

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES

Dalam industri kimia, unit utilitas berperan penting sebagai sistem penunjang operasi pabrik. Selain bahan baku utama, proses produksi juga membutuhkan sejumlah media pendukung seperti air, uap, bahan bakar, listrik, dan udara tekan. Unit utilitas memastikan ketersediaan media ini secara kontinu dan efisien guna menjaga kelancaran proses produksi (Peters, Timmerhaus, & West, 2003). Pada perancangan pabrik asam akrilat, beberapa unit pendukung utama yang disediakan antara lain sebagai berikut:

1. Sistem Penyediaan Air

Unit ini menyediakan berbagai jenis air sesuai fungsinya, seperti air umpan untuk boiler, air pendingin dalam sistem pertukaran panas, air untuk kegiatan pembersihan dan sanitasi, air hidran untuk sistem pemadam kebakaran, serta air domestik untuk kebutuhan fasilitas umum dan personalia di area pabrik (Turton et al., 2018).

2. Sistem Penyediaan Uap (*Steam*)

Uap air memiliki fungsi utama sebagai media pemanas dalam proses kimia. Selain itu, uap juga dimanfaatkan sebagai sumber energi penggerak turbin serta digunakan dalam sistem vakum berbasis ejektor uap. Oleh karena itu, sistem pembangkitan dan distribusi uap harus dirancang secara andal dan efisien (Towler & Sinnott, 2013).

3. Sistem Penyediaan Listrik

Pasokan listrik mendukung pengoperasian berbagai peralatan proses seperti pompa, blower, dan kompresor, serta kebutuhan listrik untuk sistem pencahayaan, kontrol proses, dan kegiatan operasional di area perkantoran pabrik (Peters et al., 2003).

4. Sistem *Thermal Fluid*

Thermal fluid digunakan sebagai media perpindahan panas dalam kondisi proses tertentu yang membutuhkan kontrol temperatur presisi, seperti dalam sistem pendinginan reaktor. Thermal fluid memiliki kestabilan termal lebih tinggi dibanding air, sehingga cocok untuk aplikasi suhu menengah hingga tinggi (Turton et al., 2018).

5. Sistem Penyedia Bahan Bakar

Unit ini menyuplai bahan bakar untuk keperluan pembakaran di boiler, furnace, maupun generator listrik darurat. Jenis bahan bakar yang umum digunakan meliputi gas alam, solar, atau batubara, tergantung dari ketersediaan dan kebijakan energi yang diterapkan (Towler & Sinnott, 2013).

6. Sistem Udara Tekan (*Instrument Air*)

Udara bertekanan digunakan untuk mengoperasikan alat kontrol berbasis pneumatik, seperti katup kendali otomatis dan aktuator. Selain itu, udara tekan juga digunakan dalam proses peniupan atau pembersihan internal peralatan produksi (Peters et al., 2003).

4.1 Unit Pengadaan dan Pengolahan Air

Unit penyediaan air merupakan bagian esensial dari sistem utilitas yang bertugas memenuhi seluruh kebutuhan air di lingkungan pabrik, baik untuk keperluan proses industri maupun kebutuhan domestik. Keberadaan unit ini sangat krusial guna memastikan kelancaran operasional pabrik secara keseluruhan, mulai dari tahap awal produksi hingga akhir (Turton et al., 2018).

Salah satu sumber air yang umum digunakan dalam industri adalah air permukaan, seperti yang berasal dari sungai, sumur, atau laut. Dalam perancangan pabrik asam akrilat ini, air baku diambil dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Cidanau, sementara air dari sumur bor dimanfaatkan khusus untuk sanitasi. Pemilihan sungai sebagai sumber utama didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut:

1. Efisiensi Ekonomi : Pengolahan air sungai lebih sederhana dan biaya operasionalnya lebih rendah dibandingkan dengan air laut, yang membutuhkan proses desalinasi kompleks dan mahal.
2. Ketersediaan Berkelanjutan: Sungai memiliki kontinuitas pasokan air yang relatif lebih stabil dibandingkan dengan sumber air tanah.
3. Kedekatan Lokasi: Letak sungai yang berdekatan dengan lokasi pabrik menurunkan biaya distribusi dan infrastruktur (Peters, Timmerhaus, & West, 2003).

Kebutuhan air dalam pabrik mencakup beberapa jenis penggunaan, antara lain:

1. Air Proses

Air untuk proses harus memenuhi standar kualitas tertentu agar tidak mengganggu jalannya reaksi maupun merusak peralatan. Parameter penting yang diperhatikan meliputi:

- Kesadahan (Hardness) : Ion kalsium dan magnesium dapat menyebabkan pembentukan kerak pada peralatan.
- Kandungan Besi: Dapat mempercepat korosi.
- Kehadiran Minyak: Membentuk lapisan film pada permukaan perpindahan panas dan menurunkan efisiensi termal (Towler & Sinnott, 2013).

2. Air Pendingin

Air digunakan secara luas sebagai media pendingin karena beberapa keunggulannya, yaitu:

- Tersedia dalam jumlah besar
- Mudah diolah dan diatur distribusinya
- Mampu menyerap panas dalam jumlah besar tanpa mengalami dekomposisi (Turton et al., 2018)

3. Air Umpan Boiler

Air yang digunakan sebagai umpan boiler harus dikondisikan secara kimiawi agar tidak merusak sistem. Beberapa hal yang perlu diperhatikan:

- Korosi: Disebabkan oleh adanya asam terlarut atau gas-gas seperti O_2 , CO_2 , dan H_2S .
- Pembentukan Kerak (Scaling): Umumnya disebabkan oleh ion karbonat dan silikat pada suhu tinggi.
- Foaming dan Priming: Foaming terjadi akibat kandungan organik/inorganik tinggi dalam air sirkulasi, sementara priming terjadi

ketika tetesan air terbawa bersama uap, mengurangi efisiensi energi dan dapat menyebabkan endapan pada sistem (Cheremisinoff, 1999).

4.1.1 Unit Pengolahan Air

Dalam operasional suatu pabrik kimia, terutama pada skala besar seperti produksi Asam Akrilat, keberadaan air sebagai media pendukung sangatlah vital. Air digunakan dalam berbagai keperluan mulai dari proses reaksi, pembangkitan steam, pendinginan peralatan, hingga kebutuhan domestik dan sanitasi. Oleh karena itu, diperlukan sistem penyediaan air yang andal dan efisien, serta dilengkapi dengan tahapan pengolahan untuk menjamin kualitasnya sesuai dengan standar yang dibutuhkan (Turton et al., 2018; Towler & Sinnott, 2013).

