

BAB IV UNIT PENDUKUNG PROSES

Unit pendukung proses atau unit utilitas merupakan unit yang didesain untuk menunjang berlangsungnya operasional proses suatu pabrik. Selain bahan baku, diperlukan bahan penunjang lainnya seperti air, *steam*, bahan bakar, listrik, udara tekan, dan sebagainya. Untuk mendukung produksi isopropanol maka diperlukan beberapa unit pendukung proses sebagai berikut:

1. Unit Pengadaan dan Pengolahan Air

Unit ini memiliki peranan menyediakan kebutuhan air, dari mulai pengadaan air proses, air pendingin, air umpan boiler dan air sanitasi untuk perkantoran.

2. Unit Pengadaan Listrik

Unit ini berfungsi sebagai tenaga penggerak pada peralatan proses maupun penerangan. Listrik akan disuplai dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan generator pribadi milik pabrik. Generator ini akan digunakan sebagai cadangan sumber listrik apabila listrik dari PLN mengalami gangguan.

3. Unit Pengadaan *Steam*

Unit ini memiliki peranan untuk menyediakan *steam* yang akan digunakan untuk proses pemanasan pada *heater* dan *reboiler*.

4. Unit Pengadaan Bahan Bakar

Unit ini berfungsi untuk menyediakan kebutuhan bahan bakar peralatan proses.

5. Unit Pengadaan Udara Tekan

Unit ini berfungsi untuk menyediakan udara bertekanan untuk kebutuhan instrumentasi di bagian proses dan bengkel.

6. Unit Laboratorium

Unit ini berfungsi untuk mengawasi kualitas produk hasil proses produksi.

7. Unit Pengolahan Limbah

Unit ini berfungsi untuk mengolah limbah pabrik baik berupa padat, cair maupun gas.

8. Unit Keselamatan Kerja dan Lingkungan Hidup

Unit ini memiliki fungsi memberikan kebijakan baik dalam aspek perencanaan, pelaksanaan, pemantauan, keselamatan kerja, dan kesehatan karyawan.

4.1 Unit pengadaan dan Pengolahan air

Air merupakan sumberdaya alam terbarukan yang sangat dibutuhkan dalam setiap aspek kehidupan termasuk dalam industri kimia. Air merupakan kebutuhan utama dalam proses industri kimia, sehingga dibutuhkan pengadaan dan pengolahan air bersih dengan kualitas dan kuantitas yang dapat memenuhi kebutuhan pabrik agar pabrik dapat berjalan dengan baik. Sumber air yang digunakan untuk kebutuhan pabrik diambil dari air Kali Cimanuk yang berjarak 10 km dari pabrik dan diproses terlebih dahulu sebelum digunakan. Spesifikasi air sungai terlampir pada **Tabel 4.1** sebagaimana berikut:

Tabel 4.1 Spesifikasi Air Kali Cimanuk (Prasetyo & Arzena, 2023)

Parameter	Satuan	Nilai
Nitrit	mg/L	0,098
Oksigen terlarut	mg/L	4,6 – 8,1
<i>Biological Oxygen Demand</i>	mg/L	1,4 - 11
<i>Chemical Oxigen Demand</i>	mg/L	3,8 - 70
Deterjen	mg/L	0,8
Ammonia Bebas	mg/L	0,098

Air yang dijadikan air sanitasi dan umum, termasuk air hidran (pemadam kebakaran), menggunakan air bersih yang sudah melewati proses filtrasi. Air pendingin menggunakan air bersih yang berada di cooling tower. Sedangkan air umpan boiler menggunakan air bersih yang melewati proses filtrasi, demineralisasi, dan deaerasi terlebih dahulu.

4.1.1 Unit Pengadaan Air

1. Air Pendingin

Air pendingin pada perancangan pabrik isopropanol digunakan untuk proses pendinginan pada *cooler* dan *condenser*. Alasan pemilihan air sebagai media pendingin adalah dengan mempertimbangkan hal berikut :

- Air merupakan bahan yang mudah untuk didapatkan dan cenderung murah. Oleh karena itu, air dapat menjadi pilihan yang ekonomis untuk digunakan selama proses pendinginan.
- Suhu air dapat dengan mudah dikontrol dan diatur untuk memenuhi berbagai kebutuhan proses pendinginan.
- Air adalah bahan yang tidak berbahaya bagi lingkungan dan dapat dengan mudah didaur ulang setelah dimanfaatkan.

- Air memiliki kapasitas kalor yang tinggi, yang berarti air dapat menyerap banyak panas sebelum mengalami kenaikan suhu sehingga membuat air efektif dalam menyerap panas dari benda yang dipanaskan.
- Air tidak mudah untuk terdekomposisi.

Dengan alasan yang sudah disebutkan membuat air menjadi pilihan yang umum digunakan dalam proses pendinginan dalam produksi isopropanol. Adapun syarat air yang digunakan sebagai media pendingin terlampir pada **Tabel 4.2** sebagaimana berikut:

Tabel 4.2 Spesifikasi Air Pendingin (ISO 22449-1)

Parameter	Satuan	Nilai
pH	/	6,5 - 9
Total Hardness	(CaCO ₃ mg/l)	≤ 250
Alkalinity	(CaCO ₃ mg/l)	100 – 500
BOD		≤ 10
COD		≤ 30
TSS	mg/l	≤ 10
TDS	mg/l	≤ 5.000
Konduktivitas		≤ 3.000
Residu klorin	mg/l	0,1 – 0,2
Klorida	mg/l	≤ 300 (stainless steel) ≤ 1000 (metal lain)
Fecal Coliform	CFU/100ml	≤ 200

Kebutuhan air pendingin yang diperlukan dalam proses produksi isopropanol dapat dilihat dalam **Tabel 4.3** dibawah ini:

Tabel 4.3 Kebutuhan Air Pendingin

Sumber air pendingin	Peralatan	Kode	Kebutuhan (kg/jam)
Cooling Tower	Kondensor	CD-201	1583,369
		CD-301	54897,937
		CD-302	29553,613
	Cooler	E-201	12133,936
		E-401	5453,893
		E-302	5793,523
		E-303	14391,826

Sumber air pendingin	Peralatan	Kode	Kebutuhan (kg/jam)
<i>Cooling Tower</i>	<i>Cooler</i>	E-304	1546,500
Total			125354,596

Kebutuhan air untuk proses air pendingin adalah sebesar 125.354,596 kg/jam atau sebesar 3.017,56 m³/hari. Air pendingin pada pabrik isopropanol berasal dari *cooling tower* yang menghasilkan *cooling water* dengan suhu masuk 25°C dan keluar unit proses pada suhu 45°C. Air *make-up* ditambahkan 2% dari jumlah total dengan pertimbangan untuk mengantisipasi kebocoran yang terjadi pada pipa distribusi agar tidak mengganggu keberjalanan proses produksi (Advantage Engineering, 2023). Pada suhu 25°C densitas air adalah sebesar 997 kg/m³. maka kebutuhan air pada pendingin adalah :

Kebutuhan air *make-up*

$$= 125.354,596 \frac{kg}{jam} \times 2\% = 2.507 \frac{kg}{jam}$$

$$= 2.507 \frac{kg}{jam} \times 24 \frac{jam}{hari} \times \frac{1 kg}{997m^3} = 60,35 \frac{m^3}{hari}$$

Kebutuhan air *start up*

$$= 125.354,596 \frac{kg}{jam} \times 102\% = 127.861,688 \frac{kg}{jam}$$

$$= 127.861,688 \frac{kg}{jam} \times 24 \frac{jam}{hari} \times \frac{1 kg}{997m^3} = 3.077 \frac{m^3}{hari}$$

2. Air Umpan Boiler

Air yang digunakan sebagai air umpan boiler harus memenuhi syarat-syarat berikut :

Tabel 4.4 Syarat Air Umpan Boiler (SNI 7628:2009)

Parameter	Nilai
pH (pada 25°C)	7 – 9
Kesadahan (mg/l CaCO ₃)	Maksimum 1
Lemak dan minyak (mg/l)	= 0
Oksigen terlarut (mg/l O)	= 0

(Asme Boiler Water Guidelines)

Kebutuhan *steam* yang diperlukan dalam proses produksi isopropanol dapat dilihat dalam **Tabel 4.5** dibawah ini:

Tabel 4.5 Kebutuhan Steam

Peralatan	Kode	Kebutuhan (kg/jam)	Jenis Steam
<i>Heater</i>	E-301	2,3	MP
	E-305	104	MP
	DC-201	1146,19	HP
<i>Reboiler</i>	DC-301	2575,15	MP
	DC-302	1945,64	HP
Total		5.770,988	

Dari tabel diatas dapat dilihat kebutuhan air untuk keperluan *steam* adalah sebesar 5.770,988/jam atau 145,85 m³/hari. Dalam proses pembentukan *steam* akan ditemukan kehilangan air yang disebabkan oleh kejadian *blowdown* dan *steam traps*. *Blowdown* merupakan penghilangan sebagian air untuk menghilangkan pengotor dari air yang terkumpul di dalam boiler yang disebabkan oleh pengotor yang tidak teruapkan sehingga membentuk lumpur. Tujuan dari *steam traps* adalah untuk menghilangkan kondensat yang terbentuk di dalam pipa-pipa *steam* yang disebabkan oleh turunnya temperature pipa-pipa *steam* yang keluar dari boiler. Sehingga untuk mengantisipasi kedua hal tersebut, air umpan akan dlebihkan sebanyak 127% dengan pertimbangan 10% untuk *blowdown* (Sunugas dan Prince, 2013) dan 17% untuk *steam traps* (DNVGL, 2020) sehingga kebutuhan air umpan total adalah sebagai berikut :

$$= 5.770,988 \frac{kg}{jam} \times 127\% = 7.332,01 \frac{kg}{jam}$$

$$= 7.332,01 \times 24 \frac{jam}{hari} \times \frac{1 kg}{950 m^3} = 185,23 \frac{m^3}{hari}$$

