

BAB IV UNIT PENDUKUNG PROSES

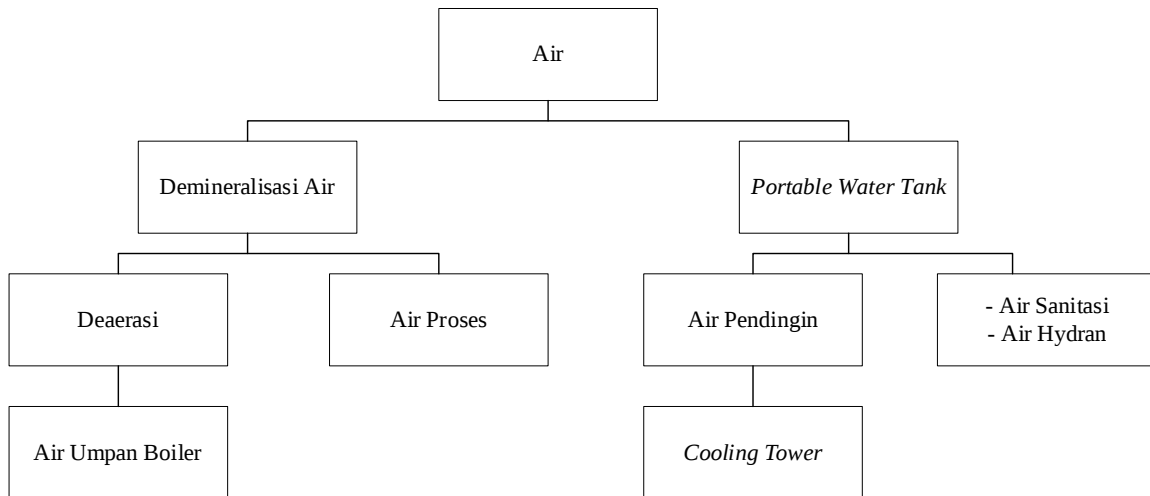
Keberlangsungan operasi pabrik Isopropil Benzena (*Cumene*) dengan kapasitas produksi 65.000 ton/tahun tidak hanya bergantung pada unit proses utama, tetapi juga pada unit pendukung yang menjamin ketersediaan bahan dan energi penunjang secara berkelanjutan. Unit pendukung proses mencakup unit utilitas sebagai penyedia kebutuhan operasional pabrik, serta unit laboratorium sebagai pengendali mutu produksi.

Unit utilitas berperan menyediakan seluruh kebutuhan penunjang operasi pabrik, meliputi air, steam, listrik, bahan bakar, serta udara tekan. Pengelolaan utilitas yang efisien sangat penting untuk menjamin kelancaran proses produksi secara keseluruhan.

4.1 Utilitas

4.1.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

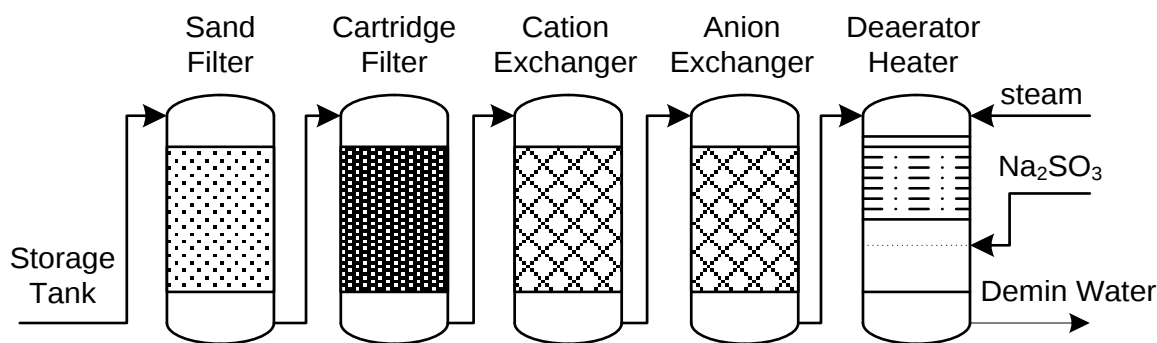
Untuk memenuhi kebutuhan air pada pabrik, unit penyediaan air mendapatkan air bersih dari fasilitas pengadaan di kawasan industri pada tempat pabrik ini didirikan. Air ini kemudian diolah kembali sebelum digunakan seperti pada tahapan sebagai berikut