Pada perancangan pabrik Asam Akrilat ini, kebutuhan air dibagi berdasarkan sumbernya. Air dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Cidanau digunakan untuk kebutuhan proses dan utilitas seperti boiler serta sistem pendingin, sedangkan air tanah (sumur bor) digunakan untuk keperluan sanitasi, laboratorium, air minum, serta sistem proteksi kebakaran (hidran).

a. Pengolahan Air Proses dari Air Sungai

Agar air sungai dapat dimanfaatkan dalam sistem pabrik, terlebih dahulu harus melalui tahapan pengolahan fisika dan kimia. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran kasar, partikel tersuspensi, zat terlarut yang merugikan, serta mikroorganisme patogen. Tahapan pengolahannya dijelaskan sebagai berikut:

1. Penyaringan Awal (*Screening*)

Langkah pertama dalam pengolahan air sungai adalah penyaringan awal menggunakan screen kasar. Unit ini berfungsi untuk menangkap partikel berukuran besar seperti potongan kayu, plastik, daun, dan sampah organik maupun anorganik lainnya. Dengan menghilangkan material besar sejak awal, efisiensi proses selanjutnya dapat dijaga dan risiko kerusakan alat berkurang (Turton et al., 2018).

2. Bak Pengendap

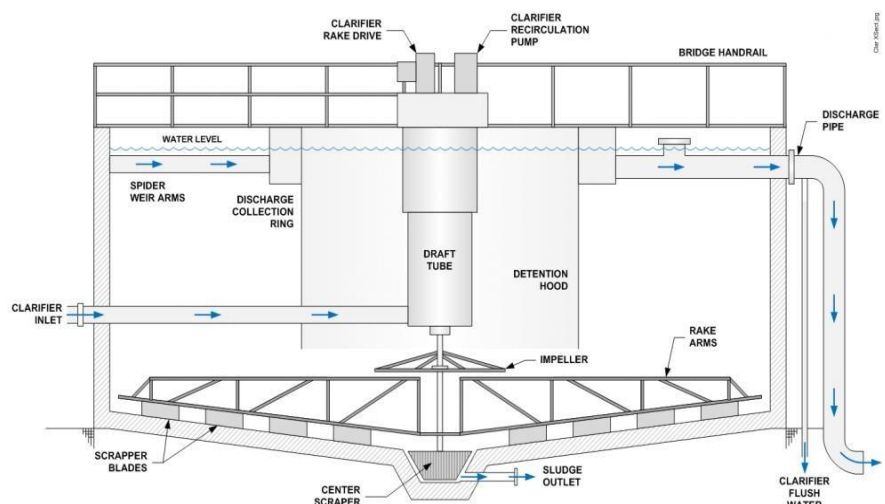
Air yang telah melewati screen kemudian masuk ke bak pengendapan. Di sini, partikel lumpur dan padatan tersuspensi akan diendapkan secara gravitasi. Sistem pengadukan digunakan untuk membantu pemisahan partikel dan meningkatkan efisiensi pengendapan.

3. Bak Penggumpal (*Coagulation Tank*)

Air dari bak pengendapan dialirkan ke bak penggumpal, tempat di mana koagulan seperti tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) dan natrium karbonat (Na_2CO_3) ditambahkan untuk menggumpalkan partikel koloid yang tidak bisa mengendap secara alami. Proses ini akan membentuk flok-flok yang lebih mudah dipisahkan di tahap berikutnya.

4. *Clarifier*

Air dari unit penggumpal kemudian dialirkan ke clarifier. Di dalam clarifier, air diputar secara perlahan agar flok-flok hasil penggumpalan mengendap ke dasar. Air bersih keluar melalui overflow bagian atas, sementara lumpur dikeluarkan melalui proses blow down secara berkala (Wiggins, 2019). Berikut merupakan skema sederhana *Clarifier* pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Skema Sederhana Clarifier

5. Penyaring Pasir (*Sand Filter*)

Setelah clarifier, air dialirkan ke sand filter untuk menyaring partikel halus yang masih lolos dari proses sebelumnya. Media filter terdiri dari antrasit, pasir silika, dan kerikil untuk menjamin efisiensi penyaringan.

6. Tangki Penampungan Sementara

Air hasil filtrasi ditampung sebelum digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti air proses, air pendingin, dan air umpan boiler.

7. Tangki Karbon Aktif

Selanjutnya, air diproses dalam tangki karbon aktif untuk menghilangkan zat organik dan bau, serta dilakukan klorinasi menggunakan klor atau kaporit. Proses ini bertujuan untuk membunuh mikroorganisme berbahaya seperti bakteri, alga, dan amuba (Turton et al., 2018).

8. Tangki Air Bersih

Air hasil desinfeksi ditampung untuk kebutuhan air minum dan fasilitas perkantoran.

9. Tangki *Kation Exchanger*

Air yang akan digunakan sebagai umpan boiler (boiler feed water/ BFW) dialirkan terlebih dahulu ke tangki kation exchanger, di mana ion-ion kation seperti Ca^{2+} dan Mg^{2+} ditukar dengan ion H^+ menggunakan resin. Resin harus diregenerasi secara berkala menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) setelah mencapai titik jenuh.

10. Tangki *Anion Exchanger*

Selanjutnya, air diproses dalam tangki anion exchanger untuk mengikat anion seperti CO_3^{2-} , Cl^- , dan SO_4^{2-} . Regenerasi dilakukan dengan larutan NaOH .

11. Unit Daerator

Air demineralisasi kemudian dipompakan ke unit deaerator untuk menghilangkan gas-gas terlarut seperti oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2) yang dapat menimbulkan korosi pada

sistem boiler. Proses ini dibantu dengan injeksi hidrazin (N_2H_4) sebagai agen reduktor yang mengikat oksigen (Smith et al., 2001).