Jadi kebutuhan air untuk *blowdown* dan *steamtraps* :

$$= 7.332,01 \frac{kg}{jam} - 5.770,99 \frac{kg}{jam} = 1.558,77 \frac{kg}{jam}$$

Kebutuhan air untuk mengantisipasi *blowdown* dan *steam traps* tersebut adalah 1.558,77 kg/jam yang akan dlebihkan 5% lagi untuk mengantisipasi kebocoran pipa (Frayne, 1999) sehingga menjadi 1.558,82 kg/jam atau 37,4 m³ /hari. Total kebutuhan *boiler feed water* adalah 8.890,79 kg/jam atau 222,64 m³ /hari

3. Air sanitasi dan kebutuhan pemadan kebakaran

Air sanitasi digunakan untuk memenuhi kebutuhan air kebersihan, laboratorium, kantor, maupun rumah tangga. Syarat air sanitasi menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2023 terampir pada **Tabel 4.6** sebagai berikut :

Tabel 4.6 Parameter Air Sanitasi

No	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
Parameter Fisik			
1	Kekeruhan	NTU	25
2	Warna	TCU	50
3	Zat padat terlarut	mg/l	1000
4	Suhu	°C	Suhu udara ±3
5	Rasa		Tidak berasa
6	bau		Tidak berbau
Parameter Biologi			
1	Total coliform	mg/l	50
2	E.Coli	mg/l	0
Parameter Kimia			
1	pH		6,5 – 8,5
2	Besi	mg/l	1
3	Fluorida	mg/l	1,5
4	Kesadahan	mg/l	500
5	Mangan	mg/l	0,5
6	Nitrat	mg/l	10
7	Nitrit	mg/l	1
8	Sianida	mg/l	0,1
9	Deterjen	mg/l	0,05
10	Pestisida total	mg/l	0,1
11	Air raksa	mg/l	0,001
12	Arsen	mg/l	0,05
13	Cadmium	mg/l	0,005
14	Kromium	mg/l	0,05

No	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
15	Selenium	mg/l	0,01
16	Seng	mg/l	15
17	Sulfat	mg/l	400
18	timbal	mg/l	0,05

Kebutuhan air sanitasi adalah sebagai berikut :

a. Air untuk karyawan

Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 70 tahun 2016 tentang standar dan persyaratan kesehatan lingkungan kerja industri, sanitasi minimal perorang adalah 60 L/hari. Dengan jumlah karyawan sebanyak 136 orang, maka air yang dibutuhkan adalah sebesar 8.160 L/hari atau 8,16 m³/hari.

b. Air untuk kebutuhan laboratorium

Menurut Permen LHK No. 23 tahun 2020 tentang Laboratorium Lingkungan, dengan mengacu pada Rule of Thumb kebutuhan minimum air untuk laboratorium adalah 1,5 m³/hari.

c. Air untuk kebutuhan tamu

Tidak dapat dipungkiri bahwa suatu perusahaan akan didatangi oleh tamu-tamu untuk keperluan tertentu sehingga kebutuhan air untuk tamu juga perlu diperhitungkan. Diasumsikan kebutuhan air untuk tamu sama dengan air untuk karyawan dan tamu datang perhari adalah 20 orang. Sehingga air yang dibutuhkan adalah 1200 L/hari atau 1,2m³ /hari.

d. Air yang digunakan untuk keperluan lain-lain adalah 6 m³/hari

Air ini akan digunakan untuk keperluan taman, musholla, dan kebutuhan lain-lain

e. Air untuk pemadam kebakaran

Air untuk pemadam kebakaran hanya akan digunakan pada saat terjadi suatu kebakaran sehingga penggunaan air ini tidak dilakukan secara rutin namun hanya bersifat incidental. Syarat air pemadam kebakaran adalah tidak mengandung padatan dan kotoran seperti pasir, batuan kerikil, maupun daun. Berdasarkan Peraturan SNI 03-1735-2000 tentang instalasi *hydrant* gedung mengatur tata cara pelaksanaan akses bangunan dan akses lingkungan untuk

mencegahan bahaya kebakaran pada bangunan gedung, pasokan air untuk *hydrant* paling minimal adalah 2400 liter/menit dan mampu mengalirkan air minimal selama 45 menit. Jumlah air yang dibutuhkan dengan spesifikasi seperti itu adalah 108 m³. Dalam Peraturan SNI 03-1735-2000 juga menjelaskan bahwa satu pilar *hydrant* dapat melindungi area mencapai 1000 m². Pabrik isopropanol direncanakan akan dibangun seluas 36.150 m² sehingga untuk jumlah total *hydrant* yang dibutuhkan adalah sebanyak 37 buah. Pada Peraturan SNI 03-1735-2000, *hydrant* kedua dan selanjutnya harus mampu mengalirkan air sebesar 1200 liter/menit. Maka jumlah air yang akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan air *hydrant* pada pabrik isopropanol adalah :

$$\begin{aligned} \text{Total air } hydrant &= (1 \times 2400 \times 45 + 36 \times 1200 \times 45) \text{ L} \\ &= 2.052.000 \text{ L} \\ &= 2,052 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan dan pertimbangan diatas, maka jumlah air yang dibutuhkan untuk pabrik ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.7 Kebutuhan Air Pabrik Isopropanol

Keperluan	Kebutuhan (m ³ /hari)
Air pendinginan	3.138,27
Air umpan boiler	214,02
Air sanitasi	0,7
Air <i>hydrant</i>	49.248

4.1.2 Unit Pengolahan Air

Sumber air yang digunakan untuk kebutuhan pabrik diambil dari sungai yang telah melalui proses pengolahan terlebih dahulu sebelum digunakan. Air yang dijadikan air sanitasi dan umum, termasuk air hidran (pemadam kebakaran) menggunakan air bersih yang sudah melewati proses filtrasi, air pendingin menggunakan air bersih yang berada di *cooling tower* dan *refrigerant*, sedangkan air umpan boiler menggunakan air bersih yang melewati proses filtrasi, demineralisasi, dan deaerasi terlebih dahulu. Tahapan pengolahan air ditunjukkan pada **Gambar 4.1**

1. Penjernihan (*Clarification*)

Air sungai diambil dan dialirkan ke sistem *water intake* yang dilengkapi *screen* dan pompa. *Screen* berfungsi menyaring kotoran dan benda asing sebelum air masuk ke unit pengolahan. Air yang tersaring oleh *screen* masuk ke *Suction* pompa dan dialirkan melalui pipa masuk ke unit pengolahan air.

Air masuk ke dalam tangki sedimentasi untuk mengendapkan dan memisahkan lumpur yang mungkin terbawa, yang dapat menyebabkan gangguan *fouling* di dalam proses penyediaan air bebas mineral. Partikel yang besar dihilangkan dengan penyaringan, tetapi koloidal yang ada dilepas melalui proses klarifikasi dalam penetralan dan penggumpalan (*coagulation*) dan sebelum dikeluarkan dilakukan injeksi larutan alum, kaustik, dan klorin. Jumlah aliran bahan kimia yang masuk dikontrol secara otomatis sebanding dengan jumlah air yang masuk. Jumlah injeksi bahan kimia tergantung dan mutu air sungai dan keadaan operasi di lapangan. Semua air alam mengandung bermacam-macam jenis dan jumlah pengotor. Kotoran ini dapat digolongkan sebagai:

1. Padatan yang terlarut Zat-zat padat yang terlarut terdiri dari bermacam-macam komposisi mineral-mineral seperti kalsium karbonat, magnesium karbonat, kalsium sulfat, magnesium sulfat, silika, sodium klorida, sodium sulfat dan sejumlah kecil besi, mangan, florida, aluminium, dan lain-lain.
2. Gas-gas yang terlarut Gas-gas yang terlarut biasanya adalah komponen dari udara walaupun biasanya jarang, seperti hidrogen sulfida, metana, oksigen dan CO₂.
3. Zat yang tersuspensi Dapat berupa kekeruhan (*turbidity*) yang terjadi dari bahan organik, mikro organik, tanah liat dan endapan lumpur, warna yang disebabkan oleh pembusukan tumbuh-tumbuhan, dan lapisan endapan mineral seperti minyak.

Pada proses penjernihan air ini digunakan bahan kimia seperti Larutan Alum (Aluminium Sulfat), Soda Kaustik (NaOH), dan Klorin/Kaporit. Bahan kimia tersebut berfungsi sebagai bahan penggumpal (*flocculant*). pengatur pH, membunuh bakteri, jamur, dan mikroorganism sehingga dapat memepermudah pembentukan flok. Air sungai yang telah di-treatment pada unit purification, selajutnya diolah pada unit filtrasi yaitu pada *Sand Filter*.

2. Penyaringan (*Filtration*)

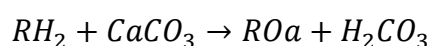
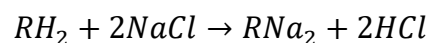
Air yang dipersiapkan sebagai bahan baku untuk proses pertukaran ion (*ion exchanger*) harus disaring untuk mencegah fouling di penukar ion yang disebabkan oleh kotoran yang terbawa.

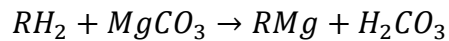
Sejumlah kotoran yang terbawa dikoagulasikan pada proses penjenihan. Bahan akan dihilangkan termasuk bahan organik, warna dan bakteri. Air yang telah mengalami proses penjernihan turbiditasnya menjadi 5 ppm atau lebih rendah. Selama operasi dari filter, kotoran yang masih terbawa pada air setelah mengalami proses penjernihan akan terlepas oleh filter dan terkumpul pada permukaan bed. Penyaringan ini menggunakan media pasir atau *sand filter* berbentuk silinder vertikal. Bila *sand filter* ini telah jenuh maka perlu dilakukan regenerasi, dengan cara cuci aliran balik (*backwash*) dengan aliran yang lebih tinggi dari aliran filtrasi, hal ini dilakukan untuk melepaskan kotoran dari permukaan filter dan untuk memperluas bidang penyaringan. Setelah *backwash* dan filter dioperasikan kembali, air hasil saringan untuk beberapa menit pertama dikirim ke pembuangan, hal ini dilakukan untuk membersihkan sistem dari benda - benda padat yang masih terbawa dan setelah itu dibuang. *Backwash filter* secara otomatis terjadi bila hilang tekan tinggi (*high pressure drop*) tercapai atau waktu operasi (*duration time*) tercapai. Larutan kaustik diinjeksikan melalui pipa (*line header outlet*) dari *sand filter* untuk mengatur pH dari produk air filter yang masuk ke tangki penyimpanan air filter. Untuk mencegah tumbuhnya mikroorganisme yang ada dalam air filter dilakukan injeksi klorin. Dari tangki air filter, air didistribusikan ke *cooling tower*, keperluan air umum, air *hydrant*, dan unit demineralisasi.

