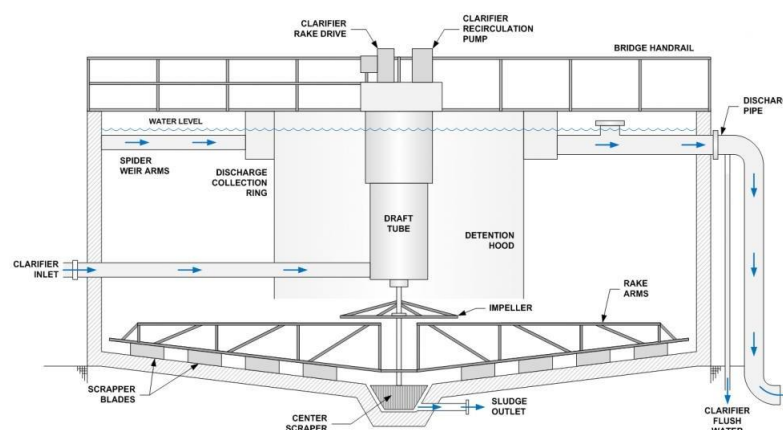
pemisahan partikel.

3. Bak Penggumpal (*Coagulation Tank*)

Air setelah melalui bak pengendap awal kemudian dialirkan ke bak penggumpal untuk menggumpalkan koloid-koloid tersuspensi dalam cairan (larutan) yang tidak mengendap di bak pengendap dengan cara menambahkan senyawa kimia. Umumnya flokulan yang biasa digunakan adalah Tawas atau alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) dan Na_2CO_3 .

4. *Clarifier*

Setelah melalui bak penggumpal, air dialirkan ke unit *clarifier* yang berfungsi untuk memisahkan dan mengendapkan gumpalan partikel hasil proses penggumpalan. Air baku yang masuk ke *clarifier* dengan aliran yang sudah diatur akan diaduk menggunakan agitator. Air jernih keluar dari *clarifier* melalui bagian tepi secara *overflow*, sementara endapan lumpur (flok) akan mengendap di dasar akibat gaya gravitasi dan dikeluarkan secara berkala melalui proses *blow down* pada waktu-waktu tertentu (Wiggins, 2019). Ilustrasi sederhana dari sistem klarifier ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Skema sederhana clarifier (Wiggins, 2019)

5. Bak Penyaring/*Sand Filter*

Setelah keluar dari *clarifier*, air dialirkan ke bak penyaringan pasir dengan tujuan untuk menyaring partikel-partikel halus yang belum terendapkan atau masih tersisa dalam air. Proses penyaringan ini menggunakan sand filter yang memanfaatkan media penyaring berupa antrasit, pasir, dan kerikil.

6. Bak Penampung Sementara

Air setelah keluar dari bak penyaring dialirkan ke tangki penampung yang siap akan kita distribusikan sebagai air perumahan/ perkantoran, air umpan *boiler*, air pendingin dan sebagai air proses.

7. Tangki Karbon Aktif

Air setelah melalui bak penampung dialirkan ke tangki Karbon Aktif. Air harus ditambahkan dengan klor atau kaporit untuk membunuh kuman dan mikroorganisme seperti amuba, ganggang dan lain-lain yang terkandung dalam air sehingga aman untuk dikonsumsi. Klor adalah zat kimia yang sering dipakai karena harganya murah dan masih mempunyai daya desinfeksi sampai beberapa jam setelah pembubuhannya (Turton et al., 2018).

8. Tangki Air Bersih

Tangki air bersih ini fungsinya untuk menampung air bersih yang telah diproses. Dimana air bersih ini digunakan untuk keperluan air minum dan perkantoran.

9. Tangki Kation *Exchanger*

Air dari bak penampung berfungsi sebagai *make up boiler*, selanjutnya air diumpankan ke tangki kation *exchanger*. Tangki ini berisi resin pengganti kation-kation yang terkandung dalam air diganti ion H^+ sehingga air yang akan keluar dari kation *exchanger* adalah air yang mengandung anion dan ion H^+ . Dalam jangka waktu tertentu, kation resin ini akan jenuh sehingga perlu diregenerasi kembali dengan menggunakan asam sulfat (H_2SO_4).

10. Tanki Anion *Exchanger*

Air yang keluar dari tangki kation *exchanger* kemudian diumpankan ke tangki anion *exchanger*. Tangki ini berfungsi untuk mengikat ion-ion negatif (anion) yang terlarut dalam air dengan resin yang bersifat basa, sehingga anion-anion seperti CO_3^{2-} , Cl^- , dan SO_4^{2-} akan terikat dengan resin. Dalam waktu tertentu, anion resin ini akan jenuh, sehingga perlu diregenerasikan kembali dengan larutan NaOH. Sebelum masuk *boiler* air diproses dalam unit *deaerator* dan unit pendingin.

11. Unit *Deaerator* (DE)

Deaerasi adalah proses pembebasan air umpan *boiler* dari gas-gas yang dapat menimbulkan korosi pada *boiler* seperti oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2). Air yang telah mengalami demineralisasi (kation *exchanger* dan anion *exchanger*) dipompakan menuju *deaerator*. Pada pengolahan air untuk (terutama) *boiler* tidak boleh mengandung gas terlarut dan padatan terlarut, terutama yang dapat menimbulkan korosi. Unit *deaerator* ini berfungsi menghilangkan gas O_2 dan CO_2 yang dapat menimbulkan korosi. Di dalam *deaerator* diinjeksikan bahan kimia berupa hidrazin (N_2H_2) yang berfungsi untuk mengikat oksigen. Sehingga dapat mencegah terjadinya korosi pada *tube boiler*. Air yang keluar dari *deaerator* dialirkan dengan pompa sebagai air umpan *boiler* (*boiler feed water*) (Smith et al., 2001).

12. Bak Air Pendingin

Pendingin yang digunakan dalam proses sehari-hari berasal dari air yang telah digunakan dalam pabrik kemudian didinginkan dalam *cooling tower*. Kehilangan air karena penguapan, terbawa udara maupun dilakukannya *blow down* di *cooling tower* diganti dengan air yang disediakan di bak air bersih.

Air pendingin harus mempunyai sifat-sifat yang tidak korosif, tidak menimbulkan kerak, dan tidak mengandung mikroorganisme yang bisa menimbulkan lumut. Untuk mengatasi hal tersebut di atas, maka ke dalam air pendingin diinjeksikan bahan-bahan kimia sebagai berikut:

- 1) Fosfat, berguna untuk mencegah timbulnya kerak.
- 2) Klorin, untuk membunuh mikroorganisme.
- 3) Zat dispersant, untuk mencegah timbulnya penggumpalan

b. Pengolahan Air Sanitasi dari Air Tanah atau Sumur Bor

Kebutuhan air sanitasi mencakup penyediaan air untuk fasilitas yang digunakan oleh pegawai. Air sanitasi ini dipergunakan untuk keperluan seperti air minum, laboratorium, kantor, serta perumahan. Mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor: 416/MEN.KES/PER/IX/1990 tentang persyaratan dan pengawasan kualitas air, terdapat beberapa ketentuan yang harus dipenuhi oleh air sanitasi, antara lain :

1. Syarat fisik: suhu di bawah suhu lingkungan, jernih, tidak mempunyai rasa, dan tidak berbau
2. Syarat kimia: tidak mengandung zat organik maupun anorganik serta tidak beracun
3. Syarat bakteriologis: tidak mengandung bakteri-bakteri, terutama bakteri patogen.
4. Syarat radioaktivitas: aktivitas alpha maksimum 0,1 Bq/L dan aktivitas beta maksimum 1 Bq/L

Proses pengolahan air sumur menjadi air sanitasi terdiri atas beberapa tahap:

1) *Well Water*

Sumber air tanah yang digunakan untuk keperluan air proses, dan air sanitasi disuplai dari beberapa sumur.