12. Bak Pendingin

Air pendingin diperoleh dari sungai dan digunakan kembali setelah melalui cooling tower. Kehilangan air akibat penguapan dan blow down diganti dari tangki air bersih. Untuk menjaga performa air pendingin, ditambahkan bahan kimia sebagai berikut:

- Fosfat: Mencegah pembentukan kerak.
- Klorin: Membunuh mikroorganisme.
- Dispersant: Mencegah penggumpalan partikel.

b. Pengolahan Air Sanitasi dari Air Tanah atau Sumur Bor

Kebutuhan air sanitasi mencakup air untuk pekerja, laboratorium, dan kegiatan harian. Mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor: 416/MEN.KES/PER/IX/1990 tentang persyaratan dan pengawasan kualitas air. Proses pengolahannya meliputi:

1. *Well Water*

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

2. Aerator

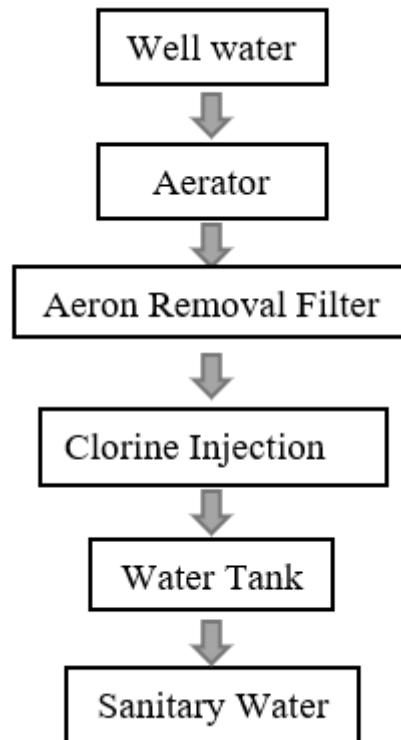
Air sumur dialirkan secara berlawanan arah dengan aliran udara dari blower, melewati media raschig ring. Di sini, ion ferro (Fe^{2+}) dioksidasi menjadi ion ferri (Fe^{3+}) agar dapat mengendap. Proses oksidasi dipercepat dengan penambahan NaOH untuk menyesuaikan pH.

3. Iron Removal Filter

Air kemudian disaring menggunakan media manganese dioxide dan pasir untuk menghilangkan endapan besi dan partikel tersuspensi lainnya. Target kandungan besi dalam air setelah filtrasi adalah $<0,2$ ppm.

4. Filtered Water Tank

Air yang telah diolah disimpan dalam tangki dan diinjeksi klorin (1,5 ppm) sebelum digunakan sebagai air sanitasi. 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 dari DAS Cidanau digunakan sebagai air umpan boiler untuk menghasilkan steam dengan memanfaatkan panas dari molten salt. Steam dibutuhkan pada dua tekanan, yaitu 182,38 kPa (118,03°C) dan 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	1899,3	322,417362	36.908.975,05	18607,82
Reboiler (D-01)	2232,4	218	78633217,77	164603,6664

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 854.776,273 kg/jam.

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

$$Q \text{ lepas} = Q \text{ serap}$$

$$Q \text{ molten salt} = Q \text{ (BFW menjadi steam)}$$

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

$$\text{Kebutuhan steam } 118,03^{\circ}\text{C} = 18.607,82 \text{ kg/jam}$$

$$H \text{ sensible BFW (30}^{\circ}\text{C ke 118,03}^{\circ}\text{C)} = 7.653.052,58 \text{ kJ/jam}$$

$$H \text{ laten steam } 118,03^{\circ}\text{C} = 2.207,83 \text{ kJ/kg (Smith dkk.,2001)}$$

$$= 18.607,82 \text{ kg/jam} \times 2.207,83 \text{ kJ/kg}$$

$$= 41.082.902,8 \text{ kJ/jam}$$

$$\text{Total panas yang diserap} = (7.653.052,58 + 40712382,94) \text{ kJ/jam}$$

$$= 48.735.955,4 \text{ kJ/jam}$$

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

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

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

Mass flow *molten salt* = 854.776,273 kg/jam

C_p *molten salt* = 0,373 BTU/lb.°F = 1,5616 kJ/kg.K Diperoleh,

ΔT = 8,37°C

T_{in1-1} = 238°C

T_{out1-1} = 246,37°C

2) WHB Stage 1-2 dilanjutkan Boiler (Membuat steam 186,44 kPa/118,03 °C)

Q_{lepas} = Q_{serap}

$Q_{molten\ salt}$ = Q (BFW menjadi *steam*)

Berikut ini perhitungan panas BFW (*Boiler feed water*) untuk diubah menjadi *steam* 218°C.

Kebutuhan *steam* 218°C = 164.603,67 kg/jam
 $H_{sensible}$ BFW (30°C ke 218°C) = 26.598.417,4 kJ/jam

H_{laten} *steam* 218°C = 1864,9 kJ/kg (Smith dkk., 2001)
 = 164.603,67 kg/jam × 1864,9 kJ/kg
 = 306.969.377 kJ/jam

Total panas yang diserap = (26.598.417,4 + 306.969.377) kJ/jam
 = 333.567.795 kJ/jam

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).

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

Sisa panas *molten salt* = 8225517,20 kJ/kg

Mass flow BFW = 364193,76 kg/jam

Dengan melakukan *trial goal geek* pada Ms. Excel, diperoleh $T_{outBFW} = 35,38^{\circ}\text{C}$ Sisa Panas yang dibutuhkan $BFW = 76373421,90$ kJ/jam.

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

Kebutuhan 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 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Kebutuhan Air Pendingin pada Proses

Alat	Kebutuhan (kg/jam)
Destilasi (D-01)	4109024,138
Cooler (CO-01)	72030,93491
Cooler (CO-02)	7859,821342
Cooler (CO-03)	10173,00973
CW WHB	114723,54
	4313811,444
Total	
	103843,0037 m ³ /hari

c. Kebutuhan Air Sanitasi

1) Kebutuhan Air Karyawan

Air yang digunakan untuk keperluan sanitasi di lingkungan pabrik dapat disediakan melalui pemanfaatan sumber air tanah, yang diperoleh dengan melakukan pengeboran sumur dalam. Air hasil pengeboran kemudian dialirkan ke unit pengolahan air (*water treatment*) agar kualitasnya sesuai dengan standar yang ditetapkan untuk kebutuhan kebersihan dan sanitasi industri (Turton et al., 2018).

Mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 70 Tahun 2016 tentang *Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri*, kebutuhan minimum air untuk aktivitas sanitasi dan kebersihan pekerja ditentukan berdasarkan standar kesehatan dasar dan kebersihan pribadi. Volume air sebesar 20 liter per orang per hari dianggap cukup hanya untuk memenuhi kebutuhan dasar tersebut (Kementerian Kesehatan RI, 2016).

Namun demikian, untuk memastikan kondisi kesehatan dan sanitasi pekerja yang optimal di lingkungan kerja industri, jumlah air yang disediakan idealnya lebih tinggi, yakni berkisar antara 50 hingga 100 liter per orang per hari tergantung jenis aktivitas dan fasilitas yang tersedia (Cheremisinoff, 1999). Dalam rancangan pabrik Asam Akrilat ini, diperkirakan jumlah tenaga kerja sebanyak 263 orang. Jika asumsi kebutuhan air untuk sanitasi sebesar 50 liter per orang per hari, maka total kebutuhan air sanitasi karyawan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan Air Sanitasi Karyawan} &: 263 \text{ orang} \times 50 \text{ liter/orang/hari} \\ &: 13.150 \text{ liter/hari} \\ &: 13,15 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

Volume ini mencerminkan kebutuhan dasar dan belum termasuk air tambahan untuk fasilitas umum seperti kantin, tempat ibadah, ruang istirahat, serta kebutuhan kebersihan area pabrik.