Gambar 4. 1 Tahapan Pengolahan Air

Pengolahan air dilakukan melalui proses demineralisasi, yaitu penghilangan mineral dan ion-ion terlarut yang dapat menimbulkan masalah pada peralatan seperti kerak (*scaling*)

dan korosi. Proses ini diawali dengan penyaringan pada sand filter untuk mengurangi partikel kasar, dilanjutkan dengan cartridge filter untuk menangkap padatan halus. Air kemudian dialirkan ke kation exchanger yang berfungsi menangkap kation dan melepas ion H^+ , lalu ke anion exchanger yang menukar anion dengan ion OH^- . Tahap terakhir adalah deaerator, yaitu alat yang menghilangkan gas terlarut seperti oksigen dan karbon dioksida yang berpotensi memicu korosi pada sistem perpipaan maupun peralatan.



Gambar 4. 2 Proses Demineralisasi Air

Secara umum, kebutuhan air di pabrik ini dibagi menjadi tiga kategori, yaitu *cooling water* untuk keperluan pendinginan pada kolom distilasi, air umpan boiler untuk produksi steam, dan air sanitasi untuk keperluan domestik karyawan.

- Kebutuhan *Cooling Water*

Cooling water berfungsi sebagai media penyerap panas pada kondenser ketiga kolom distilasi, yaitu T-201, T-202, dan T-203. Rincian kebutuhan *cooling water* pada masing-masing kolom tersaji pada Tabel 4.1 berikut

Tabel 4. 1 Kebutuhan *Cooling Water*

Alat	Kebutuhan (kg/jam)	Kebutuhan (kg/hari)	Kebutuhan (ton/hari)
T-201	47142,86	1131428,57	1131,43
T-202	60000,00	1440000,00	1440,00
T-203	51428,57	1234285,71	1234,29
TOTAL		3805714,29	3805,71

Total kebutuhan <i>cooling water</i>	= 3.805.714,29 kg/hari
Densitas air (Perry, 1999)	= 996 kg/m ³
Volume <i>cooling water</i> yang dibutuhkan	= 3.820,99 m ³ /hari
<i>Make up cooling water</i> (10%)	= 4.203,10 m ³ /hari

- Kebutuhan Air Sanitasi

Perhitungan kebutuhan air sanitasi mengacu pada standar Linsley & Franzini (1979) dengan asumsi sebagai berikut.

- Konsumsi air karyawan ditetapkan sebesar 15 L per orang per hari dengan jumlah karyawan 52 orang, sehingga kebutuhan air karyawan $15 \times 52 = 780 \text{ L/hari} = 0,78 \text{ m}^3/\text{hari}$.
- Kebutuhan air untuk tamu, kontraktor, dan pekerja lapas diasumsikan 60 orang dengan konsumsi yang sama, sehingga diperoleh $15 \times 60 = 900 \text{ L/hari} = 0,90 \text{ m}^3/\text{hari}$.
- Kebutuhan air laboratorium ditetapkan 2,5 m³/hari.
- Kebutuhan air untuk kebersihan, taman, dan keperluan umum lainnya sebesar 10 m³/hari.

Total kebutuhan air sanitasi $0,78 + 0,90 + 2,5 + 10 = 14,18 \text{ m}^3/\text{hari}$.