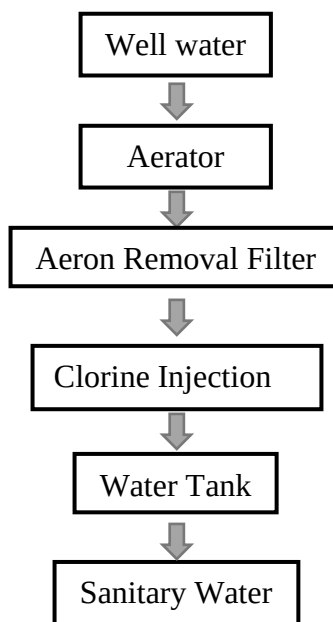
2) *Aerator*

Air sumur dialirkan ke aerator secara *counter current* dengan udara yang ditiupkan oleh blower dan mengalir turun melewati tumpukan *raschig ring*. Ion Ferro (Fe^{2+}) yang terkandung dalam air sumur hasil pengeboran mengalami proses oksidasi menjadi Ferri (Fe^{3+}), sehingga mudah mengendap dan dapat dipisahkan dengan efektif. Agar oksidasi berjalan dengan baik pada pH sekitar 7, NaOH disuntikkan ke dalam aerator untuk menetralkan keasaman air sumur.

3) *Iron Removal Filter*

Berfungsi untuk menyaring endapan-endapan dan mengurangi kadar besi yang dapat menimbulkan korosi pada peralatan. Kadar besi pada air keluar dari filter ini tidak boleh lebih dari 0,2 ppm. *Iron removal filter* berisi *Manganese Dioxide Coated Filter*. Media yang diperkuat oleh lapisan batu kerikil di bawahnya. *Manganese dioxide* ini berfungsi untuk menyempurnakan oksidasi ion-ion ferro menjadi ion-ion ferri. Selain itu dengan adanya media padat seperti pasir, zat padat yang mengambang dalam air (*suspended solid*) akan tertahan secara mekanis. Air yang melewati *iron removal filter* dipompakan ke *filtered water tank*, sebagian digunakan sebagai air sanitasi setelah diinjeksikan chlorine 1,5 ppm dan ditampung di *water*

tank. Diagram alir pengolahan air sanitasi dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Diagram alir pengolahan air sanitasi

4.1.2 Unit Penyediaan Air

a. Kebutuhan air untuk penyediaan *steam*

Air yang digunakan untuk penyediaan *steam* diambil dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Cidanau yang berdekatan dengan Kawasan Industri Serang. *Steam* dihasilkan dari *Waste heat boiler* (WHB) yang memanfaatkan panas *molten salt* yang keluar dari reaktor -01 (291,34°C) dan reaktor -02 (236°C) sebagai pendingin reactor serta *water- tube boiler*. WHB dibuat *multistage* (3 stage) untuk menghasilkan kebutuhan *steam* yaitu *steam* 182,38 kPa (118.03°C) dan dibantu oleh boiler untuk menghasilkan *steam* dengan tekanan 202,65 kPa (218°C).

Berikut ini panas yang dibutuhkan pada proses pembuatan asam akrilat dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kebutuhan *Steam* pada Proses

Alat	P <i>steam</i> (kPa)	T <i>steam</i> (°C)	Panas (kJ/jam)	m BFW (kg/jam)
Reaktor	182,38	118.03	3.640.738,18	18.607,82
Reboiler (D-01)	202,65	218	61.214.165,41	164.603,67

Panas ini akan dimanfaatkan untuk menghasilkan *steam* sekaligus mendinginkan *molten salt* kembali agar dapat digunakan sebagai pendingin reaktor. Kebutuhan total *mass flow molten salt* yang digunakan untuk mendingin reaktor sebesar 853.714,114 kg/jam.

1) WHB Stage 1-1 (Membuat *steam* 186,44 kPa / 118,03°C)

$$\begin{aligned} Q \text{ lepas} &= Q \text{ serap} \\ Q \text{ molten salt} &= Q \text{ (BFW menjadi steam)} \end{aligned}$$

Berikut ini perhitungan panas BFW (*Boiler feed water*) untuk diubah menjadi *steam* 118,03°C.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan steam } 118,03^{\circ}\text{C} &= 18.607,82 \text{ kg/jam} \\ H \text{ sensible BFW (30}^{\circ}\text{C ke 118,03}^{\circ}\text{C)} &= 7.653.052,58 \text{ kJ/jam} \\ H \text{ laten steam } 118,03^{\circ}\text{C} &= 2.207,83 \text{ kJ/kg (Smith dkk.,2001)} \\ &= 18.607,82 \text{ kg/jam} \times 2.207,83 \text{ kJ/kg} \\ &= 41082902,8 \text{ kJ/jam} \\ \text{Total panas yang diserap} &= (7.653.052,58 + 40712382,94) \text{ kJ/jam} \\ &= 48.735.955,4 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Berikut ini perhitungan suhu keluar *molten salt* dari WHB Stage 1-1 setelah diserap panasnya untuk membuat *steam* 118,03°C.

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{m \times C_p}$$

$$\begin{aligned} \text{Mass flow molten salt} &= 854776,273 \text{ kg/jam} \\ C_p \text{ molten salt} &= 0,373 \text{ BTU/lb.}^{\circ}\text{F} = 1,5616 \text{ kJ/kg.K} \\ \text{Diperoleh,} & \\ \Delta T &= 8,37^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{in}1-1} &= 238^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{out}1-1} &= 246,37^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

2) WHB Stage 1-2 dilanjutkan Boiler (Membuat *steam* 186,44 kPa / 118°C)

$$\begin{aligned} Q \text{ lepas} &= Q \text{ serap} \\ Q \text{ molten salt} &= Q \text{ (BFW menjadi steam)} \end{aligned}$$

Berikut ini perhitungan panas BFW (*Boiler feed water*) untuk diubah menjadi

steam 218°C.

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan } \textit{steam} \text{ 218}^\circ\text{C} &= 164.603,67 \text{ kg/jam H sensible BFW} \\
 (30^\circ\text{C ke } 218^\circ\text{C}) &= 26.598.417,4 \text{ kJ/jam} \\
 \text{H laten } \textit{steam} \text{ 218}^\circ\text{C} &= 1864,9 \text{ kJ/kg (Smith dkk., 2001)} \\
 &= 164.603,67 \text{ kg/jam} \times 1864,9 \text{ kJ/kg} \\
 &= 306.969.377 \text{ kJ/jam} \\
 \text{Total panas yang diserap} &= (333567795-22413358,3) \text{ kJ/jam} \\
 &= 311154437 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

Berikut ini perhitungan suhu keluar BFW pada *stage* 1-2 yang memanfaatkan panas dari *molten salt* reaktor -01 (suhu 172,2°C ke 155°C).