3. Demineralisasi

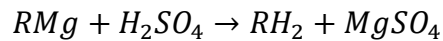
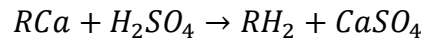
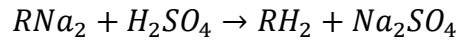
Demineralisasi bertujuan menghilangkan seluruh ion dalam air sehingga menghasilkan air demin (*deionized water*) yang digunakan sebagai air umpan boiler. Proses ini penting karena air bersih saja tidak cukup untuk mencegah kerak akibat garam terlarut. Air hasil filter dialirkan ke:

- *Cation Exchanger* berisi resin asam lemah (metakrilat), yang menukar kation dengan ion H⁺ dengan reaksi sebagai berikut :

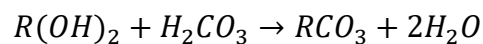
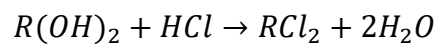
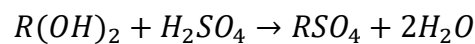




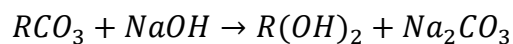
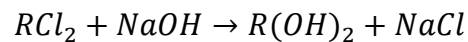
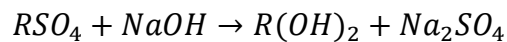
Resin yang telah jenuh diregenerasi menggunakan larutan asam (H_2SO_4), untuk mengikat H^+ . Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



- *Anion Exchanger* berisi resin basa lemah (aminopolistirena), yang menukar anion dengan ion OH^- . Reaksi yang terjadi :



Resin yang telah jenuh diregenerasi menggunakan larutan basa ($NaOH$) untuk mengikat ion OH^- . Reaksi yang terjadi :

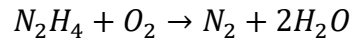


Hasil akhirnya adalah air demin bebas ion yang diharapkan mempunyai pH 7-8, yang kemudian disimpan di tangki demin sebagai tempat penyimpanan semenraea. Dari tangki air demineralisasi, air didistribusikan ke peralatan proses dan unit deaerasi untuk diproses lebih lanjut menjadi BFW (*Boiler Feed Water*).

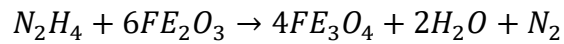
4. Deaerasi

Proses deaerasi merupakan tahap penting dalam pengolahan air umpan boiler untuk menghilangkan gas-gas terlarut, khususnya oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2), yang dapat menyebabkan korosi pada pipa dan permukaan logam di dalam *tube-tube* boiler. Proses ini dilakukan dengan dua metode utama, yaitu secara mekanis dan kimiawi. Secara mekanis, penghilangan dilakukan dengan metode *stripping* menggunakan *steam*. Uap panas mengusir gas-gas terlarut dari air dengan cara mendorongnya keluar ke atmosfer. Metode ini dapat menurunkan kadar oksigen hingga sekitar 0,007 ppm. Selanjutnya, proses kimia dilakukan dengan penambahan

senyawa hidrazin (N_2H_4) yang bereaksi dengan sisa oksigen membentuk gas nitrogen (N_2) dan air (H_2O). Reaksinya adalah

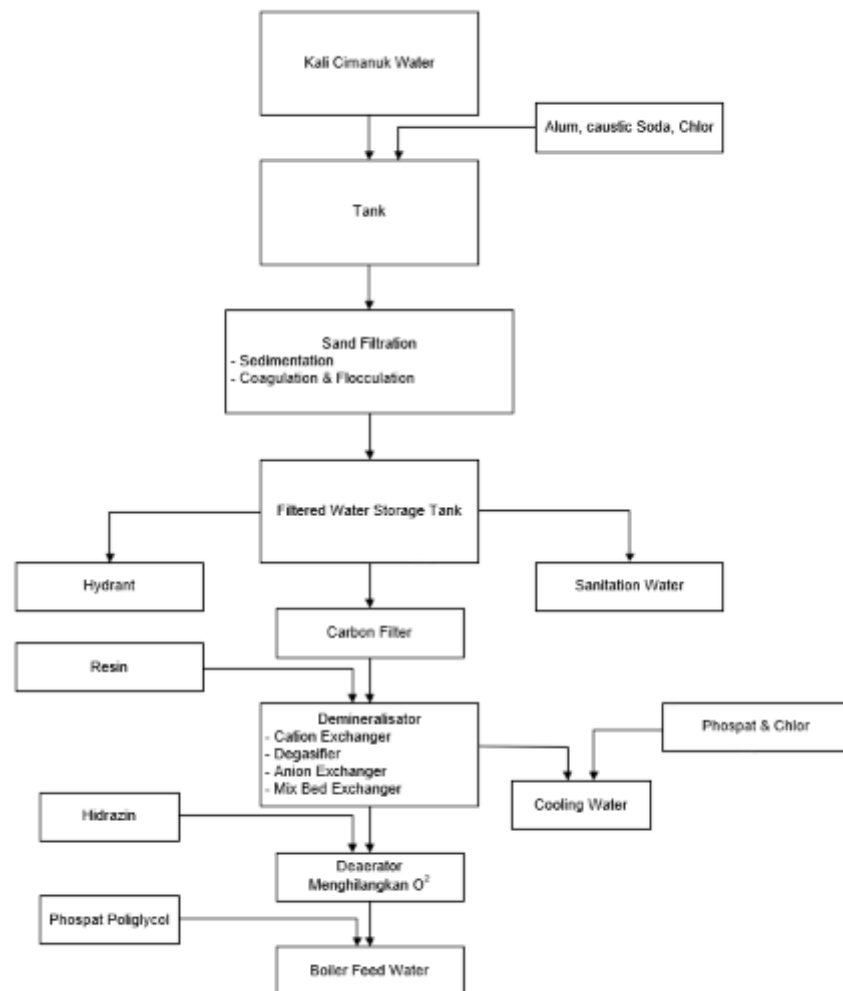


Selain itu N_2H_4 juga bereaksi dengan senyawa besi oksida (Fe_2O_3) membentuk magnetit (Fe_3O_4), yang bersifat pasif dan tidak merusak, serta menghasilkan uap air dan nitrogen :



Untuk menjaga kestabilan kimia dan meminimalkan korosi, pH air juga dinaikkan hingga sekitar 9,0 dengan penambahan amonia (NH_3). Air hasil dari proses ini disebut sebagai *Boiler Feed Water* (BFW), yaitu air yang telah bebas dari gas-gas pengotor dan siap digunakan sebagai air umpan boiler.

Di bawah ini merupakan skema pengolahan air pada pabrik isopropanol



Gambar 4.1 Diagram Alir Pengolahan Air Pabrik Isopropanol

4.2 Unit Pengadaan Listrik

Pada perancangan pabrik isopropanol ini terdapat unit pengadaan listrik yang berfungsi sebagai penggerak peralatan proses ataupun penerangan. Berikut ini merupakan kebutuhan serta sumber listrik untuk keberjalanan pabrik isopropanol.

4.2.1 Kebutuhan Listrik

Kebutuhan listrik pada pabrik isopropanol ini terdiri dari kebutuhan listrik untuk proses dan utilitas, penerangan dan *air conditioner*, kebutuhan untuk laboratorium, bengkel, dan instrumentasi, serta kebutuhan untuk kantor.

a. Kebutuhan listrik proses dan utilitas

Kebutuhan Listrik untuk proses industri dan utilitas tertera pada tabel berikut

Tabel 4.8 Kebutuhan Listrik untuk Keperluan proses

No	Alat	Jumlah	HP Alat	HP Motor
1	Pompa Air	1	1	2
2	Pompa Gliserol	1	1	2
3	Pompa <i>Feed</i> Entrainer	1	1	2
4	Pompa <i>Feed</i> ED	1	1	2
5	Pompa <i>Feed</i> ER	1	1	2
6	Pompa Propilen	1	1	2
7	Pompa Isopropanol	1	1	2
8	Pompa <i>Wastewater</i>	1	1	2
9	<i>Mixer</i>	1	397,7	318,1
Total		9	405,66	334,13

Tabel 4.9 Kebutuhan Listrik untuk Keperluan Utilitas

No	Alat	Jumlah	HP Pompa	HP Motor
1	Pompa Air Pendingin	1	1,00	2
	Produk	1	1,00	2
		1	1,00	2
2	Pompa Air Pendingin <i>Feed</i> ED	1	1,00	2

No	Alat	Jumlah	HP Pompa	HP Motor
3	Pompa Air Pendingin <i>Feed ER</i>	1	1,00	2
4	Pompa Air Pendingin <i>Rec. Gly</i>	1	1,00	2
5	Pompa Air Pendingin <i>wastewater</i>	1	1,00	2
6	Pompa Air Pendingin <i>Condensor RD</i>	1	1,00	2
7	Pompa Air Pendingin <i>Condensor ED</i>	1	1,00	2
8	Pompa Air Pendingin <i>Condensor ER</i>	1	1,00	2
9	Pompa Air Baku	5	1000	1100

Total kebutuhan listrik untuk keperluan proses dan utilitas sebesar:

Total HP Alat = 1.416,66

Total HP Motor = 1.455,13

Total Kebutuhan Listrik = $2.141,5 \times 0,7457$
= 2.141 kWh

b. Kebutuhan listrik untuk penerangan untuk dalam dan luar ruangan

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

$$\text{Lumen} = \text{area} \times \text{lux}$$

Keterangan:

Area = luas daerah yang membutuhkan pencahayaan (m^2)

lux = kebutuhan energi cahaya persatuan luas (lumen/m^2)

Besarnya lux bergantung pada area yang akan diberi penerangan. Dalam prarancangan pabrik isopropanol ini digunakan nilai lux standar berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 70 Tahun 2016

Tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri. **Tabel 4.10** dan **Tabel 4.11** menunjukkan kebutuhan listrik untuk penerangan dalam ruangan dan luar ruangan

Tabel 4.10 Kebutuhan Listrik untuk Penerangan Dalam Ruangan

No	Bangunan	Luas (m ²)	Lux	Lumen	Jumlah	Watt
1	Kantor	1.500	300	450.000	167	3.340
2	Koperasi	125	100	12.500	5	100
3	Aula	600	200	120.000	45	900
4	Masjid	500	80	40.000	15	300
5	Perpustakaan	300	150	45.000	17	340
7	Poliklinik	300	80	24.000	9	180
8	Control Room	600	200	120.000	45	900
9	Mess Karyawan	1.750	150	262.500	98	1960
10	Kantin	125	100	12.500	5	100
11	Pos satpam 2	37.5	15	562.5	1	20
12	Pos satpam 3	37.5	15	562.5	1	20
13	Pos satpam 4	37.5	15	562.5	1	20
14	Pos satpam Tempat Parkir	37.5	15	562.5	1	20
Total					410	8200

Tabel 4.11 Kebutuhan listrik untuk penerangan luar ruangan

No	Bangunan	Luas (m ²)	Lux	Lumen	Jumlah	Watt
1	Taman	1.500	70	105.000	22	2.200
2	Parkiran	2.000	200	400.000	84	8.400
3	Bengkel	900	200	180.000	38	3.800
4	Daerah Utilitas	3.000	400	1.200.000	250	25.000
5	Daerah Bahan Baku & Produk	2.750	400	1.100.000	230	23.000
7	Unit Pengolahan Limbah	2.250	300	675.000	141	14.100
8	Daerah Pengembangan	38.850	50	1.942.500	405	40.500
9	Lapangan parkir kendaraan berat	3.000	200	600.000	125	12.500

No	Bangunan	Luas (m ²)	Lux	Lumen	Jumlah	Watt
10	Titik Kumpul	400	80	32.000	7	700
Total					1302	130200

Lampu yang direncanakan untuk area *indoor* adalah lampu merek Hori sebesar 20 watt, di mana tiap lampu, besar lumennya adalah 2.700. Sedangkan untuk *outdoor* digunakan lampu Hori floodlight sebesar 100 Watt dengan nilai Lumen 4.800.

- Kebutuhan lampu *Indoor* = 841 lampu
- Kebutuhan lampu *Outdoor* = 6.498 lampu

Sehingga dapat dihitung total daya penerangan lampu, sebagai berikut :

- *Indoor* = 410 lampu x 20 watt
= 8.200 watt
= 8,2 kW
- *Outdoor* = 1.302 lampu x 100 watt
= 130.200 watt
= 130,2 kW

c. Kebutuhan listrik untuk *air conditioner*

Kebutuhan listrik untuk AC dapat dihitung dengan menghitung jumlah luas ruangan yang menggunakan AC, adapun jumlahnya terdapat pada **Tabel 4.12** dibawah ini :

Tabel 4.12 Jumlah luas ruangan yang menggunakan AC

No	Bangunan	Luas (m ²)	Jumlah AC
1	Masjid	500	3
2	Poliklinik	300	2
3	Kantor	1.500	8
4	Laboratorium	450	3
5	Perpustakaan	300	2
6	K3 & Safety	450	3
7	Ruang Kontrol	600	3
8	Pos Keamanan 1	37,5	1
9	Pos Keamanan 2	37,5	1
10	Pos Keamanan 3	37,5	1
11	Mess Karyawan	2.250	12
Total		5.462,5	111

Luas area yang memerlukan AC sebesar 5.462,5 m². Rencana AC yang digunakan yaitu AC Central (*Cassette*) 2 PK merk Neuva Polytron PCT-2032 yang diperkirakan cukup untuk memenuhi kebutuhan ruangan seluas 200 m². Adapun ruangan dengan luas dibawahnya, menggunakan AC merk Polytron 1,5 PK jenis SMART Neuva Pro yang diperkirakan cukup untuk memenuhi kebutuhan ruangan seluas 30 m² jumlah listrik yang dibutuhkan yaitu :

- AC Central = kebutuhan unit x watt/unit
= 8 unit x 2000 watt
= 16.000 watt
= 16 kW
- AC Split = kebutuhan unit x watt/unit
= 103 unit x 400 watt
= 41.200 watt
= 41,2 kW

d. Kebutuhan listrik untuk laboratorium , instrumentasi dan bengkel

Laboratorium	= 10 kW
Instrumentasi	= 25 kW
Bengkel	= 35 kW
Kebutuhan lain	= 20 kW

Listrik untuk kebutuhan lainnya yaitu untuk penggunaan listrik untuk peralatan-peralatan kantor seperti komputer, *server* komputer, printer, dan alat komputer untuk sistem DCS di *Control Room*. Total kebutuhan listrik untuk laboratorium, instrumentasi, bengkel, dan kebutuhan lainnya yaitu sebesar 2.741,1 kW.

Tabel 4.13 Kebutuhan listrik total

No	Kebutuhan	kW
1	Listrik untuk proses dan utilitas	2141,5
2	Listrik untuk penerangan	138,4
3	Listrik untuk AC	57,2
4	Listrik untuk kebutuhan lain	90,0
Total		2.741,1

Dari perhitungan diatas maka didapatkan bahwa kebutuhan total listrik yang digunakan pada pabrik isopropanol sebesar 2.427,1 kW.

4.2.2 Sumber listrik

Pada perancangan pabrik isopropanol, kebutuhan listrik akan dipenuhi dari PLN. Selain itu kebutuhan listrik juga akan disuplai dari generator apabila terdapat gangguan dari PLN.

- PLN

Kebutuhan listrik pabrik akan disuplai dari sistem interkoneksi Jawa-Bali dengan sumber utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Indramayu yang terletak di Kecamatan Sukra, berkapasitas 3×330 MW (990 MW). Listrik dari PLTU ini ditransmisikan melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV menuju Gardu Induk (GI) 150 kV Cikedung dengan kapasitas penyaluran 120 MVA. Dari GI Cikedung, tegangan diturunkan menjadi 20 kV dan didistribusikan ke lokasi pabrik di Balongan yang berjarak sekitar 40 km dari GI tersebut. Dengan demikian, pasokan listrik untuk pabrik tetap mengandalkan PLTU Indramayu sebagai sumber utama, dengan GI Cikedung sebagai titik interkoneksi dan gardu induk penyalur.

- Generator

Generator akan digunakan sebagai cadangan sumber listrik apabila terdapat gangguan dari PLN. Generator yang digunakan adalah generator jenis arus bolak-balik (AC) berdasarkan pertimbangan berikut :

1. Tegangan listrik yang dihasilkan cukup besar.
2. Tegangan dapat dinaikkan atau diturunkan sesuai kebutuhan dengan menggunakan transformator.

Generator yang digunakan adalah jenis generator AC tiga fase dengan pertimbangan tegangan listrik stabil, daya kerja lebih besar, kawat penghantar yang digunakan lebih sedikit, dan motor tiga fase harganya lebih murah. Generator yang digunakan memiliki efisiensi 85% dengan daya 1200 kW, sehingga daya yang tersimpan masih tersedia sebesar 1020 kW (1275 kJ/s). Berdasarkan Berikut ini merupakan spesifikasi generator yang digunakan :

- Tipe = AC
- Generator Fase = 3 Fase
- Kapasitas = 1200 kW
- Bahan bakar = Biosolar

- Efisiensi = 85%

(cat.com)

Bahan bakar yang digunakan oleh generator adalah biosolar B40. Berikut adalah data spesifikasi biosolar B40 menurut Mufidah dkk (2024) :

- Heating value = 42.229 kJ/kg
- Massa jenis = 858,1 kg/m³ (0,8581 kg/L)
- Specific gravity = 0,858

Menghitung massa bahan bakar yang diperlukan

$$m = \frac{Q}{f \times \eta} = \frac{1200}{42.229 \times 0,85} = \frac{1200}{35.895,65} = 0,03343 \frac{kg}{s} = 120,35 \frac{kg}{jam}$$

Keterangan :

m = massa bahan bakar yang digunakan (kg/jam)

Q = kapasitas generator (kJ/s)

η = power factor generator

Menghitung laju alir volumetrik

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{120,352 \frac{kg}{jam}}{858,1 \frac{kg}{m^3}} = 0,14025 \frac{m^3}{jam} = 140,254 \frac{L}{jam}$$

Sehingga bahan bakar yang dibutuhkan untuk generator sebanyak 140,25 L/jam atau 3.366,1 L/hari

4.3 Unit Pengadaan *Steam*

4.3.1. Kebutuhan *Steam*

Unit pengadaan *steam* pada proses produksi isopropanol bertujuan untuk menyediakan *steam* sebagai pemanas pada proses di *heater* dan *reboiler*. *Steam* yang digunakan diperoleh dari boiler yang dilengkapi dengan *steam header* sehingga mempermudah untuk mengatur tekanan sesuai tekanan *steam* yang dibutuhkan. *Steam* yang digunakan sebagai pemanas adalah *medium pressure steam* pada suhu 128°C dan *high pressure steam* pada suhu 220°C dengan keperluan sebagai berikut:

Tabel 4.14 Kebutuhan Steam

Peralatan	Kode	Kebutuhan (kg/jam)	Jenis Steam
Reboiler	DC-201	1146,192	HP
	DC-301	2575,155	MP
	DC-302	1945,636	HP
Heater	E-301	2,3	MP
	E-305	104,005	MP
Total		5.773,238	

Pembentukan *steam* terjadi di dalam boiler. Untuk pabrik Isopropil alkohol dibutuhkan *steam* sebesar 5.773,238 kg/jam dan temperature 128 dan 220°C. Jenis boiler yang digunakan adalah *water tube* boiler dengan air umpan boiler melalui *tube* dan terjadi pembentukan *steam* pada *tube*. *Water tube* boiler digunakan untuk membangkitkan *steam* dengan tekanan 1,25 atm dan temperatur 128°C serta tekanan 22,89 atm dan temperatur 220°C.