2) Kebutuhan Air untuk Laboratorium

Air yang dibutuhkan untuk laboratorium diperkirakan sebesar 2,5 m³/hari

3) Kebutuhan Air Sehari-hari

Air yang dibutuhkan 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:

$$\text{Total air sanitasi} = (13,15 + 2,5 + 15) \text{ m}^3/\text{hari} = 30,65 \text{ m}^3/\text{hari}$$

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 5 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:

$$\text{Total kebutuhan air} = 103.909,3037 \text{ m}^3/\text{hari}$$

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

$$\text{Total kebutuhan air sumur} = (30,65 + 5) \text{ m}^3/\text{hari} = 35,65 \text{ m}^3/\text{hari}$$

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:

$$\begin{aligned}\text{Total kebutuhan air sungai} &= (4.410,31 + 103.843,0037) \times 110\% \\ &= 119.078,641 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

4.2 Unit Penyediaan Listrik

Dalam perancangan sistem tenaga listrik untuk industri kimia, seperti pabrik Asam Akrilat, kebutuhan listrik dapat dipenuhi dari dua sumber utama. Sumber utama berasal dari jaringan listrik nasional (PLN) atau kawasan industri di sekitar Cilegon, sementara generator listrik (generator set) berfungsi sebagai sumber cadangan apabila terjadi gangguan suplai utama (Turton et al., 2018).

Jenis generator yang digunakan dalam sistem cadangan adalah generator arus bolak-balik (AC) tiga fasa, yang dipilih berdasarkan sejumlah keunggulan teknis. Generator 3 fasa memiliki kemampuan menghasilkan daya listrik dalam jumlah besar secara efisien, serta memungkinkan penyesuaian tegangan melalui penggunaan transformator. Selain itu, sistem ini menawarkan stabilitas tegangan yang tinggi, efisiensi transmisi daya karena memerlukan jumlah kawat penghantar yang lebih sedikit, serta motor listrik 3 fasa yang umum digunakan dalam industri memiliki harga relatif ekonomis dan struktur operasional yang sederhana (Perry & Green, 2008).

Adapun kebutuhan listrik di pabrik Asam Akrilat ini mencakup berbagai aspek operasional sebagai berikut:

- Listrik untuk mendukung proses produksi dan unit utilitas
- Listrik untuk penerangan di seluruh area fasilitas
- Listrik untuk sistem pendingin udara (AC)
- Listrik untuk peralatan laboratorium serta sistem instrumentasi dan control

Kombinasi antara pasokan utama dari PLN dan generator cadangan bertujuan untuk menjamin kontinuitas dan keandalan suplai listrik di seluruh kegiatan operasional pabrik.

a. Listrik untuk Keperluan Proses dan Utilitas

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	3,120023508	3,120023508
Pompa umpan D-01	P-02	1	5,713384412	5,713384412
Pompa Masuk Reflux	P-03	1	6,869426098	6,869426098
Pompa masuk T-01	P-04	1	0,717670654	0,717670654
Blower umpan R-02	BW-01	1	70,00001654	70,00001654
Kompresor udara	C-01	1	10,10883627	10,10883627
Expander	EX-01	1	66	66
Total Daya				162,5293575 HP
				121,1981419 kW

Tabel 4.4 Kebutuhan Utilitas

Nama Alat	Jumlah	Daya (HP)	Total 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	5

Nama Alat	Jumlah	Daya (HP)	Total Daya (HP)
Pompa BFW ke Boiler	1	5	50
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
			348 HP
Total Daya			259,956 kW

b. Listrik untuk Penerangan

Salah satu pendekatan yang umum digunakan untuk memperkirakan kebutuhan daya listrik untuk sistem pencahayaan di lingkungan industri adalah melalui konsep *Luminous Efficacy*, yaitu ukuran efisiensi cahaya yang dipancarkan oleh sumber pencahayaan dalam satuan lumen. Untuk menentukan total kebutuhan pencahayaan di suatu area, dapat digunakan persamaan berikut:

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

Dengan keterangan:

Area = luas wilayah yang memerlukan pencahayaan (dalam meter persegi, m²)

Lux = intensitas pencahayaan yang dibutuhkan per satuan luas (lumen/m²)

Nilai lux bervariasi tergantung pada fungsi dan jenis area yang diterangi. Misalnya, area kerja seperti laboratorium, ruang produksi, dan area kantor

memiliki kebutuhan pencahayaan yang berbeda. Dalam studi ini, standar intensitas cahaya yang digunakan mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 70 Tahun 2016 tentang *Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri*, yang memberikan panduan nilai lux minimum untuk berbagai jenis ruang atau aktivitas (Kementerian Kesehatan RI, 2016).

Rincian lebih lanjut mengenai kebutuhan pencahayaan dalam lumen untuk masing-masing area di pabrik ditampilkan pada Tabel 4.5., yang memuat estimasi kebutuhan berdasarkan luas area dan standar pencahayaan tersebut.

Tabel 4.5 Kebutuhan Untuk Penerangan

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

Area	Lux (lumen/m ²)	Luas (m ²)	Lumen
Maintenance	200	100	20.000
Pos Keamanan	150	50	7.500
Total Area Indoor		4.900	1.302.500
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 Operasional	150	300	45.000
Area Parkir Kendaraan Umum	150	450	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 19 W yang memiliki 2300 lumen (www.philips.co.id). Maka, dapat dihitung kebutuhan lampu dalam ruangan adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan lampu LED 19 W} &= 1.302.500 \text{ lumen} / 2300 \text{ lumen} \\
 &= 566 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Daya lampu LED 19 W} &= 19 \text{ watt} \times 566 \text{ buah} \\
 &= 10.759,78261 \text{ watt} \\
 &= 10,75978 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan lampu LED 50 W} &= 2.650.000 \text{ lumen} / 4500 \text{ lumen} \\
 &= 589 \text{ buah} \\
 \text{Daya lampu LED 50 W} &= 50 \text{ Watt} \times 589 \text{ buah} \\
 &= 29444,44 \text{ watt} \\
 &= 29,44 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Maka, total daya penerangan untuk dalam dan luar ruangan adalah :

$$10,75978 \text{ watt} + 29,44 = 40,204 \text{ kW}$$

c. 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 .