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sisa panas } \textit{molten salt} &= 854776,273 \text{ kJ/kg} \\
 \text{Mass flow BFW} &= 364193,76 \text{ kg/jam} \\
 \text{Dengan melakukan } \textit{trial goal geek} \text{ pada Ms. Excel, diperoleh} \\
 T_{\text{outBFW}} &= 35,38^\circ\text{C} \\
 \text{Sisa Panas yang dibutuhkan} \\
 \text{BFW} &= 76373421,90 \text{ kJ/jam.}
 \end{aligned}$$

Sehingga, dapat disimpulkan jumlah kebutuhan BFW untuk menghasilkan *steam* yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Total Kebutuhan BFW} &= (18.607,82 + 164.603,67) \text{ kg/jam} \\
 &= 4.410,31 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

b. Kebutuhan air pendingin

Air pendingin untuk pabrik diambil dari air Daerah Aliran Sungai (DAS) Cidanau yang berdekatan dengan Kawasan Industri Cilacap. Air tersebut terlebih dahulu dilakukan treatment agar sesuai dengan standar baku mutu air pendingin industri. Kebutuhan air pendingin dapat dirinci pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kebutuhan Air Pendingin pada Proses

Alat	Kebutuhan (kg/jam)
Destilasi (D-01)	4.109.024
Cooler (CO-01)	72.030,93491
Cooler (CO-02)	7.859,821342
Cooler (CO-03)	10.173,00973
CW WHB	114.723,54
	4313811,444 kg/jam
Total	103843,0037 m ³ /hari

c. Kebutuhan air sanitasi**1) Kebutuhan Air Karyawan**

Kebutuhan air untuk sanitasi dapat diambil dengan melakukan pengeboran sumur dan memompa air sumur tersebut ke bagian water treatment agar dapat memenuhi kebutuhan air sanitasi (Turton et al., 2018). Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 70 Tahun 2016 Tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri, kecukupan air untuk keperluan *hygiene* dan sanitasi dihitung dari kebutuhan minimal dikaitkan dengan perlindungan kesehatan dasar dan *hygiene* perorang.

Ketersediaan air sebanyak 20 liter/orang/hari hanya mencukupi untuk kebutuhan *hygiene* dan sanitasi minimal, sehingga untuk menjaga kondisi kesehatan pekerja yang optimal diperlukan volume air yang lebih, biasanya berkisar antara 50-100 liter/orang/hari (Cheremisinoff, 1999). Diperkirakan jumlah karyawan yang akan bekerja adalah 263 orang dengan kebutuhan air *hygiene* dan sanitasi diasumsikan 50 liter/orang/hari, maka dapat dihitung kebutuhan air karyawan yaitu:

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan air} &= 263 \text{ orang} \times 60 \text{ liter/orang/hari} \\ &= 15780 \text{ liter/hari} = 15,78 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

2) Kebutuhan Air untuk Laboratorium

Kebutuhan air untuk laboratorium diperkirakan sebesar 2,5 m³/hari.

3) Kebutuhan Air Sehari-Hari

Kebutuhan air untuk kegiatan sehari-hari yang meliputi pembersihan ruangan,

kantin, musholla, pertamanan, dan lainnya diperkirakan sebanyak 15 m³/hari.

4) Total Kebutuhan Air Sanitasi

Total kebutuhan air sanitasi merupakan total penjumlahan dari kebutuhan air karyawan, air untuk laboratorium, dan kebutuhan air sehari-hari. Dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Total air sanitasi} = (15,78 + 2,5 + 15) \text{ m}^3/\text{hari} = 33,28 \text{ m}^3/\text{hari}$$

d. Kebutuhan air hidran

Air hidran diambil dari air sumur bor dimana pre-treatmentnya sama seperti air sanitasi untuk keperluan rumah tangga pabrik. Diasumsikan kebutuhan air hidran sebesar 7 m³/hari kemudian ditampung didalam tangki air hidran.

e. Total kebutuhan air

Total kebutuhan air merupakan total kebutuhan dari air pendingin, air untuk sanitasi dan air untuk pengadaan *steam*. Berikut ini dapat dihitung total kebutuhan air untuk pabrik:

$$\text{Total kebutuhan air} = 103916,5637 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Untuk air yang bersumber dari air sumur yakni air sanitasi dan air hidran memiliki kebutuhan sebesar:

$$\text{Total kebutuhan air sumur} = (33,28 + 7) \text{ m}^3/\text{hari} = 40,28 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Untuk air yang bersumber dari air Daerah Aliran Sungai (DAS) Cidanau yakni air pendingin dan air untuk penyediaan *steam* memiliki faktor keamanan sebesar 10% untuk menjaga apabila terdapat air yang hilang ditengah proses berlangsung. Sehingga dapat dihitung kebutuhan air sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Total kebutuhan air sungai} &= (4.410,31 + 103843,0037) \times 110\% \\ &= 119078,641 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

4.2 Unit Penyediaan Listrik

Kebutuhan tenaga listrik suatu industri dapat diperoleh dari :

- Suplay listrik dari PLN atau kawan industri cilegon
- GenErator pembangkit tenaga listrik (Generator Set) sebagai cadangan (Turton et al., 2018).

Generator yang digunakan adalah generator arus bolak-balik (AC) dengan

jenis generator 3 phase, berdasarkan pertimbangan :

- Tenaga listrik yang dihasilkan cukup besar
- Tenaga dapat dinaikkan atau diturunkan sesuai dengan kebutuhan dengan menggunakan transformator.
- Daya lebih besar
- Tenaga listrik stabil
- Kawat penghantar yang digunakan lebih sedikit (Perry & Green, 2008).

Motor 3 phase harganya relatif lebih murah dan sederhana. Kebutuhan listrik untuk pabrik asam akrilat ini akan dipenuhi oleh PLN dan generator sebagai cadangan. Kebutuhan listrik di pabrik ini meliputi :

- a. Listrik untuk keperluan proses dan utilitas
- b. Listrik untuk penerangan
- c. Listrik untuk AC
- d. Listrik untuk laboratorium dan instrumentasi

a. Listrik untuk keperluan proses dan utilitas

Kebutuhan listrik untuk keperluan proses dan utilitas dapat dirincikan pada Tabel 4.3 dan 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4.3 Kebutuhan untuk Peralatan Proses

Nama Alat	Kode	Jumlah	Daya (HP)	Total Daya (HP)
Pompa feed solvent	P-01	1	3,12	3,12
Pompa umpan D-01	P-02	1	5,713	5,713
Pompa Masuk Reflux	P-03	1	6,869	6,869
Pompa masuk T-01	P-04	1	0,71767	0,71767
Blower umpan R-02	BW-01	1	70	70
Kompresor udara	C-01	1	10,108	10,108
Expander	EX-01	1	66	66
				162,529 HP
Total Daya			121,198 kW	