4.3.2 Kapasitas Boiler

Kapasitas boiler dapat dihitung berdasarkan banyaknya *steam* yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan produksi pabrik isopropanol.

Medium Pressure Steam

Massa *steam* = 2.681,40 kg/jam

$T_{BFW} = 30^{\circ}\text{C}$

$T_{Steam} = 128^{\circ}\text{C}$

$C_p = 1,85281 \text{ kJ/kg}$

Efisiensi = 80%

$\lambda = 2235,4 \text{ kJ/kg}$

$Q = M_{BFW} \times C_p \times \Delta T + \eta \times M_{BFW} \times \lambda$

$Q = 2.679,16 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 1,85281 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \times (128 - 30)^{\circ}\text{C} + 0,8 \times 2.681,40 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 2235,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$Q = 5.282.097,75 \text{ kJ/kg}$

High Pressure Steam

Massa *steam* = 3.091,828

$T_{BFW} = 30^{\circ}\text{C}$

$T_{Steam} = 220^{\circ}\text{C}$

$$C_p = 1,952$$

$$\text{Efisiensi} = 80\%$$

$$\lambda = 218,048$$

$$Q = M_{BFW} \times C_p \times \Delta T + \eta \times M_{BFW} \times \lambda$$

$$Q = 3.091,828 \times 1,952 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (220 - 30)^\circ\text{C} + 0,8 \times 3.091,828 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 218,048 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = 1.686.030 \text{ kJ/kg}$$

4.3.3 Jenis dan Spesifikasi Boiler

Fungsi	: Menghasilkan <i>steam</i> untuk proses produksi
Jenis Boiler	: <i>Oil Gas Fire Tube Boiler</i>
Kapasitas	: 1 ton/jam
Jumlah	: 2 buah
Suhu	: 128°C dan 220°C
Tekanan	: 2,51 atm dan 22,89
Efisiensi	: 80%
Bahan bakar	: Biosolar (B40)

4.3.4 Kebutuhan Bahan Bakar

Dipilih bahan bakar berupa jenis biodiesel yang berasal dari Pertamina dikarenakan harganya yang relatif murah dan mudah untuk didapatkan. Kebutuhan *medium pressure steam* adalah sebesar 5.282.097 kJ/kg dan *high pressure steam* sebesar 1.686.031 kJ/kg maka kebutuhan bahan bakar adalah:

Low Pressure Steam

$$m = \frac{Q}{f \times \eta} = \frac{5.282.097 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}}}{42.229 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 0,8} = 156,35 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

dimana,

m	: Massa bahan bakar yang digunakan
Q	: Kapasitas boiler
η	: Efisiensi boiler

f : Heating value bahan bakar

Medium Pressure Steam

$$m = \frac{Q}{f \times \eta} = \frac{1.686.030,66 \frac{kJ}{jam}}{42.229 \frac{kJ}{kg} \times 0,8} = 49,91 \frac{kg}{jam}$$

Maka,

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{156,22 + 49,91 \frac{kg}{jam} + 3,644 \frac{kg}{jam}}{858,1 \frac{kg}{m^3}} = 0,24 \frac{m^3}{jam} = 240,37 \frac{L}{jam}$$

sehingga bahan bakar yang diperlukan oleh boiler adalah 240,37 L/jam atau 5.765,17 L/hari.

4.4 Unit Pengadaan Bahan Bakar

Unit ini bertujuan untuk mengoperasikan boiler dan generator listrik. Pada perancangan pabrik isopropanol akan direncanakan menggunakan bahan bakar berupa biosolar (B40) yang berasal dari Pertamina dengan alasan bahan bakar mudah untuk didapatkan, memiliki harga yang relatif murah, serta lebih ramah lingkungan. Adapun spesifikasi bahan bakar solar menurut SK Dirjen Migas No. 384.K/MG.06/DJM/2024 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.15 Spesifikasi biosolar B40

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Min.	Maks.	ASTM	Lainnya
	Angka Setana					
1	Angka setana, atau		51	-	D613	-
	Indeks setana		48	-	D4737	-
2	Berat jenis (15°C)	kg/m ³	815	880	D1298 / D4052	-
3	Viskositas (40°C)	mm ² /s	2,0	5,0	D445	-
4	Kandungan sulfur	% m/m	-	0,2 0,005	D2622 / D4294 / D5453	-
5	Distilasi : 90% vol. Penguapan	°C	-	370	D86	-
6	Titik nyala	°C	52	-	D93	-

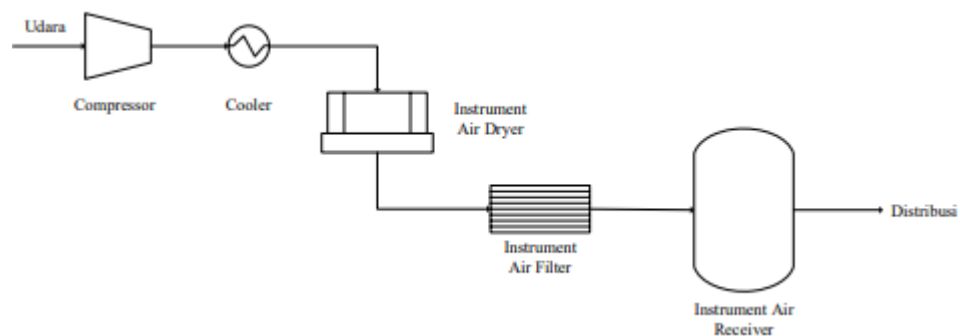
No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Min.	Maks.	ASTM	Lainnya
7	Titik kabut	°C	-	18	D2500 / D5771 / D5773 / D7683	-
	Titik tuang	°C	-	18	D97 / D5949 / D5950 / D6749	-
8	Residu karbon	% m/m	-	0,1	D189 / D4530	-
9	Kandungan air	mg/kg	-	380	D6304	-
10	Kandungan FAME	% v/v		40	D73171 / D7806 / D8274	-
11	Korosi bilah tembaga	Kelas	-	Kelas 1	D130	-
12	Kandungan abu	% m/m	-	0,01	D482	ISO 6245
13	Kandungan sedimne	% m/m	-	0,01	D473	-
14	Angka asam kuat	mgKOH/g	0		D664	-
15	Angka asam total	mg/KOH/g	-	0,6	D664	-
16	Penampilan visual	-	Jernih dan terang			Visual
17	Warna	No. ASTM	-	3	D1500 / D6045	-
18	Lubrisitas	Micron	-	460	D6079	-
19	Kestabilan oksidasi	Jam	35	-	-	EN15751
		Menit	45	-	D7545	EN16091

Total kebutuhan bahan bakar yaitu 380,62 L/jam atau 9.134,94 L/hari

4.5 Unit Pengadaan Udara Tekan

Penyediaan udara tekan pada pabrik umumnya dilakukan untuk memenuhi kebutuhan dalam proses produksi atau pengolahan bahan. Udara tekan pada umumnya akan dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak maupun sebagai penyedia udara yang bersih dan kering untuk menghasilkan produk berkualitas. Udara tekan diperlukan untuk aliran dalam alat-alat kontrol sebagai aliran pneumatik untuk menggerakkan pengendalian proses (*valve*) pada proses produksilant produksi Isopropanol ini jenis udara tekan yang digunakan adalah *instrument air*.

Instrument air unit digunakan sebagai media atau tenaga penggerak alat-alat kontrol seperti *flow control*, *pressure control*, dan kontrol lainnya dengan menggunakan tekanan 7 kg/cm². Pada tahap awal, *instrument air unit* memiliki tahap yang serupa dengan *plant air unit*, di mana akan dilewati pada kompresor berjenis *reciprocating single-acting* dan didinginkan menggunakan *cooler*. Yang membedakan adalah pada proses unit *instrument air*, udara akan dilewatkan pada *air dryer* dan *air filter* sebelum ditampung pada *instrument air receiver* yang ditujukan untuk mengurangi kadar air dan partikel pengotor pada udara agar sistem instrumentasi tidak terganggu dalam kerjanya. Hal ini membuat kualitas udara pada *unit air instrument* lebih baik dibandingkan dengan *unit air plant*.



Gambar 4.2 Instrument air unit block diagram

4.6 Laboratorium

Laboratorium memiliki peran penting dalam mendukung kelancaran proses produksi dan menjaga kualitas produk. Melalui data analisis dari laboratorium, proses produksi dapat dikontrol secara konsisten agar mutu produk tetap sesuai standar. Selain itu, laboratorium juga turut berperan dalam pengawasan terhadap potensi pencemaran lingkungan. Secara umum, tugas utama laboratorium meliputi

1. Mengendalikan mutu bahan baku dan produk akhir.
2. Melakukan analisis terhadap dampak lingkungan, termasuk udara, limbah cair, dan padat dari unit produksi.
3. Mengontrol kualitas berbagai jenis air yang digunakan dalam proses, seperti air proses, air pendingin, air umpan boiler, dan uap.

4.6.1 Sistem kerja laboratorium

Laboratorium beroperasi selama 24 jam dalam sistem kerja shift dan non-shift:

1. Kelompok Non-Shift bertugas menangani analisis yang sifatnya tidak rutin dan menyediakan reagen kimia. Tugasnya meliputi penyediaan bahan kimia untuk

laboratorium, analisis terhadap limbah penyebab polusi, serta pelaksanaan penelitian guna menunjang proses produksi.