- Kebutuhan Air Hydrant

Kapasitas tangki penyimpanan air hydrant dihitung berdasarkan ketentuan SNI 03-6570-2001, yang mensyaratkan laju pasokan minimum sebesar 18.925 L/menit selama minimal 30 menit. Berdasarkan ketentuan tersebut, volume tangki hydrant yang diperlukan adalah:

$$V = Q \times t = 18.925 \text{ L/menit} \times 30 \text{ menit} = 567.750 \text{ L} \approx 567,75 \text{ m}^3$$

Rekapitulasi seluruh kebutuhan air di pabrik dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut

Tabel 4. 2 Rekapulasi seluruh kebutuhan air

Penggunaan	Kebutuhan (m ³ /hari)
Make up Cooling Water (10%)	4.203,10
Air Sanitasi	14,18
Air Hydrant	0,57
Make up Air Umpan Boiler (10%)	678.57
TOTAL	4.887,83

4.1.2 Unit Penyediaan Steam

Steam merupakan salah satu utilitas utama yang digunakan sebagai media pemanas pada preheater E-201 dan reboiler kolom distilasi T-201, T-202, dan T-203. Mengingat skala kebutuhan yang besar, pemenuhan kebutuhan steam pada pabrik ini dilakukan dengan membangun unit pembangkit steam secara mandiri. Rincian kebutuhan steam disajikan pada Tabel 4.3 di bawah ini

Tabel 4. 3 Rincian kebutuhan steam

Alat	Kebutuhan (kg/jam)	Kebutuhan (kg/hari)	Kebutuhan (ton/hari)
T-201	667.98	16031.49	16.03
T-202	19156.00	459743.94	459.74
T-203	5498.64	131967.47	131.97
E-201	277.8	6667.2	6.6672
TOTAL		614410.10	614.41

Total kebutuhan steam = 614.410,10 kg/hari

Faktor keamanan (10%) = 61.441,01 kg/hari

Total make up air umpan boiler = 675.851,11 kg/hari

= 678,57 m³/hari

4.1.3 Unit Penyediaan Listrik

Kebutuhan listrik pabrik Isopropil Benzena (*Cumene*) berkapasitas 65.000 ton/tahun dipenuhi dari jaringan PLN sebagai sumber utama, dengan dukungan generator set sebagai cadangan apabila terjadi gangguan pasokan listrik. Konsumsi listrik mencakup dua kelompok besar, yaitu listrik untuk keperluan produksi dan listrik untuk operasional pabrik.

- Listrik untuk Produksi

Listrik untuk produksi mencakup kebutuhan daya pada peralatan proses, sistem utilitas, serta kegiatan penunjang seperti laboratorium, workshop, pengolahan limbah, dan instrumentasi.

- o Listrik untuk peralatan proses

Peralatan proses yang menentukan daya listrik pada pabrik ini terdiri dari pompa-pompa proses. Setiap pompa dilengkapi dengan unit cadangan untuk menjaga keandalan operasi. Rincian daya setiap pompa tersaji pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4. 4 Listrik untuk peralatan proses

Peralatan	Jumlah	Power (HP)	Power (kWh)
P-101A/B	2	28,49	509,82
P-102A/B	2	48,83	873,92
P-201A/B	2	10,40	186,17
P-202A/B	2	10,40	186,17
TOTAL	8	98,12	1756,08

- o Listrik untuk utilitas

Sistem utilitas memerlukan daya listrik untuk mengoperasikan pompa sirkulasi *cooling water*, pompa air umpan boiler, pompa air sanitasi, pompa hydrant, serta fan pada *cooling water*. Setiap pompa tersedia dalam konfigurasi satu unit operasi dan satu unit cadangan

Tabel 4. 5 Listrik untuk utilitas

Peralatan	Jumlah	Power (HP)	Power (kWh)
Pompa Cooling Water	2	20	357,94
Pompa BFW	2	2	35,79
Pompa Air Sanitasi	2	3	53,69
Pompa Air Hydrant	2	10	178,97
Cooling Tower Fan	2	15	268,45
TOTAL	10	50	894,84

- Listrik untuk laboratorium, workshop, pengolahan limbah, dan instrumentasi
Kebutuhan listrik untuk mendukung operasional laboratorium, workshop, sistem instrumentasi, dan unit pengolahan limbah masing-masing diasumsikan sebesar 10 HP. Rinciannya sebagai berikut

Tabel 4. 6 Listrik untuk laboratorium, workshop, pengolahan limbah, dan instrumentasi

Peralatan	Power (HP)	Power (kWh)
Laboratorium	10	178,97
Workshop	10	178,97
Instrumentasi	10	178,97
Pengolahan Limbah	10	178,97
TOTAL	40	715,87

- Listrik untuk Operasional

Selain keperluan produksi, pabrik juga memerlukan listrik untuk mendukung kegiatan operasional sehari-hari yang meliputi sistem penerangan, pendingin ruangan (AC), dan berbagai peralatan elektronik pendukung.