Tabel 4.4 Kebutuhan untuk Peralatan Utilitas

Nama Alat	Jumlah	Daya (HP)	Toyal Daya (HP)
Pompa molten salt ke R-01	1	50	50
Pompa molten salt ke R-02	1	50	50
Pompa CW ke CO-01	1	3	3
Pompa CW ke CO-02	1	3	3
Pompa CW ke CO-03	1	3	3
Pompa CW ke CD-01	1	3	3
Pompa BFW ke WHB 01	1	3	3
Pompa BFW ke WHB 02	1	3	3
Pompa BFW ke Boiler	1	5	5
Pompa intake air sungai	3	20	60
Pompa air dari unit klorinasi	2	25	50
Pompa air dari unit demin	2	25	50
Pompa air dari unit deaerasi	1	30	30
Pompa injeksi bahan kimia	4	2	8
Pompa ke tangka BFW	1	10	10
Pompa ke tangki CW	1	20	20
Total Daya			351 HP
			262,197 kW

b. Kebutuhan Listrik untuk Penerangan

Perkiraan besarnya tenaga listrik yang dibutuhkan untuk keperluan penerangan dapat ditentukan dengan melakukan pendekatan menggunakan konsep Luminous Efficacy, yaitu tenaga radiasi cahaya yang dikeluarkan oleh lampu dalam bentuk lumen. Kebutuhan pencahayaan per luas area dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\text{Lumen} = \text{Area} \times \text{Lux}$$

Dimana:

Area = luas daerah yang membutuhkan pencahayaan (m²)

Lux = Kebutuhan energi cahaya per satuan luas (lumen/m²)

Besarnya lux nilainya berbeda tergantung pada area yang akan diberi penerangan. Dalam perancangan ini digunakan nilai lux standar berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No.70 Tahun 2016 Tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri (Kementerian Kesehatan RI, 2016). Kebutuhan lumen ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Kebutuhan Listrik untuk Penerangan Pabrik

Area	Lux (lumen/m²)	Luas (m²)	Lumen
Kantor Pusat	200	800	160.000
Aula	200	500	100.000
Poli Klinik	500	400	200.000
Control Room	500	400	200.000
Kantor RnD	200	350	70.000
Kantor Diklat	200	350	70.000
Kantor HSE	200	350	70.000
Kantin & Koperasi	200	300	60.000
Perpustakaan	200	200	40.000
Masjid	150	300	45.000
Laboratorium	500	400	200.000
Fire Station	150	150	22.500
Gudang	150	250	37.500
Maintenance	200	100	20.000
Pos Keamanan	150	50	7.500
Area Utilitas	200	1.500	300.000
Area Proses	200	7.500	1.500.000
Area Pengolahan Limbah	200	1.200	240.000
Area Penyimpanan	200	1.500	300.000
Area Pengembangan	200	900	180.000
Safety Point	50	100	5.000
Area Parkir Kendaraan	150	300	45.000
Operasional			

Area	Lux (lumen/m ²)	Luas (m ²)	Lumen
Area Parkir Kendaraan	150	450	
Umum			67.500
Taman	5	500	2.500
Jalan	5	2.000	10.000
Total Area Outdoor		13.100	2.650.000

Bagian dalam ruangan, akan digunakan lampu LED Philips 21 W yang memiliki 2300 lumen (www.philips.co.id). Maka, dapat dihitung kebutuhan lampu dalam ruangan adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan lampu LED 21 W} &= 1.302.500 \text{ lumen} / 2300 \text{ lumen} \\
 &= 566 \text{ buah} \\
 \text{Daya lampu LED 21 W} &= 21 \text{ watt} \times 566 \text{ buah} \\
 &= 29444,44444 \text{ watt} \\
 &= 29,44444444 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan lampu LED 50 W} &= 2.650.000 \text{ lumen} / 4500 \text{ lumen} \\
 &= 589 \text{ buah} \\
 \text{Daya lampu LED 50 W} &= 52 \text{ Watt} \times 589 \text{ buah} \\
 &= 30622,22222 \text{ watt} \\
 &= 30,622 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Maka, total daya penerangan untuk dalam dan luar ruangan adalah :
 $29,444 \text{ watt} + 30,622 = 42, 51461353 \text{ kW}$

c. Kebutuhan Listrik untuk Pendingin Ruangan

Pendingin ruangan menggunakan AC (Air Conditioner) 1 pK low watt yang memiliki daya sebesar 660 watt. Diperkirakan AC 1 pK akan cukup untuk memenuhi kebutuhan ruangan berukuran 5×5 meter (luas 25 m^2). Sehingga, dapat dihitung total kebutuhan daya AC:

Total luas area dalam ruangan adalah 4.150 m^2 .

$$\text{Jumlah AC yang digunakan} = 4.900 \text{ m}^2 / 25 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 196 \text{ buah} \\
 \text{Total kebutuhan daya AC} &= 196 \text{ buah} \times 660 \text{ watt} \\
 &= 129.360 \text{ watt} \\
 &= 129,36 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

d. Kebutuhan Listrik untuk Laboratorium dan Instrumentasi

Kebutuhan listrik pada laboratorium dan untuk instrumentasi diperkirakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan listrik laboratorium} &= 10 \text{ kW} \\
 \text{Kebutuhan listrik instrumentasi} &= 10 \text{ kW} \\
 \text{Total kebutuhan daya lab} &= 20 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

e. Total Kebutuhan Listrik

Total kebutuhan listrik merupakan jumlah dari kebutuhan daya pada penerangan unit proses/utilitas, kebutuhan daya pendingin ruangan (AC), kebutuhan daya di laboratorium dan instrumentasi, serta energi tambahan dari turbin expander. Dapat dihitung total kebutuhan listrik pabrik asam akrilat adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Total Kebutuhan Listrik} &= 572,96 \text{ kW} \\
 \text{Faktor Keamanan (10\%)} &= 630,26 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

f. Perancangan Generator

Generator hanya digunakan sebagai cadangan apabila ada gangguan supply dari PLN, sebagai tenaga cadangan, digunakan generator dengan efisiensi sebesar 80 %, dengan nilai kebutuhan listrik sebesar 630,26 kW, maka kebutuhan daya aktual generator adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Daya aktual (P)} &= 630,26 \text{ kW} / 0,80 \\
 &= 504,2 \text{ kW} \sim 505 \text{ kW} \\
 &= 1.716.307,426 \text{ BTU/jam}
 \end{aligned}$$

Bahan bakar dari generator menggunakan solar (fuel oil no. 2). Berikut ini data karakteristik dari solar (Flagan dan Sinfield, 1988) :

$$\begin{aligned}
 \text{Heating value} &: 45.500 \text{ kJ/kg} = 19.561,49 \text{ BTU/lb} \\
 \text{Specific gravity} &: 0,865
 \end{aligned}$$

Maka, dapat dihitung densitas solar adalah :

$$\text{Specific gravity} = \frac{\rho}{\rho_{air}}$$

Jika densitas air pada suhu 25°C adalah 1,0274 kg/L, maka densitas solar:

$$\begin{aligned}\rho_{solar} &= 0,865 \times 1,0274 \text{ kg/L} \\ &= 0,8887 \text{ kg/L} \\ &= 55,4826 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

Kebutuhan bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}m &= \frac{P}{\text{Heating Value}} \\ m &= \frac{1.716.307,426 \frac{BTU}{hr}}{19.561,49 \frac{BTU}{lb}} = 87,7390 \frac{lb}{hr}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, maka diperlukan 1 generator sebagai tenaga cadangan untuk keperluan industri.