2. Kelompok Shift bertanggung jawab atas analisis rutin seperti analisis kualitas bahan baku, pemeriksaan produk, pemantauan limbah, dan pemantauan proses produksi dengan sistem kerja bergilir, di mana setiap shift berlangsung selama 8 jam.

4.6.2 Bagian-bagian laboratorium

Pabrik isopropanol melakukan kontrol kualitas produk dengan cara melakukan beberapa pengujian di laboratorium. Agar program kerja laboratorium dapat lebih mudah untuk dilakukan, maka laboratorium dibagi menjadi tiga bagian, yaitu :

1. Laboratorium Pengendalian Mutu

Laboratorium pengendalian mutu bertanggung jawab untuk melakukan pengujian dan menganalisis spesifikasi bahan baku, yaitu propilen, bahan pendukung seperti katalis HZSM-5, serta produk isopropanol. Laboratorium ini juga bertanggung jawab untuk melakukan pengujian pada setiap aliran secara berkala untuk memastikan bahwa proses produksi berjalan dengan baik sesuai spesifikasi yang sudah ditentukan.

2. Laboratorium Pengendalian Baku Mutu Lingkungan

Laboratorium pengendalian baku mutu lingkungan bertanggung jawab untuk memantau dampak produksi pabrik terhadap lingkungan. Laboratorium ini bertugas untuk melakukan pengujian dan analisis pada air limbah, udara, tanah, dan sampel lainnya untuk memastikan bahwa produksi pabrik tidak mencemari lingkungan sekitar.

3. Laboratorium Penelitian dan Pengembangan produk

Laboratorium penelitian dan pengembangan produk mempunyai tugas untuk mengembangkan dan menyempurnakan produk baru atau produk yang sudah ada. Laboratorium ini melakukan penelitian serta pengujian untuk menemukan cara-cara baru dalam meningkatkan kualitas produk atau menciptakan produk baru

4.6.3 Pengujian yang dilakukan di laboratorium

Agar dapat menunjang kualitas bahan baku dan produk yang dihasilkan maka laboratorium pabrik isopropanol dilengkapi dengan beberapa uji yang didasarkan pada Bedner dkk. (2021), yaitu :

1. Analisa bahan baku dan produk

Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis kemurnian dari bahan baku propilen dan juga produk isopropanol. Alat yang digunakan yaitu *Gas Chromatography Mass Spectrophotometry* (GC-MS). Pada pengujian kemurnian bahan dengan GC-MS sampel bahan akan diinjeksikan ke dalam kolom kromatografi gas untuk dipisahkan menjadi komponen-komponen yang lebih kecil. Selanjutnya, spektrometer massa akan menganalisis setiap komponen yang terpisah untuk mengidentifikasi senyawa yang terkandung dan konsentrasi masing-masing senyawa dalam bahan baku tersebut

2. Analisa kandungan air

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur kandungan air dalam bahan baku maupun produk. Pengujian ini menggunakan alat *water content tester* (WCT). Alat ini bekerja berdasarkan prinsip pengukuran resistansi listrik yang dihasilkan oleh bahan baku. Semakin banyak kandungan air pada bahan, maka listrik akan semakin mudah mengalir. Resistansi listrik yang terukur oleh alat kemudian akan dikonversi menjadi persentase kandungan air.

3. Analisa *specific gravity*

Uji *Specific Gravity* (berat jenis) adalah suatu pengujian yang dilakukan untuk menentukan berat jenis atau densitas suatu zat atau cairan. Untuk mengukur *specific gravity* maka digunakan alat hydrometer. Hydrometer merupakan alat yang terdiri dari pipa kaca dengan berat kecil di ujung bawahnya dan terdapat skala yang terukur di sepanjang pipa kaca. Hydrometer bekerja dengan prinsip Archimedes, dimana berat kecil di ujung hydrometer akan mengapung dalam cairan dengan posisi tertentu tergantung pada berat jenis cairan tersebut.

Selain itu, diperlukan juga beberapa pengujian terkait dengan utilitas berdasarkan dengan Kemendikbud (2014), antara lain :

1. Uji kesadahan air

Uji kesadahan dengan metode titrimetri EDTA merupakan salah satu metode untuk mengukur kadar ion logam seperti kalsium dan magnesium dalam air.

2. Uji pH air

Uji derajat keasaman atau pH air dapat dilakukan dengan menggunakan alat berupa pH meter. pH meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur

tingkat keasaman atau kebasaan dalam larutan dengan mengukur konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam larutan tersebut.

3. Uji *turbidity*

Uji *turbidity* adalah salah satu uji yang dilakukan untuk mengukur kekeruhan atau kejernihan suatu larutan. Kekeruhan larutan dapat diakibatkan oleh partikel-partikel kecil yang terdispersi di dalam larutan atau air. Alat yang digunakan untuk menganalisis *turbidity* yaitu *Nephelometer Turbiding Unit* (NTU). Prinsip kerja dari Nephelometer Turbiding Unit didasarkan pada pengukuran intensitas cahaya yang dipantulkan oleh partikel-partikel yang terdispersi di dalam larutan atau air. Semakin banyak partikel terdispersi di dalam larutan, maka semakin banyak pula cahaya yang dapat dipantulkan sehingga nilai *turbidity* atau kekeruhannya semakin besar.

4. Uji total alkali

Analisis total alkalinity (total kebasaan) merupakan uji yang dilakukan untuk mengukur konsentrasi ion bikarbonat, karbonat, dan ion hidroksida dalam air. Metode yang digunakan yaitu metode titrimetri (ASTM D1067). Prinsip kerja dari pengujian ini yaitu dengan menambahkan asam pada sampel, maka asam akan bereaksi dengan ion-ion sehingga pH air menurun. Apabila semua ion sudah bereaksi dengan asam dan pH air sudah tetap maka jumlah asam yang ditambahkan akan diukur untuk menghitung kandungan ion bikarbonat, karbonat, dan hidroksida dalam air.

5. Uji parameter kualitas air

Untuk melakukan uji parameter kualitas air, digunakan alat TDS meter, BOD meter, dan COD meter. TDS (*Total Dissolved Solids*) meter digunakan untuk mengukur jumlah total padatan terlarut dalam air. TDS meter bekerja dengan prinsip mengukur konduktivitas air dan menghitung jumlah total padatan terlarut berdasarkan konduktivitas tersebut. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) meter digunakan untuk mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik dalam air. BOD meter akan mengukur jumlah oksigen yang tersisa dalam air setelah mikroorganisme selesai menguraikan bahan organik dalam air. COD (*Chemical Oxygen Demand*) meter digunakan untuk mengukur jumlah bahan organik dalam air yang dapat dioksidasi oleh bahan kimia tertentu. Hal ini berguna dalam menentukan tingkat pencemaran air oleh bahan organik dan

memonitor kualitas air. Ketiga alat ini sangat penting untuk memastikan kualitas air yang baik dan aman bagi lingkungan.

4.7 Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah bertugas mengelola dan mengolah limbah yang dihasilkan dari pabrik dan rumah tangga. Beberapa limbah yang dihasilkan pabrik isopropanol ini yaitu:

- a. Limbah cair
- b. Limbah gas
- c. Limbah padat

4.7.1 Limbah Gas

Pabrik isopropanol menghasilkan limbah gas dari dua sumber utama yaitu gas proses berupa propilen dan etana sebagai pengotor yang tidak terkonversi, uap diisopropil eter (DIPE) sebagai produk samping reaksi hidrasi, serta uap isopropanol yang lolos dari kondensor. Selain itu terdapat limbah gas hasil pembakaran boiler berupa NO_x, CO, CO₂, dan SO₂. Identifikasi lengkap jenis limbah gas pabrik isopropanol disajikan pada **Tabel 4.16** berikut.

Tabel 4.16 Identifikasi Jenis Limbah Gas Pabrik Isopropanol

No	Jenis limbah gas	Sumber	Karakteristik
1	Propilen sisa	Destilasi reaktif	<ul style="list-style-type: none"> • Gas mudah terbakar • Tidak berwarna • Titik didih -47,6C
2	Diisopropil eter	Produk samping reaksi hidrasi	<ul style="list-style-type: none"> • Uap mudah terbakar • Batas ledak 1,4 – 7,9% <p>Uap mudah terbakar Batas ledak 2-12%</p>
3	Uap isopropanol	Bocoran proses & kondensor parsial	Gas iritan/korosif

No	Jenis limbah gas	Sumber	Karakteristik
4	Nox, CO, CO ₂ , SO ₂	Keluaran boiler hasil pembakaran biosolar	

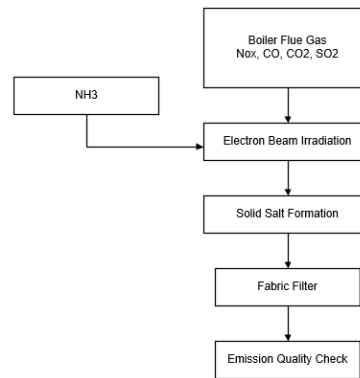
Pengendalian kualitas udara dari emisi pabrik isopropanol mengacu pada dua regulasi utama yaitu Peraturan Pemerintah RI No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara yang menetapkan baku mutu udara ambien nasional sebagaimana ditunjuk pada **Tabel 4.17**. Selain itu, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 07 Tahun 2007 yang menetapkan baku mutu emisi sumber tidak bergerak khusus untuk ketel uap/boiler, sebagaimana disajikan pada **Tabel 4.18** berikut.