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah AC yang digunakan} &= 4.900 \text{ m}^2 / 25 \text{ m}^2 \\
 &= 196 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

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

d. Listrik untuk Laboratorium dan Instrumentasi

Kebutuhan listrik pada laboratorium dan untuk instrumentasi diperkirakan sebagai berikut:

Kebutuhan listrik laboratorium	= 10 kW
Kebutuhan listrik instrumentasi	= 10 kW
Total kebutuhan daya lab	= 20 kW

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 :

Total Kebutuhan Listrik	= 572,96 kW
Faktor Keamanan (10%)	= 630,26 kW

4.3 Unit Penyediaan *Thermal Fluid*

Dalam sistem pendinginan proses industri yang melibatkan reaksi dengan karakteristik sangat eksotermis, diperlukan fluida pendingin yang memiliki kapasitas panas spesifik (C_p) tinggi serta stabil pada suhu tinggi. Salah satu fluida yang memenuhi kriteria tersebut adalah thermal fluid berupa *molten salt* jenis HITEC, yang memiliki keunggulan dibandingkan air karena tidak mudah menguap dan dapat mentransfer panas lebih efisien (Felthouse et al., 2001).

Molten salt HITEC merupakan campuran dari 53% berat KNO_3 , 40% berat NaNO_2 , dan 7% berat NaNO_3 , dengan kapasitas panas spesifik (C_p) sekitar 0,373 BTU/lb·°F. Keunggulan utama molten salt terletak pada rentang suhu operasionalnya yang luas, yakni dari 149°C hingga 538°C, sehingga sangat cocok digunakan dalam sistem reaktor yang membutuhkan kestabilan termal tinggi, seperti reaktor fixed-bed multitubular dalam produksi Asam Akrilat (Coastal Chemical Co., n.d.).

Dalam perancangan pabrik ini, molten salt digunakan sebagai media pendingin yang dialirkan melalui bagian shell reaktor R-01 dan R-02. Berdasarkan estimasi kebutuhan proses, total kebutuhan molten salt untuk mendinginkan kedua reaktor tersebut mencapai sekitar 853.714 kg/jam.

4.4 Unit Penyediaan Uap Air (*Steam*)

Dalam operasional pabrik, steam atau uap jenuh digunakan sebagai media pemanas utama pada berbagai unit peralatan seperti heat exchanger dan reboiler. Ketersediaan steam ini diperoleh dari pemanfaatan panas buangan melalui sistem waste heat boiler (WHB) bertingkat tiga (three-stage WHB), yang memaksimalkan pemanfaatan energi sisa dari proses. Untuk menghasilkan steam tersebut, digunakan boiler feed water (BFW) yang berasal dari olah air permukaan sungai di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cidanau, Cilegon.

Jenis uap yang digunakan dalam sistem ini adalah saturated steam (uap jenuh), dengan spesifikasi tekanan dan suhu berbeda sesuai kebutuhan proses, antara lain:

- Low Pressure Saturated Steam (LPS) pada tekanan 182,38 kPa dan suhu 118,03°C, yang digunakan sebagai media pemanas untuk reaktor R-01 melalui furnace F-01.
- Low Pressure Saturated Steam (LPS) pada tekanan 202,65 kPa dan suhu 218°C, yang dialirkan ke reboiler pada kolom distilasi D-01.

Sebagaimana dijelaskan dalam subbab sebelumnya mengenai kebutuhan air untuk pembangkitan uap, sistem WHB saja tidak mencukupi seluruh kebutuhan steam, sehingga tetap diperlukan unit boiler tambahan. Untuk efisiensi ekonomi, jenis boiler yang dipilih adalah fire-tube boiler, karena memiliki biaya tahunan (annual cost) yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan water-tube boiler, meskipun kapasitas dan efisiensi termalnya berbeda.

Tabel 4.6 Kebutuhan *steam* pada Proses

Alat	Suhu (°C)	Kapasitas (kg/jam)	Presentase	H <i>vapor</i> (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

a. Kapasitas Boiler

$$\text{Total kapasitas kebutuhan steam} = 183.211,486 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Blowdown (10\% kapasitas steam)} &= 10\% \times 183.211,486 \text{ kg/jam} \\ &= 18.321,1486 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Umpan masuk boiler (BFW)} &= \text{Total kapasitas} + \text{Blowdown} \\ &= (183.211,486 + 18.321,148) \text{ kg/jam} \\ &= 201.532,635 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kondensat kembali (95\% steam)} &= 95\% \times 183.211,48 \text{ kg/jam} \\ &= 174.050,912 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kondensat yang hilang (5\% steam)} &= 5\% \times 183.211,48 \text{ kg/jam} \\ &= 9.160,57 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Make-up air boiler (BFW)} &= \text{Blowdown} + \text{Kondensat Hilang} \\ &= (18.321,1486 + 9.160,57) \text{ kg/jam} \\ &= 27.481,723 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Berikut ini perhitungan jumlah kondensat kembali dan *make-up* air yang masuk ke

boiler serta suhu campuran keduanya:

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

$$\begin{aligned} \text{Kondensat suhu } 118,03^\circ\text{C} &= (10,16\%) \times 18.607,82 \text{ kg/jam} \\ &= 1.030,904 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Panas kondensat } 118,03^\circ\text{C} = 10.662.876,82 \text{ kJ/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Kondensat suhu } 218^\circ\text{C} &= (89,84\%) \times 164.603,666 \text{ kg/jam} \\ &= 9.119,32 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panas kondensat } 218^\circ\text{C} &= 9.119,32 \text{ kmol/jam} \times 14.975,5 \text{ kJ/kmol} \\ &= 259393403,073 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kondensat suhu } 218^\circ\text{C} &= (6,9\%) \times 394432,88 \text{ kg/jam} \\ &= 27221,81 \text{ kg/jam} = 1511,063 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Panas kondensat } 218^\circ\text{C} = 136.566.327,2 \text{ kJ/jam}$$

Make-up air suhu 30°C

$$\begin{aligned} \text{Panas make-up air } 30^\circ\text{C} &= 1522,533 \text{ kmol/jam} \times 377,49 \text{ kJ/kmol} \\ &= 574741,0298 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

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.

b. 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:

$$\text{Densitas solar} = 0,865 \times 1,02745 \text{ kg/L}$$

$$= 0,888746 \text{ kg/L}$$

$$= 55,48268 \text{ lb/ft}^3$$

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

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

4.5 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Unit penyediaan bahan bakar dalam pabrik dirancang untuk mencukupi kebutuhan energi termal pada peralatan seperti furnace dan boiler. Pada sistem pembakaran furnace, digunakan bahan bakar padat berupa batu bara dengan laju konsumsi sebesar 933 kg/jam. Batu bara ini diperoleh dari PT. Manambang Muara Enim, dengan pemilihan didasarkan pada pertimbangan biaya yang relatif murah serta nilai kalor yang tinggi, sehingga mampu menghasilkan energi panas secara efisien dalam sistem pembakaran.