Spesifikasi Generator :

Tipe : Genset Diesel
Kapasitas : 1300 kW (1,3 MW)
Tegangan : 380 V
Efisiensi : 80%
Bahan bakar : Solar

4.3 Unit Penyediaan *Thermal Fluid*

Proses pendinginan pada reaksi industri yang sangat eksotermis membutuhkan media pendingin dengan kapasitas panas spesifik (C_p) yang tinggi serta kestabilan pada suhu tinggi. Salah satu jenis fluida yang sesuai dengan kebutuhan tersebut adalah thermal fluid berupa molten salt tipe HITEC. Dibandingkan dengan air, molten salt ini menawarkan kelebihan karena tidak mudah menguap dan mampu mentransfer panas secara lebih efisien (Felthouse et al., 2001).

Jenis thermal fluid yang digunakan adalah molten salt HITEC yang mengandung 53%w KNO_3 , 40%w $NaNO_2$, 7%w $NaNO_3$ (Felthouse dkk., 2001). Nilai C_p dari molten salt HITEC adalah 0,373 BTU/lb.°F. Molten salt dipilih karena memiliki range suhu yang besar agar dapat diaplikasikan sebagai pendingin reaktor

yang reaksinya sangat eksotermis. Range suhu molten salt untuk digunakan sebagai media pemanas atau pendingin dapat mencapai 149 - 538°C (Coastal Chemical Co., n.d.).

Molten salt digunakan sebagai fluida pendingin yang mengalir pada shell reaktor fixed-bed multitubular. Kebutuhan molten salt untuk mendinginkan R-01 dan pada R-02 sebesar 853.714 kg/jam.

4.4 Unit Penyediaan Uap Air (*Steam*)

Steam digunakan untuk memenuhi kebutuhan pemanas pada beberapa alat seperti *heat exchanger* atau *reboiler*. *Steam* yang digunakan diperoleh dari pemanfaatan panas melalui WHB (*Waste heat boiler*) *multistage* yang terdiri dari 3 *stage*. Sebagai umpan, digunakan air umpan *boiler* (*Boiler feed water* atau BFW) yang diolah dari air Daerah Aliran Sungai (DAS) Cidanau, Cilegon.

Steam yang digunakan sebagai pemanas adalah *steam* jenuh (*saturated steam*) yang masing-masingnya adalah:

- LPS (*Low Pressure Saturated Steam*) pada tekanan 182,38 kPa dan suhu 118,03°C sebagai bahan baku masuk Reaktor (R-01) melalui Furnace (F-01).
- LPS (*Low Pressure Saturated Steam*) pada tekanan 202,65 kPa dan suhu 218°C untuk Reboiler pada Kolom Destilasi (D-01).

Seperti yang telah dipaparkan di sub-bab kebutuhan air untuk pengadaan *steam*, *steam* yang dihasilkan WHB perlu dibantu dengan keberadaan *boiler*. *Boiler* yang digunakan merupakan jenis *fired-tube* karena memiliki nilai *annual cost* yang lebih murah dibandingkan jenis *water-tube*. Kebutuhan *steam* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Kebutuhan *steam* pada proses

Alat	Suhu (°C)	Kapasitas (kg/jam)	Presentase	H vapor (kJ/kg)
Reaktor (R-01)	118,03	18.607,82	10,16 %	574,15
Reboiler (D-01)	218	164.603,666	89,84 %	367,47
Total		183.211,48	100%	941,11

4.4.1 Kapasitas *Boiler*

Total kapasitas kebutuhan <i>steam</i>	= 183.211,486 kg/jam
<i>Blowdown</i> (10% kapasitas <i>steam</i>)	= 10% × 183211,486 kg/jam = 18.321,1486 kg/jam
Umpan masuk <i>boiler</i> (BFW)	= Total kapasitas + <i>Blowdown</i> = (183.211,486+18.321,148) kg/jam = 201.532,635 kg/jam
Kondensat kembali (95% <i>steam</i>)	= 95% × 183.211,48 kg/jam = 174.050,912 kg/jam
Kondensat yang hilang (5% <i>steam</i>)	= 5% × 183.211,48 kg/jam = 9.160,57 kg/jam
<i>Make-up</i> air <i>boiler</i> (BFW)	= <i>Blowdown</i> + Kondensat Hilang = (18.321,1486 + 9.160,57) kg/jam = 27.481,723 kg/jam

Berikut ini perhitungan jumlah kondensat kembali dan *make-up* air yang masuk ke *boiler* serta suhu campuran keduanya:

$$H = m \times \int C_p dT$$

Kondensat suhu 118,03°C	= (10,16%) × 18.607,82 kg/jam = 1.030,904 kmol/jam
Panas kondensat 118,03°C	= 10.662.876,82 kJ/jam
Kondensat suhu 218°C	= (89,84%) × 164.603,666 kg/jam = 9.119,32 kmol/jam
Panas kondensat 218°C	= 9.119,32 kmol/jam × 14.975,5 kJ/kmol = 259393403,073 kJ/jam
Kondensat suhu 218°C	= (6,9%) × 394432,88 kg/jam = 27221,81 kg/jam = 1511,063 kmol/jam
Panas kondensat 218°C	= 136.566.327,2 kJ/jam
<i>Make-up</i> air suhu 30°C	
Panas <i>make-up</i> air 30°C	= 1522,533 kmol/jam × 377,49 kJ/kmol = 574741,0298 kJ/jam

Maka, suhu campuran dapat ditrial dan diperoleh suhu campuran kondensat dan *make-up* air adalah 122,01°C. Dari suhu campuran, dapat diperoleh nilai *H liquid* campuran yaitu 793,1035 kJ/kg (Smith dkk., 2001).

Dapat dihitung *Q total boiler* adalah:

$$Q_{boiler} = 25.764.378,39 \text{ kJ/jam}$$

Dengan efisiensi *boiler* yaitu 85%, maka *Q actual boiler* adalah:

$$\begin{aligned} Q_{boiler} \text{ aktual} &= 21.899.721,63 \text{ kJ/jam} \\ &= 20.760.936 \text{ BTU/jam} \\ &= 8.159,355 \text{ HP} \end{aligned}$$

Dapat menggunakan *boiler* sebesar 8.200 – 8.300 HP.

4.4.2 Kebutuhan Bahan Bakar Boiler

Bahan bakar dari *boiler* menggunakan solar. Berikut ini data karakteristik dari solar (Flagan dan Sinfield, 1988):

$$\text{Heating value} : 45.500 \text{ kJ/kg} = 19561,4965 \text{ BTU/lb}$$

$$\text{Specific gravity} : 0,86581$$

Maka, dapat dihitung densitas solar adalah:

$$\text{Specific gravity} = \frac{\rho}{\rho_{air}}$$

Diketahui densitas air pada suhu 25°C adalah 1,02745 kg/L, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Densitas solar} &= 0,865 \times 1,02745 \text{ kg/L} \\ &= 0,888746 \text{ kg/L} \\ &= 55,48268 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

Laju bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned} m &= \frac{\text{daya boiler}}{\text{heating value} \times \mu} \\ &= \frac{20.760.936,11 \frac{\text{BTU}}{\text{jam}}}{19.561,4965 \times 0,8} \end{aligned}$$

Atau laju volumetrik dari bahan bakar *boiler* dapat dihitung sebagai berikut

$$v = \frac{\text{laju bahan bakar}}{\text{densitas bahan bakar}} = \frac{1.326,407878 \text{ lb/jam}}{55,48268 \text{ lb/ft}^3} = 23,886 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

4.5 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Unit ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar pada furnace dan boiler, pada furnace digunakan bahan bakar berupa batu bara sebesar 933 kg/jam. Batu bara diperoleh dari PT. Manambang Muara Enim, pemilihan batu bara didasarkan karena harganya murah dan memiliki nilai kalor yang tinggi.