Tabel 4.17 Baku Mutu Udara Ambien Nasional

No	Parameter	Waktu pengukuran	Baku mutu
1	SO ₂	24 Jam	365 µg/Nm ³
2	CO	24 Jam	10.000 µg/Nm ³
3	NO ₂	24 Jam	150 µg/Nm ³
4	CO	1 Jam	235 µg/Nm ³
5	HC	3 Jam	160 µg/Nm ³
6	Debu	24 Jam	230 µg/Nm ³

Tabel 4.18 Baku Mutu Emisi Gas Buang Boiler Baku Mutu Emisi Gas Buang Boiler

No	Parameter	Satuan	Baku mutu
1	SO ₂	mg/Nm ³	800
2	CO	mg/Nm ³	1.000
3	CO	mg/Nm ³	600
4	Partikulat	mg/Nm ³	350
5	Opasitas	% Opacity	35



Gambar 4.3 Diagram Alir Pengolahan Limbah Gas

Pada gambar 4.3 merupakan pengolahan limbah gas di pabrik isopropanol. Gas keluaran distilasi akan langsung dibuang ke udara sedangkan gas keluaran boiler yang mengandung oksida nitrogen dan sulfur diolah menggunakan metode iradiasi berkas elektron (*Electron Beam Irradiation*) dengan penambahan amoniak. Berkas elektron berenergi tinggi menionisasi molekul gas dalam aliran buang boiler, menghasilkan radikal bebas yang bereaksi dengan SO_2 dan Nox, kemudian dengan kehadiran NH_4 membentuk garam ammonium sulfat dan ammonium nitrat padat yang dipisahkan menggunakan filter kain sebelum gas bersih dilepaskna ke atmosfer. Efisiensi konversi metode ini mencapai lebih dari 90% untuk SO_2 dan Nox (sukarsono, 2017), dan gas yang telah diolah dipastikan berada di bawah baku mutu emisi Permen LH No. 07/2007 sebelum dilepas.

4.7.2 Limbah cair

Limbah cair pabrik isopropanol bersumber dari unit proses maupun kegiatan pendukung. Dari unit proses, limbah cair utama berupa kondensat dari kondensor parsial dan menara distilasi yang masih mengandung IPA residual dan DIPE, serta air proses dari operasi pencucian kolom yang memiliki nilai COD tinggi antara 1.000–5.000 mg/L akibat IPA terlarut. Dari kegiatan pendukung, dihasilkan air buangan sanitasi karyawan dan air *blowdown* boiler. Limbah cair yang mengandung IPA terlarut berpotensi meningkatkan nilai COD dan BOD perairan penerima secara signifikan sehingga memerlukan pengelolaan sebelum dibuang ke badan air. Identifikasi lengkap jenis limbah cair disajikan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Identifikasi Limbah Cair Pabrik Isopropanol

No	Jenis Limbah Cair	Sumber
1	Air proses	Aliran bawah kolom distilasi
2	Air buangan sanitasi	Toilet, pencucian, dapur
3	<i>Blowdown</i> utilitas	Boiler dan <i>cooling tower</i>

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2018 tentang Baku Mutu Air Limbah, setiap penanggung jawab industri wajib memasang dan mengoperasikan alat SPARING (Sistem Pemantauan Air Limbah secara terus-menerus dan dalam jaringan). Alat ini menggunakan sensor pada titik penataan untuk memantau kualitas air limbah secara online dan real-time. Spesifikasi minimum alat SPARING yang harus dipasang disajikan pada **Tabel 4.20**.

Tabel 4.20 Spesifikasi Minimum alat Sparing

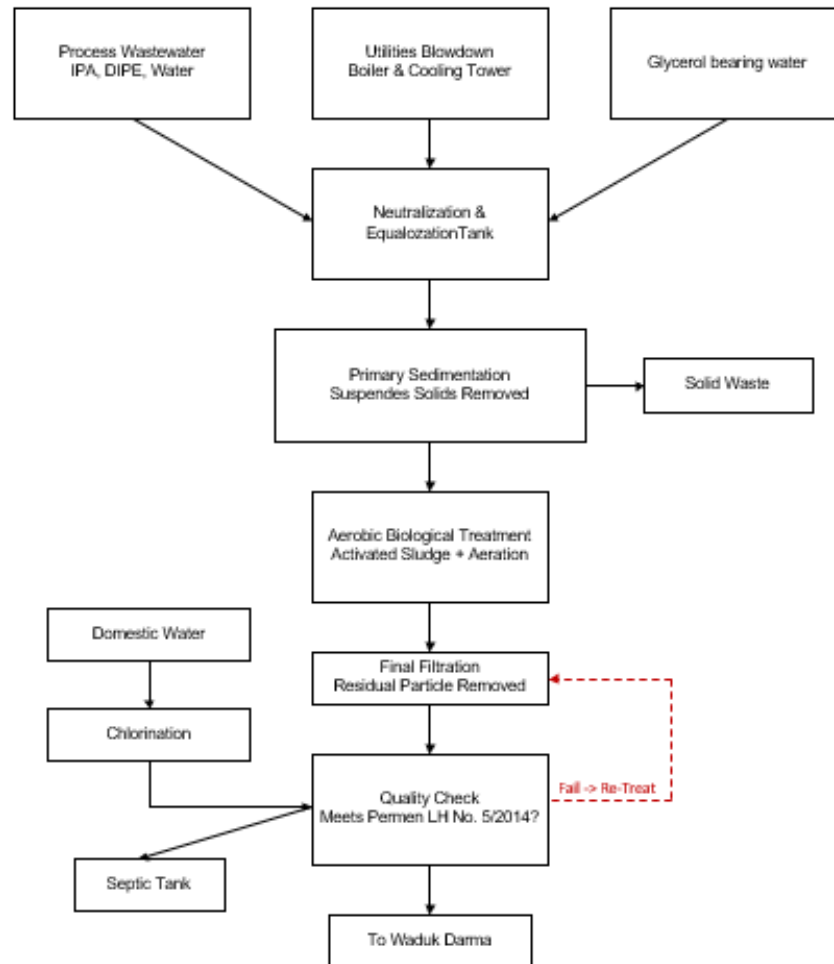
No	Parameter	Rentang Pengukuran	Satuan
1	pH	0-14	Unit
2	NH ₃ -N	0-50	mg/Liter
3	COD	10 - 1.400	mg/Liter
4	TSS	0 - 2.000	mg/Liter
5	Debit		m ³ /jam

Karena industri isopropanol belum memiliki baku mutu air limbah spesifik tersendiri, maka baku mutu yang berlaku mengacu pada parameter umum berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.21. Parameter COD dan BOD menjadi parameter kritis utama mengingat IPA yang terlarut dalam air limbah proses akan meningkatkan nilai kedua parameter tersebut secara signifikan dan harus diturunkan hingga memenuhi baku mutu sebelum *effluent* dibuang ke badan air penerima.

Tabel 4.21 Baku Mutu Limbah Cair

Parameter	Satuan	Golongan	
		I	II
Temperatur	°C	38	40
Zat padat terlarut (TDS)	mg/L	2	4
Zat padat tersuspensi (TSS)	mg/L	2	4
pH	-	6 – 9	6 – 9
Besi terlarut (Fe)	mg/L	5	10
Mangan terlarut (Mn)	mg/L	2	5
Barium (Ba)	mg/L	2	3
Tembaga (Cu)	mg/L	2	3
Seng (Zn)	mg/L	5	10
Krom Heksavalen (Cr ⁶⁺)	mg/L	0,1	0,5
Krom Total (Cr)	mg/L	0,5	1
Air Raksa (Hg)	mg/L	0,02	0,005
Timbal (Pb)	mg/L	0,1	1
Stannum (Sn)	mg/L	2	3
Arsen (AS)	mg/L	0,1	0,5
Selenium (Se)	mg/L	0,05	0,5
Nikel (Ni)	mg/L	0,2	0,5
Kobalt (Co)	mg/L	0,4	0,6
Sianida (CN)	mg/L	0,05	0,5
Sulfida (H ₂ S)	mg/L	0,5	1
Fluorida (F)	mg/L	2	3
Klorin bebas (Cl ₂)	mg/L	1	2
Ammonia-Nitrogen (NH ₃ -N)	mg/L	5	10
Nitrat (NO ₃ -N)	mg/L	20	30
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/L	1	3
Total nitrogen	mg/L	30	60
BOD ₅	mg/L	50	150
COD	mg/L	100	300

Parameter	Satuan	Golongan	
		I	II
Senyawa aktif biru metilen	mg/L	5	10
Fenol	mg/L	0,5	1
Minyak & Lemak	mg/L	10	20
Total Bakteri Koliform	MPN/100mL	10.000	



Gambar 4.4 Diagram Alir Pengolahan Limbah Cair

Diagram alir pengolahan limbah cair pabrik isopropanol disajikan pada Gambar 4.4 berikut. Air mengandung gliserol dan sisa aliran dialirkan ke unit IPAL melalui tahapan netralisasi pH, ekualisasi debit, sedimentasi awal, pengolahan biologis aerobik menggunakan sistem lumpur aktif, dan filtrasi akhir. *Blowdown* utilitas dinetralkan dan diencerkan sebelum dilepas. Limbah cair domestik diolah melalui kombinasi lumpur aktif, aerasi, dan desinfeksi klorin, sementara air limbah toilet dialirkan ke *septic tank* yang memenuhi standar teknis.

4.7.3 Limbah Padat

Limbah padat yang dihasilkan pabrik isopropanol terdiri dari tiga jenis utama, yaitu spent catalyst berupa HZSM-5, sludge hasil proses pengolahan di unit IPAL yang mengandung biomassa dan partikel anorganik, serta limbah padat domestik berupa sampah kertas, plastik, dan kemasan tidak terkontaminasi dari kegiatan operasional sehari-hari.

Spent catalyst dideaktivasi untuk menghilangkan sifat reaktif dan korosifnya, kemudian dikembalikan kepada produsen katalis untuk diregenerasi jika memungkinkan, atau diserahkan kepada pihak ketiga berizin untuk diinsinerasi. Sludge IPAL yang telah dikeringkan menggunakan filter press dan distabilisasi/disolidifikasi dikirim ke fasilitas penimbunan akhir (*landfill*) kelas I. Limbah padat domestik non-B3 dipilah berdasarkan jenisnya dan dikirim ke fasilitas daur ulang atau TPA berizin sesuai UU No. 18 Tahun 2008.