- Listrik untuk penerangan

Perhitungan kebutuhan penerangan dilakukan secara terpisah antara area dalam gedung (indoor) dan luar ruangan (outdoor) karena perbedaan standar intensitas cahaya yang diperlukan. Untuk arean indoor seluas 2.030 m² digunakan lampu berdaya 36 watt dengan keluaran 4.000 lumen per lampu, sehingga dibutuhkan 256 buah lampu dengan total konsumsi daya 221,2 kWh. Sedangkan untuk area outdoor seluas 38.450 m² digunakan lampu berdaya 50 watt dengan keluaran 6.000 lumen per lampu, memerlukan 476 buah lampu dengan total daya 571,2 kWh

Tabel 4. 7 Listrik untuk penerangan

Area	Luas Area (m ²)	Total Lumens	Kebutuhan Daya (kWh)
Indoor	2.030	1.020.250	221,2
Outdoor	38.450	2.852.500	571,2
TOTAL	-	3.872.750	792

- Listrik untuk pendingin ruangan (AC)

Kebutuhan pendingin ruangan dihitung berdasarkan standar 1,5 PK per 20 m² luas ruangan. Dengan total luas area indoor sebesar 1.630 m², diperlukan 82 unit AC dengan daya masing-masing 746 watt (Daikin FTKM35SVM4), sehingga total konsumsi listrik untuk AC adalah 1.751 kWh.

- Listrik untuk peralatan elektronik lainnya

Kebutuhan listrik untuk peralatan elektronik umum seperti komputer, telepon, dan peralatan dapur di area kantin diperkirakan sebesar 90 kWh per hari

Tabel 4. 8 Listrik untuk peralatan elektronik lainnya

Komponen	Kebutuhan Listrik (kWh)
Penerangan	792
Air Conditioning	1751
Peralatan elektronik lainnya	90,00
TOTAL	2.633,4

Rekaptulasi seluruh kebutuhan listrik pabrik, mencakup listrik produksi dan operasional, ditampilkan pada tabel berikut

Tabel 4. 9 Rekaptulasi kebutuhan listrik pabrik

Komponen	Kebutuhan Listrik (kWh)
Listrik untuk peralatan produksi	1.756,08
Listrik untuk utilitas	894,84
Listrik untuk laboratorium, workshop, pengolahan limbah, dan instrumentasi	715,87
Listrik untuk operasional pabrik	2.633,40
TOTAL	6000,19

4.1.4 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Bahan bakar diperlukan untuk dua keperluan utama di pabrik ini, yaitu sebagai sumber energi boiler dalam memproduksi steam sebagai bahan bakar generator cadangan.

Jenis bahan bakar yang digunakan adalah Industrial Diesel Oil (IDO) dengan komposisi massa sebagai berikut:

- Karbon (C) : 85,7 %
- Hidrogen (H) : 13,2 %
- Belerang (S) : 0,7 %
- Nitrogen (N₂) : 1,1 %
- Oksigen (O₂) : 0%

Nilai kalor bahan bakar dihitung menggunakan persamaan Dulong sebagai berikut

$$\begin{aligned} Q_{\text{hi}}^{\text{h}} &= 33.915 C + 144.033 (H - O/8) + 10.468 S \\ &= (33.915 \times 0,857) + (144.033 \times 0,132) + (10.468 \times 0,007) \\ &= 48.150,79 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{lo}}^{\text{w}} &= 33.915 C + 121.423 (H - O/8) + 10.468 S - 2.512 \times (W + 9 \times O/8) \\ &= (33.915 \times 0,857) + (121.423 \times 0,132) + (10.468 \times 0,007) - (2.512 \times 0,011) \\ &= 45.166,27 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Nilai Kalor Bawah / LHV = 45.166,27 kJ/kg

- Kebutuhan Bahan Bakar Boiler

Total kebutuhan steam sebesar 25.600,42 kg/jam dengan efisiensi boiler sebesar 80% menghasilkan kebutuhan bahan bakar boiler sebesar 1.590,33 kg/jam atau setara dengan 38.167,99 kg/hari.