Sifat fisis batu bara :

- Q. Berat Jenis : 1,25 – 1,70 gr/cm³
 R. Nilai Kalor : 5.800 kkal/kg

Bahan bakar solar digunakan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar boiler dan standby- generator dengan kebutuhan sebesar 1.326,41 lb/jam dan 87,74 lb/jam. Bahan bakar ini diperoleh dari Pertamina atau distributornya. Pemilihan bahan bakar cair didasarkan pada pertimbangan:

- Mudah didapat
- Kesetimbangannya terjamin
- Mudah dalam penyimpanan

Sifat fisis bahan bakar solar:

- Heating value = 19440 Btu/lb
- Efisiensi bahan bakar = 80%
- s.g. solar = 0,8691
- ρ solar = 54,26 lb/ft

(Turton et al., 2018; Felder & Rousseau, 2005).

4.6 Unit Penyediaan Udara Tekan

Penggunaan udara instrumen dalam sistem utilitas pabrik sangat krusial untuk mengoperasikan kendali pneumatik di seluruh unit proses dan utilitas. Udara bertekanan ini dihasilkan melalui kompresor, lalu didistribusikan melalui jaringan pipa khusus. Agar sistem berjalan optimal, kualitas udara instrumen harus memenuhi standar tertentu yakni bebas dari kelembapan, minyak, dan partikel padat guna mencegah kerusakan atau gangguan pada peralatan pengukuran maupun aktuator pneumatik (Turton et al., 2018). Sistem udara tekanan tersusun atas beberapa komponen, yaitu :

- Filter Udara Masuk: Mencegah debu masuk kompresor. Debu menyebabkan

lengketnya katup/kran, merusak silinder dan pemakaian berlebihan.

- Pendingin Antar Tahap: Penurunan suhu udara sebelum masuk ke tahap berikutnya untuk mengurangi kerja kompresi dan meningkatkan efisiensi. Biasanya digunakan pendingin air.
- After-Coolers: Tujuannya adalah membuang kadar air dalam udara dengan penurunan suhu dalam penukar panas berpendingin air.
- Pengering Udara: Sisa-sisa kadar air setelah after-coolers dihilangkan dengan menggunakan pengering udara, karena udara tekan untuk keperluan instrumen dan peralatan pneumatic harus bebas dari kadar air. Kadar air dihilangkan dengan menggunakan adsorben seperti gel silika/karbon aktif atau pengering refrigeran atau panas dari pengering kompresor itu sendiri.
- Traps Pengeluaran Kadar Air: Trap pengeluaran kadar air digunakan untuk membuang kadar air dalam udara tekan. Trap tersebut menyerupai *steam trap*. Berbagai jenis trap yang digunakan adalah kran pengeluaran manual, klep pengeluaran otomatis atau yang berdasarkan waktu, dll.
- Penerima udara : Tangki penerima (receiver tank) berperan sebagai wadah penyimpanan udara sementara sekaligus meredam perubahan tekanan yang terjadi akibat kerja kompresor. Jenis kompresor yang banyak diaplikasikan adalah kompresor tipe *reciprocating*, karena mampu menyediakan aliran udara stabil pada tekanan tertentu dan kapasitasnya sebanding dengan kecepatan operasionalnya. Kompresor ini tersedia dalam berbagai bentuk, antara lain horizontal, vertikal, *balance-opposed*, serta tandem (Coulson & Richardson, 1999).

Pada proses pembuatan udara instrumen, udara pabrik yang berasal kompressor masuk ke Instrument Air Receiver untuk dipisahkan kandungan airnya dan sebagai penampung udara sementara pada tekanan 8.0 kg/cm^2 . Dari Receiver ini, udara masuk ke filter inlet yang berfungsi untuk menyaring kotoran-kotoran dan minyak yang terbawa dan kemudian udara masuk melalui 4-way valve ke salah satu Dryer (A atau B) yang berisi Silica Gel atau Activated Alumina. Kandungan air di udara (moisture) akan diserap oleh Silica Gel atau Activated Alumina yang bersifat higroskopis. Setelah keluar dari Dryer, udara yang telah kering disaring

kembali di filter outlet. Udara Instrumen yang keluar dari Dryer mempunyai tekanan 7.0 kg/cm^2 dan titik embun (dew point) sekitar -40°C .

4.7 Unit Pengolahan Limbah

4.7.1 Unit Pengolahan Limbah Cair

Limbah cair pada perancangan pabrik asam akrilat ini secara garis besar berasal dari limbah proses dan limbah rumah tangga. Secara umum proses pengolahan limbah yang akan digunakan ialah menggunakan pengolahan biologis dengan bantuan *activated sludge* untuk menurunkan nilai BOD dari limbah air yang dihasilkan. Pengolahan sebagian limbah cair berlangsung di water treatment. Sedangkan untuk lokasi pemantauan dari limbah ini terletak pada bak netralisasi, drainase, outfall dalam, dan outfall luar. Teknik pemantauan dilakukan dengan alat water sampler dan kemudian diukur dalam laboratorium.

Beberapa titik penting dijadikan lokasi pemantauan limbah cair, di antaranya adalah bak netralisasi, saluran drainase, outfall internal, dan outfall eksternal. Proses pemantauan dilakukan dengan bantuan alat water sampler, kemudian berbagai parameter kualitas air seperti BOD, COD, pH, dan total suspended solids (TSS) dianalisis lebih lanjut di laboratorium. Langkah ini merupakan bagian dari upaya untuk memastikan kepatuhan terhadap standar lingkungan yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.68/MENLHK/Setjen/KUM.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah.

4.7.2 Unit Pengolahan Limbah Gas

Pengendalian emisi gas buang dari unit proses pada pabrik Asam Akrilat memerlukan perhatian khusus, terutama untuk gas-gas yang mudah terbakar karena dapat memicu risiko kebakaran atau ledakan. Untuk mengantisipasi hal tersebut, sistem pengolahan gas dirancang menggunakan metode gas scrubbing sebelum gas dilepaskan ke atmosfer melalui cerobong (stack). Secara khusus, gas sisa dari unit Absorber (AB-01) diarahkan terlebih dahulu ke unit venturi scrubber, di mana gas tersebut disemprot dengan air. Tujuan dari proses ini adalah untuk menangkap serta melarutkan senyawa berbahaya dalam gas ke dalam air, sehingga mencegah emisi langsung ke lingkungan.

Air hasil kontak dengan gas yang telah tercemar kemudian dikumpulkan

dan dialirkan ke sistem pengolahan limbah cair untuk ditangani lebih lanjut. Sementara itu, bagian gas yang belum terserap pada tahap awal akan dialirkan ke cerobong yang telah dilengkapi dengan material pengisi (packing). Di dalam cerobong, gas kembali disemprot air (water spray) guna menurunkan konsentrasi sisa senyawa berbahaya sebelum akhirnya dilepas ke udara bebas. Pendekatan ini selaras dengan prinsip pengendalian pencemaran udara yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 1995 mengenai Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak.