4.7.4 Limbah B3

Selain limbah cair proses, limbah gas, dan limbah padat yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, pabrik isopropanol menghasilkan beberapa jenis limbah B3 tambahan dari kegiatan pemeliharaan dan operasional. Berikut merupakan jenis limbah B3 yang dihasilkan oleh pabrik isopropanol yang terdapat pada tabel 4.22 berikut.

Tabel 4.22 Jenis Limbah Pabrik Isopropanol

No	Jenis Limbah	Sumber	Karakteristik
1	Oli bekas & sisa pelumas	Pompa, kompresor, peralatan <i>rotating</i>	Toksik terhadap lingkungan
2	Kemasan terkontaminasi	<i>Drum</i> & kontainer bekas bahan kimia	Sisa reaktan/produk berbahaya
3	<i>Spent Catalyst</i>	Reaksi hidrasi di <i>Reactive Distillation</i>	Toksik

Inventaris lengkap limbah B3 beserta sumber, sifat bahaya, kategori, dan metode pengelolaannya berdasarkan PP No. 101 Tahun 2014 sebagai berikut

- Limbah B3 Kategori
 - Mudah meledak, menyala, reaktif, infeksius, dan korosif (uji explosive-E, ignitabel-I, *reactive*-R, infectious-X, dan corrosive-C)

- Beracun (uji TCLP lebih besar daripada TCLP-A pada lampiran III PP no. 101 tahun 2014)
- Beracun (uji toksikologi LD50 lebih kecil daripada 50 mg/kg berat badan hewan uji)
- Limbah B3 Kategori 2
 - Beracun (uji TCLP lebih kecil daripada TCLP-A dan lebih besar daripada TCLP-B pada lampiran III PP no. 101 tahun 2014)
 - Beracun (uji toksikologi LD50 lebih besar daripada 50 mg/kg berat badan hewan uji)
 - Beracun (uji toksikologi sub-kronis)

- Limbah Kategori non-B3

Limbah-limbah B3 dapat diolah kembali dengan cara penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan, dan penimbunan

Seluruh limbah B3 disimpan sementara di gudang penyimpanan limbah B3 berizin yang memenuhi persyaratan teknis, meliputi ventilasi memadai, atap pelindung, tanggul penahan tumpahan, alas beton kedap air, dan perlengkapan pemadam kebakaran. Masa penyimpanan sementara tidak melebihi 90 hari sesuai PP No. 101 Tahun 2014. Setiap perpindahan limbah B3 wajib disertai dokumen manifest yang mencatat jenis, jumlah, karakteristik, dan tujuan pengolahan. Dalam penanganan limbah B3, limbah B3 harus dikirim ke pengumpul limbah B3 sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Dalam pengelolaan limbah B3 dikirim unit pengelolaan limbah B3 yang dimiliki oleh PT Pertamina.

4.8. Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lingkungan Hidup

K3 merupakan istilah yang digunakan secara nasional di Indonesia dan diatur dalam Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja serta peraturan turunan dari Kementerian Ketenagakerjaan. Fokus utama K3 adalah melindungi tenaga kerja dari kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (PAK) melalui penerapan sistem, standar, dan perilaku aman di tempat kerja. Proses produksi isopropanol memiliki risiko K3 dan lingkungan yang cukup tinggi. Isopropanol merupakan bahan yang mudah terbakar, berpotensi menyebabkan iritasi pada mata dan memberikan efek pusing serta kantuk. Adapun gliserol, meskipun bersifat relatif aman secara toksikologi, sifatnya yang licin dapat menimbulkan risiko tergelincir di area kerja. Karenanya, pengendalian

dilakukan dengan memastikan proses operasional dalam kondisi aman dan tidak ada kebocoran. Dari sisi lingkungan, limbah cair yang mengandung gliserol dan isopropanol berpotensi meningkatkan beban COD dan BOD di perairan, sehingga perlu dilakukan treatment fisik atau kimia sebelum dilepas ke lingkungan.

Guna menjamin prosedur kesehatan dan keselamatan kerja yang baik, aman, dan terlindungi, perusahaan menerapkan proses operasional pabrik yang didasarkan pada penerapan HIRADC (*Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control*) sebagai bentuk manajemen risiko. Pendekatan ini digunakan untuk mencegah kecelakaan kerja, mengendalikan bahaya, serta memastikan seluruh kegiatan berjalan dalam batas aman. Penerapan HIRADC turut didukung oleh sistem K3 yang meliputi:

1. Penggunaan alat pelindung diri atau APD adalah langkah utama perlindungan dan pencegahan kecelakaan. Secara umum, setiap pekerja wajib mengenakan minimal helm keselamatan, baju lengan panjang, kacamata pelindung, dan sepatu keselamatan saat berada di area kerja.
2. Sistem pengaman adalah perangkat perlindungan terhadap bahaya lebih lanjut, seperti pagar pengaman di area ketinggian, fasilitas *eyewash* dan *body shower*, rambu lalu lintas internal, hingga sistem *grounding* dan *bonding*.
3. Sistem pelayanan dan penanggulangan risiko yang meliputi unit pemadam kebakaran, klinik dan fasilitas ambulans serta *assembly point* disediakan guna menjamin keselamatan. Penanganan darurat ini dilakukan oleh emergency response team yang terdiri atas tim medis, petugas pemadam, *fireman* tambahan, *shift superintendent*, dan supervisor. Perusahaan juga rutin mengadakan simulasi darurat secara berkala.
4. Sistem izin kerja yang dikeluarkan oleh supervisor area dan diketahui *safety engineer*. Terdapat tiga jenis izin kerja, yakni *hot work permit* (pekerjaan yang menimbulkan panas atau api, seperti pengelasan), *cold work permit* (pekerjaan tanpa potensi api, seperti pennggantian alat dan inspeksi), serta *confined space entry permit* (pekerjaan di dalam ruang terbatas, seperti pemeriksaan dan pembersihan *vessel*)

Seluruh proses HIRADC dijalankan secara rutin, terdokumentasi, dan dievaluasi agar selalu relevan terhadap kondisi operasional terbaru. Untuk memastikan sistem manajemen risiko tetap efektif dan berkelanjutan, pendekatan HAZOP analysis turut dilakukan secara berkala.

4.9. Instrumentasi

Instrumentasi merupakan perangkat atau alat yang digunakan untuk memantau dan mengendalikan proses produksi dalam pabrik. Fungsi pengendalian ini harus dilakukan secara teliti dan tepat agar kapasitas produksi sesuai dengan target dan kondisi operasi tetap dalam batas kesalahan (*error*) yang minimal sehingga produk yang dihasilkan dapat memenuhi standar kualitas yang diharapkan (Perry & Green, 2007).

Menurut Timmerhaus (2004), instrumen diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis, yaitu: alat pengontrol (*regulator*), penunjuk (*indicator*), pencatat (*recorder*), dan pemberi tanda bahaya (alarm). Instrumen dapat dioperasikan secara manual ataupun otomatis:

1. Manual

Pemantauan dilakukan dengan alat penunjuk atau pencatat yang hanya menunjukkan nilai proses dan tidak membutuhkan ketelitian tinggi.

2. Otomatis

Proses kontrol dilakukan secara otomatis menggunakan alat seperti *controller* yang mampu mengatur variabel proses dengan presisi tinggi. Sistem otomatis ini sangat berguna saat diperlukan ketepatan tinggi karena secara langsung dapat memengaruhi kualitas dan kuantitas hasil produksi.

Tujuan dari penggunaan alat instrumentasi dalam sistem produksi antara lain :

- Menjaga variabel proses dalam batas aman dan mendeteksi risiko proses sedini mungkin.
- Menjaga konsistensi mutu produk.
- Mempermudah dalam pengoperasian alat.
- Mengontrol rate aliran bahan agar sesuai dengan kebutuhan proses.
- Menjamin keselamatan dan efisiensi kerja di lapangan.

Pabrik isopropanol menggunakan beberapa alat instrumentasi yang terdiri dari indikator dan *controller*. Beberapa jenis instrumentasi yang digunakan antara lain:

- Level Indicator *Controller* (LIC): Mengatur tinggi permukaan cairan agar sesuai dengan kebutuhan proses. Pengukuran level cairan dilakukan menggunakan radar level *transmitter* yang terhubung dengan sistem PID *controller*. Dibandingkan differential *pressure transmitter* dan *displacer transmitter*, radar *level transmitter* memberikan pengukuran yang lebih akurat karena tidak dipengaruhi perubahan densitas maupun komposisi fluida selama operasi berlangsung.
- Temperature Indicator *Controller* (TIC): Mengendalikan suhu dalam proses, khususnya jumlah aliran panas yang ditransfer dalam *heat exchanger*. Jenis TC

yang akan digunakan adalah RTD pt100 karena memiliki akurasi dan kestabilan yang tinggi pada rentang temperatur operasi proses. Sensor ini mampu memberikan pembacaan temperatur secara kontinu sehingga kondisi operasi dapat dipantau dengan baik. Selain itu, karena rentang suhu operasi hanya sampai sekitar 200°C, RTD Pt100 memberikan akurasi dan stabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan thermocouple.

- *Flow Indicator Controller (FIC)*: Mengukur dan mengendalikan laju alir fluida agar tetap sesuai set point operasi. Pada perancangan ini digunakan orifice plate dengan differential pressure transmitter karena sederhana, ekonomis, dan umum digunakan di industri proses. Dibandingkan venturi meter dan coriolis flow meter, orifice plate lebih dipilih karena biaya investasi dan perawatannya lebih rendah.
- *Pressure Indicator Controller (PIC)*: Mengatur tekanan dalam sistem. Pengukuran tekanan dilakukan menggunakan strain gauge *pressure transmitter* yang dihubungkan dengan sistem *PID controller*. Dibandingkan bourdon tube dan diaphragm transmitter, strain gauge *pressure transmitter* memiliki akurasi yang lebih tinggi serta mampu memberikan sinyal pengukuran secara kontinu untuk menjaga kestabilan tekanan operasi kolom.