Adapun karakteristik fisis dari batu bara yang digunakan antara lain:

- Berat jenis: 1,25 – 1,70 g/cm³
- Nilai kalor: 5.800 kkal/kg

Selain itu, pabrik juga menggunakan bahan bakar cair berupa solar untuk keperluan boiler serta sebagai sumber energi cadangan (standby) bagi generator. Total kebutuhan bahan bakar solar diperkirakan sebesar 1.326,41 lb/jam untuk boiler dan 87,74 lb/jam untuk standby-generator. Sumber bahan bakar ini diperoleh dari Pertamina atau distributor resminya. Solar dipilih karena mudah diperoleh, stabil dalam pasokan, dan mudah disimpan tanpa memerlukan penanganan khusus yang kompleks.

Spesifikasi fisis dari solar yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Nilai kalor (Heating value): 19.440 Btu/lb
- Efisiensi pembakaran: 80%
- Specific gravity (s.g.): 0,8691
- Massa jenis (ρ): 54,26 lb/ft³

Penggunaan dua jenis bahan bakar—padat dan cair—disesuaikan dengan karakteristik peralatan dan efisiensi sistem, dengan mempertimbangkan aspek teknis dan keekonomian bahan bakar dalam jangka panjang (Turton et al., 2018; Felder & Rousseau, 2005).

4.6 Unit Penyediaan Udara Tekan

Dalam sistem utilitas pabrik, udara instrumen berperan penting dalam menjalankan sistem kendali pneumatik di seluruh area proses dan utilitas. Untuk memenuhi kebutuhan ini, udara bertekanan dihasilkan melalui kompresor dan disalurkan menggunakan jaringan pipa khusus. Kualitas udara instrumen harus

memenuhi kriteria tertentu, yaitu kering, bebas minyak, dan tidak mengandung partikel padat, demi menghindari kerusakan atau gangguan pada alat ukur dan aktuator pneumatik (Turton et al., 2018).

Sistem udara tekan tersusun atas beberapa komponen penting, yaitu:

- Filter udara masuk untuk mencegah partikel debu masuk ke kompresor, yang dapat menyebabkan kerusakan pada katup dan silinder.
- Intercooler (pendingin antar tahap) yang berfungsi menurunkan suhu udara sebelum masuk ke tahap kompresi berikutnya, guna meningkatkan efisiensi kerja kompresor.
- After-cooler, yaitu penukar panas yang mendinginkan udara tekan setelah proses kompresi akhir, sehingga uap air dapat terkondensasi dan dipisahkan.
- Pengering udara, biasanya menggunakan bahan adsorben seperti silika gel atau activated alumina, atau dengan sistem refrigerasi untuk menghilangkan sisa uap air.
- Moisture trap, alat ini mengeluarkan kondensat yang tersisa dari aliran udara tekan. Jenis trap bisa berupa manual drain, auto drain valve, atau timer-based drain.
- Receiver tank (penerima udara) yang berfungsi sebagai penampung udara sementara dan membantu meredam fluktuasi tekanan dari kompresor.

Jenis kompresor yang umum digunakan adalah kompresor reciprocating, karena mampu menghasilkan aliran udara konstan pada tekanan tertentu, serta kapasitasnya sebanding dengan kecepatan kerjanya. Kompresor ini hadir dalam berbagai konfigurasi seperti horizontal, vertikal, balance-opposed, dan tandem (Coulson & Richardson, 1999).

Pada proses produksi udara instrumen, udara dari kompresor pertama-tama ditampung dalam instrument air receiver yang beroperasi pada tekanan sekitar 8,0 kg/cm². Selanjutnya, udara dialirkan ke sistem penyaringan awal (inlet filter) untuk memisahkan minyak dan partikel, sebelum diarahkan ke salah satu dryer (A atau B) melalui four-way valve. Dryer ini berisi media penyerap kelembapan seperti silika gel atau alumina aktif, yang bersifat higroskopis. Setelah proses pengeringan, udara kembali disaring melalui outlet filter, menghasilkan udara

instrumen dengan tekanan akhir sekitar 7,0 kg/cm² dan titik embun sekitar -40°C, yang sesuai untuk keperluan instrumen presisi tinggi.

4.7 Unit Pengolahan Limbah

4.7.1 Unit Pengolahan Limbah Cair

Pada rancangan pabrik Asam Akrilat ini, limbah cair yang dihasilkan utamanya bersumber dari dua jenis aktivitas, yakni aktivitas proses produksi dan aktivitas domestik (rumah tangga). Untuk menjamin limbah tersebut tidak mencemari lingkungan, sistem pengolahan limbah cair dirancang dengan mengadopsi teknologi pengolahan biologis. Metode yang digunakan adalah *activated sludge*, yaitu proses biologis aerobik yang memanfaatkan mikroorganisme untuk menurunkan kadar Biochemical Oxygen Demand (BOD) dari air limbah yang dihasilkan. Sebagian dari limbah ini juga akan melalui tahapan pengolahan awal di unit *water treatment* sebelum dialirkan ke sistem pengolahan lanjutan.

Adapun lokasi pemantauan limbah cair meliputi beberapa titik strategis, yaitu bak netralisasi, saluran drainase, *outfall* internal, dan *outfall* eksternal. Pemantauan kualitas limbah dilakukan menggunakan alat *water sampler*, kemudian parameter-parameter kualitas air seperti BOD, COD, pH, dan total suspended solids (TSS) akan dianalisis lebih lanjut di laboratorium sebagai bagian dari upaya pemenuhan standar lingkungan yang berlaku sesuai pada (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

Penanganan emisi gas buang dari unit proses dalam pabrik Asam Akrilat harus dilakukan secara khusus, terutama untuk gas-gas yang bersifat mudah terbakar (*flammable*), karena berpotensi menimbulkan bahaya seperti kebakaran atau ledakan. Untuk mengatasi hal tersebut, sistem pengolahan limbah gas dirancang menggunakan metode *gas scrubbing* sebelum gas dibuang ke atmosfer melalui *stack*. Secara spesifik,

aliran gas sisa dari unit Absorber (AB-01) terlebih dahulu diarahkan ke unit *venturi scrubber*, di mana gas tersebut disemprot (*dispray*) menggunakan air. Proses ini bertujuan untuk menangkap dan melarutkan komponen gas berbahaya ke dalam air, sehingga mencegah pelepasan langsung ke lingkungan.