4.7.3 Unit Pengolahan Limbah Padat

Limbah padat berasal dari unit proses, yaitu reaktor R-01, reaktor R-02, dan kegiatan domestik/rumah tangga. Limbah padat dari kegiatan proses berupa katalis bekas diserahkan ke PT. Pasadena Metric Indonesia sebagai pihak ketiga pengolah limbah B3. Limbah padat dari kegiatan domestik dibuang terlebih dahulu pada Tempat Pembuangan Sementara (TPS) di dalam area pabrik yang terletak di unit pengolahan limbah. TPS berjumlah 3. Setelah limbah padat terkumpul, limbah tersebut akan dikirimkan ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) terdekat.

4.7.4 Unit Pengolahan Limbah B3

Sesuai definisi pada Undang Undang 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang dimaksud dengan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan, merusak lingkungan hidup, dan/atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya. Air buangan dari laboratorium dan limbah cair proses mempunyai karakteristik yang mengandung bahan – bahan kimia berbahaya dan harus dipisahkan dengan proses kimia. Bahan-bahan ini termasuk limbah B3 karena beracun, menyebabkan infeksi, dan bersifat korosif. Selain itu, katalis yang telah habis umurnya juga termasuk limbah B3. Berikut merupakan baku mutu air limbah B3 berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 yang dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Baku Mutu Air Limbah B3

Parameter	Konsentrasi Maksimal	
	Nilai	Satuan
pH	6-9	mg/L
Besi terlarut (Fe)	5	mg/L
Mangan terlarut (mn)	2	mg/L
Barium (Ba)	2	mg/L
Tembaga (Cu)	2	mg/L
Seng (Zn)	5	mg/L
Krom valensi enam	0,1	mg/L
Krom total (Cr)	0,5	mg/L
Kadmium (Cd)	0,05	mg/L
Merkuri (Hg)	0,002	mg/L
Timbal (Pb)	0,1	mg/L
Stanum (Sn)	2	mg/L
Arsen (As)	0,1	mg/L
Selenium (Se)	0,05	mg/L
Nikel (Ni)	0,2	mg/L
Kobalt (Co)	0,4	mg/L
Sianida (CN)	0,05	mg/L
Sulfida	0,05	mg/L
Fluorida (F-)	2	mg/L
Klorin bebas (Cl ₂)	1	mg/L
Amonia bebas (NH ₃ -)	1	mg/L
Nitrat (NO ₃ -N)	20	mg/L
Nitrit (NO ₂ -N)	1	mg/L
Senyawa aktif biru	5	mg/L
Fenol	0,5	mg/L
AOX	0,5	mg/L
PCBs	0,05	mg/L
PCDFs	10	mg/L
PCDDs	10	mg/L

4.8 Unit Pemeliharaan (*Maintenance*)

Untuk menjaga kestabilan mesin dan operasi seluruh peralatan yang ada di unit-unit pesawat pemipaan, pompa-pompa, maka perlu adanya satu unit pemeliharaan (*maintenance*) yang mampu memberikan service dan pelayanan pada setiap unit yang ada (Mobley, 2002). Tugas dan pekerjaan yang ditangani unit pemeliharaan dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a. *Unit maintenance*, yang meliputi pekerjaan pemeriksaan, pengecekan, pembersihan, dan identifikasi masalah.
- b. *Refresive maintenance*, yang meliputi bidang pekerjaan service, ganti suku cadang dan modifikasi alat.
- c. *Rehabilitasi maintenance*, yang meliputi bidang pekerjaan penggantian seperangkat alat proses, perencanaan suku cadang maupun peralatan baru (Smith & Hinchcliffe, 2004).

Unit maintenance yang ada dipabrik ini dibagi dalam tiga sub unit, yaitu:

1. Unit pemeliharaan mekanik, bertugas mengontrol, memperbaiki alat proses, pompa- pompa, dan pipa-pipa.
2. Unit pemeliharaan listrik, bertugas mengontrol, memperbaiki dan pemasangan bila terjadi gangguan pada aliran listrik.
3. Unit instrument, bertugas mengontrol, memperbaiki peralatan-peralatan instrumentasi apabila terjadi gangguan atau kerusakan.

Kegiatan overhaul atau pemeliharaan menyeluruh biasanya dilakukan setiap dua tahun sekali, umumnya pada bulan Januari. Proses ini mencakup pembersihan kerak pada vessel, perbaikan pompa, serta perawatan lengkap terhadap heat exchanger. Langkah ini mengikuti standar pemeliharaan industri yang tercantum dalam *Plant Engineer's Handbook* (Black, 2001) dan juga mengacu pada pedoman perawatan peralatan dari American Society of Mechanical Engineers (ASME).

4.9 Unit Laboratorium

Keberadaan laboratorium memiliki peran vital dalam operasional pabrik, karena berfungsi sebagai pusat analisis untuk memastikan mutu bahan baku, produk akhir, dan limbah hasil proses industri. Laboratorium membantu dalam penerapan sistem pengendalian mutu (*quality control*) guna menjamin bahwa seluruh

parameter produksi tetap berada dalam batas spesifikasi yang ditetapkan. Di samping itu, laboratorium juga berperan dalam pemantauan aspek lingkungan, khususnya melalui analisis terhadap limbah cair, emisi gas, dan limbah padat yang dihasilkan selama proses produksi (Skoog et al., 2013). Tugas pokok laboratorium adalah sebagai berikut:

1. Sebagai pengontrol kualitas bahan baku, apakah sudah memenuhi spesifikasi atau tidak.
2. Sebagai pengontrol kualitas produk, apakah sudah memenuhi standar spesifikasi atau belum.
3. Melakukan kontrol dan analisa terhadap jalannya proses produksi yang ada kaitannya dengan tingkat pencemaran lingkungan yang meliputi polusi udara, limbah cair, maupun limbah padat yang dihasilkan unit-unit produksi
4. Melakukan analisa dan kontrol terhadap mutu air, air pendingin, air umpan boiler, dan lain-lain yang berkaitan langsung dengan proses produksi.

4.9.1 Program Kerja Laboratorium

Untuk menjamin kualitas produk serta efisiensi proses produksi, laboratorium mutu memiliki peran sentral dalam melakukan berbagai pengujian dan pengawasan terhadap bahan baku, produk antara, produk akhir, serta unit utilitas yang mendukung operasional pabrik. Aktivitas laboratorium dioptimalkan melalui penetapan parameter kunci yang wajib diuji secara berkala sesuai dengan standar industri kimia dan ketentuan lingkungan yang berlaku (Skoog et al., 2013; ASTM, 2021).

Ruang lingkup pengujian yang dilaksanakan oleh laboratorium pada pabrik asam akrilat mencakup:

1. Analisa bahan baku Propylene meliputi: analisa kadar hidrokarbon, viskositas, *specific gravity*. Sedangkan, analisa untuk udara yang digunakan dalam reaksi adalah humiditas dan *specific gravity*.
2. Analisa terhadap produk utama yaitu asam akrilat, yang meliputi analisa kemurnia, kadar impuritas, viskositas, *specific gravity*.