Air yang telah terkontaminasi oleh komponen gas akan dikumpulkan dan dialirkan menuju sistem pengolahan limbah cair untuk diproses lebih lanjut. Sementara itu, bagian gas yang tidak terserap pada tahap awal akan diteruskan ke *stack* (cerobong) yang telah dilengkapi dengan *packing material*. Di dalam *stack*, gas kembali mengalami proses penyemprotan air (*water spray*) guna menurunkan konsentrasi sisa gas berbahaya sebelum akhirnya dilepaskan ke atmosfer. Metode ini mengacu pada prinsip pengendalian pencemaran udara sebagaimana tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak.

4.7.3 Unit Pengolahan Limbah Padat

Sumber limbah padat dalam pabrik Asam Akrilat berasal dari dua kategori utama, yaitu dari unit proses produksi dan aktivitas domestik karyawan. Limbah padat dari proses produksi dihasilkan oleh unit reaktor R-01 dan R-02, berupa katalis bekas pakai. Limbah tersebut tergolong limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) dan ditangani oleh pihak ketiga, yaitu PT. Pasadena Metric Indonesia, yang memiliki izin resmi untuk melakukan pengelolaan limbah B3 sesuai ketentuan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.

Sementara itu, limbah padat domestik dari aktivitas rumah tangga seperti sampah karyawan akan dikumpulkan terlebih dahulu di Tempat Pembuangan Sementara (TPS) yang tersedia di area pengolahan limbah dalam kompleks pabrik. Tersedia tiga TPS yang difungsikan sebagai tempat penampungan awal. Setelah terkumpul dalam jumlah tertentu,

limbah domestik ini kemudian dikirim ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) resmi yang berada di wilayah terdekat dari lokasi pabrik.

4.7.4 Unit Pengolahan Limbah B3

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) didefinisikan sebagai zat, energi, atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya berpotensi mencemari serta merusak lingkungan hidup, baik secara langsung maupun tidak langsung. Zat-zat ini juga dapat membahayakan kesehatan manusia serta keberlangsungan makhluk hidup lainnya.

Dalam konteks operasional pabrik Asam Akrilat, limbah cair yang dihasilkan dari laboratorium dan proses produksi memiliki kandungan bahan kimia yang bersifat toksik, infeksius, serta korosif. Karena karakteristik tersebut, limbah tersebut diklasifikasikan sebagai limbah B3 dan perlu ditangani secara khusus, salah satunya melalui proses pemisahan kimia. Di samping itu, katalis bekas yang telah melewati masa pakainya juga termasuk ke dalam kategori limbah B3 karena sifatnya yang berbahaya.

Sebagai acuan pengelolaan limbah, baku mutu air limbah B3 diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, yang nilai-nilainya 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

Parameter	Konsentrasi Maksimal	
	Nilai	Satuan
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*)

Agar kestabilan operasional mesin serta peralatan pada seluruh unit termasuk sistem perpipaan dan pompa dapat terjaga dengan baik, dibutuhkan keberadaan unit pemeliharaan (*maintenance unit*) yang bertugas memberikan layanan inspeksi, perawatan, serta perbaikan rutin maupun berkala terhadap fasilitas industri. Keberadaan unit ini penting dalam mendukung kelangsungan produksi dan mencegah downtime akibat kerusakan peralatan (Mobley, 2002).

Secara umum, kegiatan pemeliharaan dapat dikelompokkan ke dalam tiga jenis utama, yaitu:

- a. Preventive maintenance, mencakup pemeriksaan berkala, pengecekan sistematis, dan pembersihan peralatan guna mencegah kerusakan sejak dini;
- b. Corrective maintenance, yaitu tindakan perbaikan atau penggantian komponen saat ditemukan kerusakan, termasuk penggantian suku cadang dan modifikasi alat;
- c. Overhaul atau rehabilitative maintenance, meliputi penggantian komponen besar, peningkatan efisiensi sistem, serta perencanaan untuk pembaruan alat proses (Smith & Hinchcliffe, 2004).

Di pabrik ini, unit pemeliharaan dibagi menjadi tiga subunit berdasarkan spesialisasi teknis, yaitu:

1. Pemeliharaan Mekanik, yang menangani peralatan proses, pompa, dan sistem perpipaan;
2. Pemeliharaan Listrik, bertanggung jawab atas sistem kelistrikan termasuk deteksi dan perbaikan gangguan aliran listrik;
3. Pemeliharaan Instrumentasi, menangani sistem kontrol dan pengukuran otomatis untuk memastikan akurasi proses industri.

Adapun pemeliharaan menyeluruh (*overhaul*) dilakukan dua tahun sekali, biasanya pada bulan Januari, yang mencakup pembersihan kerak dalam vessel, servis pompa, dan perawatan menyeluruh pada alat penukar panas. Praktik ini sejalan dengan standar pemeliharaan industri sebagaimana dijelaskan dalam *Plant*

Engineer's Handbook (Black, 2001) dan pedoman perawatan mesin dari American Society of Mechanical Engineers (ASME).

4.9 Unit Laboratorium

Laboratorium merupakan bagian esensial dalam operasional pabrik, karena berperan sebagai pusat analisis untuk memastikan kualitas bahan baku, produk akhir, serta limbah hasil proses industri. Keberadaan laboratorium mendukung penerapan pengendalian mutu (quality control) dan menjamin bahwa semua parameter produksi berada dalam rentang spesifikasi yang telah ditentukan. Selain itu, laboratorium juga memainkan peran penting dalam pemantauan aspek lingkungan, terutama melalui pengujian limbah cair, emisi gas, dan limbah padat yang dihasilkan dari kegiatan produksi (Skoog et al., 2013).

Adapun fungsi utama dari laboratorium di lingkungan industri ini meliputi:

- Pengujian kualitas bahan baku, untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi teknis sebelum digunakan dalam proses produksi;
- Pengendalian mutu produk akhir, guna menjamin kualitas produk sesuai standar dan dapat diterima di pasar;
- Pemantauan proses produksi, termasuk pengukuran parameter lingkungan untuk mendeteksi potensi pencemaran udara, air, dan limbah padat;
- Analisis kualitas air, seperti air pendingin, air umpan boiler, serta air proses lainnya yang mendukung operasi pabrik.

Peran laboratorium ini sangat penting untuk menjaga efisiensi proses, keamanan lingkungan, dan kepatuhan terhadap regulasi pemerintah, seperti yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

4.9.1 Program Kerja Laboratorium

Dalam rangka memastikan mutu produk dan efisiensi proses produksi, laboratorium mutu berperan penting dalam melakukan serangkaian pengujian dan pengendalian terhadap bahan baku, produk antara, produk akhir, serta unit utilitas yang mendukung operasi pabrik. Optimalisasi aktivitas laboratorium dilakukan dengan menetapkan parameter-parameter

kunci yang harus diuji secara rutin sesuai standar industri kimia dan peraturan lingkungan yang berlaku (Skoog et al., 2013; ASTM, 2021).

Adapun ruang lingkup pengujian yang dilakukan oleh laboratorium dalam pabrik asam akrilat meliputi:

1. Analisis Bahan Baku

- Propilena: Dilakukan analisa terhadap kadar hidrokarbon (untuk mengetahui kemurnian dan kemungkinan kontaminan), viskositas, dan specific gravity.
- Udara proses: Diuji humiditas dan specific gravity untuk menjamin efisiensi dan kestabilan reaksi oksidasi propilena.

2. Analisis Produk

- Asam akrilat: Diuji tingkat kemurniannya, kadar impuritas seperti asam asetat dan formaldehid, viskositas, serta specific gravity untuk memastikan kesesuaian dengan standar spesifikasi produk.

3. Analisis Unit Utilitas

- Boiler Feed Water (BFW): Parameter yang diuji meliputi *dissolved oxygen* (DO), pH, total hardness, total dissolved solids (TDS), suspended solids, serta kandungan minyak dan bahan organik yang dapat mengganggu kinerja boiler.
- Air hasil proses penjernihan: Diperiksa parameter seperti pH, kandungan silika (SiO_2), kalsium sebagai CaCO_3 , sulfat (SO_4^{2-}), klor (Cl_2), dan zat terlarut lainnya.
- Unit Penukar Ion: Dilakukan analisa terhadap kesadahan sebagai CaCO_3 dan silikat sebagai SiO_2 untuk menjamin efektivitas demineralisasi air.
- Cooling Water: Diuji nilai pH jenuh CaCO_3 dan indeks Langelier untuk mengontrol kecenderungan air dalam membentuk kerak atau bersifat korosif.
- Air Minum: Parameter yang diuji mencakup pH, kandungan sisa klorin (residual chlorine), dan tingkat kekeruhan, sesuai baku mutu air minum (Permenkes No. 492/MENKES/PER/IV/2010).

Aktivitas ini dilakukan secara berkala dengan prosedur standar operasional (SOP) yang telah ditetapkan, dan hasil analisisnya menjadi dasar dalam pengambilan keputusan operasional serta pelaporan kepada instansi terkait. Dapat dilihat pada Tabel 4.8 merupakan tabel perincian program kerja di pabrik asam akrilat.

Tabel 4.8 Parameter Uji Program Laboratorium

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

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

4.9.2 Laboratorium Fisik

Laboratorium dalam pabrik kimia memiliki peran vital dalam menjamin mutu proses dan produk. Salah satu tanggung jawab utamanya adalah melakukan pemeriksaan dan pengujian terhadap seluruh aliran (stream) yang berasal dari unit proses, mulai dari bahan baku, produk antara, hingga produk akhir dan produk samping. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, laboratorium akan mengeluarkan Certificate of Quality (COQ) yang mencantumkan hasil analisa serta kesesuaian dengan spesifikasi teknis yang telah ditetapkan.

Pengujian yang dilakukan mencakup analisa sifat fisik dan kimia dari berbagai sampel, antara lain:

1. Specific gravity: Mengindikasikan densitas relatif terhadap air, penting untuk kontrol kualitas dan perhitungan neraca massa.
2. Viskositas kinematik: Menentukan kemampuan fluida untuk mengalir, yang berpengaruh terhadap transportasi dan pencampuran dalam proses.
3. Kadar air: Diperlukan untuk mengetahui tingkat kemurnian dan stabilitas produk kimia.

Pemeriksaan ini tidak hanya bertujuan untuk menjamin kesesuaian spesifikasi, tetapi juga untuk memastikan kestabilan operasi dan mencegah terjadinya kontaminasi antar produk. Selain itu, laboratorium juga mendukung kegiatan optimasi proses, troubleshooting operasional, dan pemantauan lingkungan.

4.9.3 Laboratorium Analitik

Laboratorium bertugas menganalisis sifat kimia bahan baku, bahan penunjang, produk antara, dan produk akhir. Analisa meliputi kandungan air, kadar impuritas, zat aditif, serta parameter seperti viskositas dan specific gravity. Hasil analisa digunakan untuk memastikan mutu bahan dan produk sesuai spesifikasi serta mendukung kendali proses dan lingkungan (Skoog et al., 2013; Perry & Green, 2008).

4.9.4 Laboratorium Penelitian dan Pengembangan

Laboratorium ini juga berperan dalam kegiatan penelitian dan pengembangan (R&D) yang bersifat non-rutin, dengan fokus pada peningkatan kualitas material, efisiensi proses, serta pemantauan dan evaluasi kondisi lingkungan secara berkala (Skoog et al., 2013; Perry & Green, 2008).

4.9.5 Metode Analisa

Analisis laboratorium dilakukan berdasarkan standar acuan seperti ASTM, SII, DIN, dan JIS, dengan instruksi kerja tersusun secara sistematis.

Alat Analisis Utama:

- AAS: Analisa logam seperti Fe, Si, Cu, dan SiO₂.
- GC-MS: Identifikasi komponen bahan baku gas dan produk cair.
- Effusiometer & Hydrometer: Mengukur specific gravity gas dan cairan.
- Hygrometer: Ukur kelembapan dan suhu gas.
- Viscosimeter: Ukur viskositas cairan.
- pH-meter: Ukur tingkat keasaman/kebasaan.
- Turbidity meter: Ukur tingkat kekeruhan air.
- DO & BOD meter: Ukur oksigen terlarut dan kebutuhan oksigen biologis.

- Water Hardness Tester & TDS meter: Analisa kesadahan dan total padatan terlarut.

1. Air Sanitasi

Air sanitasi digunakan untuk kebutuhan domestik dan laboratorium, dan harus memenuhi kriteria berikut:

- Fisik: Suhu normal, jernih, tidak berbau atau berasa.
- Kimia: Bebas zat organik/anorganik beracun.
- Bakteriologis: Bebas bakteri patogen (misalnya *E. coli*, *Salmonella*, *Pseudomonas*).