Sedangkan analisa di unit utilitas meliputi:

3. Analisa *Boiler Feed Water* (BFW), meliputi analisa dissolved oxygen, pH,

hardness, total solid, suspended solid, serta oil dan organic matter

4. Analisa air proses penjernihan, yang dianalisa adalah pH, SiO_2 , Ca sebagai CaCO_3 , sulfur sebagai SO_4^{+} , chlor sebagai Cl_2 dan zat terlarut.
5. Analisa penukar ion, meliputi kesadahan CaCO_3 , silikat sebagai SiO_2 untuk menjamin efektivitas demineralisasi air.
6. Analisa cooling water meliputi pH jenuh CaCO_3 dan indeks langelier guna memantau potensi air dalam menyebabkan pembentukan kerak atau menimbulkan sifat korosif.
7. Analisa air minum meliputi analisa pH, chlor sisa dan kekeruhan sesuai baku mutu air minum (Permenkes No. 492/MENKES/PER/IV/2010).

Berikut ini tabel perincian program kerja dari laboratorium di Pabrik Asam Akrilat untuk menganalisa bahan baku, produk, air yang digunakan dalam proses, maupun pada unit utilitas yang dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Parameter Uji Program Laboratorium

Parameter Uji	Tujuan Pengujian	Alat Uji
Analisa Bahan Baku Propylen	• Analisa kemurnian propylene, kadar propylene dan propane	GC-MS
	• Analisa <i>specific gravity</i>	<i>Effusiometer</i>
Analisa Udara	• Analisa humidity dan temperature	<i>Hygrometer</i>
	• Analisa <i>specific gravity</i>	<i>Effusiometer</i>
Analisa Produk Asam Akrilat	• Analisa kemurnian, kadar As. Akrilat, As. Asetat dan air	GC-MS
	• Analisa <i>specific gravity</i>	<i>Effusiometer</i> Viskosimeter
	• Analisa viskositas	
Analisa Sanitasi Air	• Analisa kekeruhan air	<i>Turbidity meter</i>
	• Analisa pH	pH meter
	• Analisa kadar TDS (Total Dissolved Solid)	TDS meter
	• Analisa kandungan logam pada air	AAS

Analisa BFW (Boiler feed water)	• Analisa dissolved oxygen (oksigen terlarut dalam air)	DO Meter
dan CW (Cooling Water)	• Analisa kadar BOD (Biological Oxygen Demand)	BOD Meter
	• Analisa kadar TDS (Total Dissolved Solid)	TDS Meter pH Meter
	• Analisa pH	Water
	• Analisa kesadahan air	Hardness
	• Analisa kandungan logam pada air	Testes AAS
	• Analisa <i>specific gravity</i>	

4.9.2 Laboratorium Fisik

Peran laboratorium di pabrik kimia sangat penting dalam menjamin kualitas proses dan hasil produksi. Salah satu fungsi utamanya adalah melakukan analisis serta pengujian terhadap berbagai aliran (*stream*) dari unit proses, mencakup bahan baku, produk antara, produk akhir, hingga produk samping. Berdasarkan hasil analisis tersebut, laboratorium akan menerbitkan *Certificate of Quality* (COQ) yang berisi hasil uji serta kesesuaiannya dengan spesifikasi teknis yang telah ditentukan.

Pengujian yang dilakukan mencakup analisis sifat fisika dan kimia dari berbagai sampel, di antaranya:

1. *Specific gravity*: Menunjukkan densitas relatif terhadap air, berguna untuk pengendalian mutu dan perhitungan neraca massa.
2. Viskositas kinematik: Menggambarkan kemampuan fluida untuk mengalir, yang berperan penting dalam proses pencampuran dan transportasi.
3. Kadar air: Diperlukan untuk menilai kemurnian serta kestabilan produk kimia.

Pemeriksaan ini tidak hanya difokuskan pada pemenuhan spesifikasi, tetapi juga berfungsi untuk menjaga kestabilan operasional dan mencegah terjadinya kontaminasi antar produk. Selain itu, laboratorium juga memberikan dukungan terhadap kegiatan optimasi proses, penanganan gangguan operasional, serta pemantauan aspek lingkungan.

4.9.3 Laboratorium Analitik

Kerja dan tugas dari laboratorium ini adalah melakukan analisa terhadap sifat– sifat kandungan kimiawi bahan baku, bahan penunjang, produk intermediate, produk akhir, kadar air dan bahan–bahan kimia yang digunakan misalnya zat adiktif, kadar impuritas bahan baku maupun produk akhir (Skoog et al., 2013; Perry & Green, 2008).

4.9.4 Laboratorium Penelitian dan Pengembangan

Kerja dan tugas dari laboratorium ini adalah melakukan penelitian dan pengembangan terhadap permasalahan yang berhubungan dengan kualitas material terkait dengan proses untuk meningkatkan hasil akhir. Sifat dari laboratorium ini tidak rutin dan cenderung melakukan penelitian hal-hal yang baru untuk keperluan pengembangan dan senantiasa melakukan penelitian terhadap kondisi lingkungan (Skoog et al., 2013; Perry & Green, 2008).

4.9.5 Metode Analisa

Metoda analisa dan instruksi kerja untuk analisa dikerjakan sesuai dengan instruksi kerja yang disusun sedemikian rupa dengan acuan dari berbagai standar analisa, antara lain ASTM, SII, DIN, dan JIS.

Alat Analisa :

- a. *Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS)*, untuk menganalisa kandungan Fe, Si, Cu, dan logam lainnya pada air, serta analisa silikat sebagai SiO_2 pada resin penukar ion.
- b. *Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC-MS)*, untuk meng-analisa kandungan dan besar komposisi dari bahan baku gas dan produk cair.
- c. *Effusiometer*, untuk mengukur spesifik gravity fluida gas.
- d. *Hydrometer*, untuk mengukur *specific gravity* fluida cair.
- e. *Hygrometer*, untuk mengukur kelembaban (humidity) dan suhu gas.
- f. *Viscosimeter*, untuk mengukur viskositas cairan
- g. pH-meter, untuk mengetahui tingkat keasaman dan kebasaan cairan.
- h. *Turbidity meter*, untuk mengukur tingkat kekeruhan air.
- i. DO (*Dissolved oxygen*) meter, untuk mengukur jumlah oksigen terlarut pada air.
- j. BOD (*Biological Oxygen Demand*) meter, untuk mengukur jumlah oksigen

dalam air yang dibutuhkan untuk mikroorganisme hidup di air tersebut.

- k. *Water Hardness Tester*, untuk menganalisa kesadahan air.
- l. TDS (*Total Suspended Solid*) meter, untuk mengukur jumlah padatan terlarut dalam air.
- m. *Priming* dapat disebabkan oleh konstruksi boiler yang kurang baik, kecepatan alir yang berlebihan atau fluktuasi tiba-tiba dalam aliran.

1. Air Sanitasi

Air sanitasi dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan domestik dan perkantoran di lingkungan perusahaan, seperti air minum, keperluan laboratorium, dan sebagainya. Air yang digunakan untuk tujuan ini harus memenuhi standar dan kriteria tertentu agar layak digunakan :

a. Syarat fisik:

- Suhu normal di bawah suhu udara luar
- Warna jernih
- Tidak berasa dan berbau

b. Syarat kimia:

- Tidak mengandung zat organik maupun anorganik
- Tidak beracun

c. Syarat bakteriologis:

Tidak mengandung bakteri-bakteri, terutama bakteri patogen, seperti *Salmonella*, *Pseudomonas*, *Escherichia coli*.