- Kebutuhan Bahan Bakar Generator

Generator Cadangan berkapasitas 240 kWh dengan efisiensi pembangkitan 90% membutuhkan bahan bakar sebesar 17,55 kg/jam atau setara dengan 421,20 kg/hari.

Dengan densitas IDO sebesar 0,85 kg/L dan penambahan faktor keamanan 10%, total kebutuhan bahan bakar keseluruhan disajikan pada tabel berikut

Tabel 4. 10 Total kebutuhan bahan bakar

Peralatan	Kebutuhan (kg/jam)	Kebutuhan (kg/hari)	Kebutuhan (L/hari)*
Boiler (steam)	1.590,33	38.167,99	36.035,35
Generator	17,55	421,20	495,53
TOTAL	1.607,88	38.589,18	36.080,88

*Volume dihitung berdasarkan densitas IDO = 0,85 kg/L dengan faktor keamanan 10%

4.1.5 Unit Penyediaan Udara Tekan

Udara tekan digunakan untuk menggerakkan berbagai peralatan pneumatik dan instrumen kendali proses di pabrik. Penggunaan sistem udara tekan memberikan beberapa keunggulan dibandingkan tenaga hidrolik maupun listrik, antara lain kemudahan yang lebih tinggi karena kebocoran udara tidak menimbulkan bahaya kontaminasi maupun risiko kebakaran. Unit ini dilengkapi dengan kompresor yang bertugas menghasilkan udara bertekanan sesuai kebutuhan operasi.

4.1.6 Unit pengolahan Limbah

Operasional pabrik menghasilkan limbah yang harus dikelola baik sebelum dibuang ke lingkungan. Unit pengolahan limbah di pabrik ini dirancang untuk menangani dua jenis limbah utama, yaitu limbah cair dan limbah padat.

- Pengolahan Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan berasal dari dua sumber, yaitu limbah proses dan limbah domestik karyawan. Pengolahan limbah cair dilakukan dengan metode pengolahan biologis menggunakan *activated sludge*. Pada proses ini, air limbah dialirkan ke dalam tangki aerasi yang mengandung *activated sludge*, di mana mikroorganisme menguraikan senyawa organik secara biologi. Proses aerasi

mendorong pembentukan flok yang selanjutnya dipisahkan melalui proses sedimentasi dan filtrasi. Efluen yang dihasilkan diharapkan memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dibuang ke badan air penerima (Abdul Gani et al., 2022).

- **Pengolahan Limbah Padat**

Limbah padat bersumber dari dua kategori, yaitu limbah proses berupa katalis bekas Reaktor Alkilasi (R-201) dan Reaktor Transalkilasi (R-202), serta limbah domestik dari kegiatan sehari-hari karyawan. Katalis bekas dikategorikan sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sehingga pengelolaannya diserahkan kepada pihak ketiga yang memiliki izin resmi untuk melakukan pembakaran terkontrol (*incineration*) maupun penimbunan aman (*landfill*). Sementara itu, limbah domestik padat ditampung sementara di Tempat Pembuangan Sementara (TPS) yang berlokasi di area pengolahan limbah pabrik, sebelum secara berkala diangkut ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) terdekat.

4.2 Laboratorium

Laboratorium merupakan komponen penting dalam sistem manajemen mutu pabrik yang bertugas memastikan kualitas bahan baku, produk antara, maupun produk akhir sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Selain fungsi pengujian mutu, laboratorium juga berperan dalam pemantauan dampak lingkungan dari kegiatan operasional pabrik. Secara umum, fungsi pokok laboratorium mencakup:

- Pengujian dan pengawasan mutu bahan baku serta produk agar memenuhi standar spesifikasi teknis yang telah ditetapkan, baik oleh manajemen pabrik maupun regulasi pemerintah yang berlaku.
- Pemantauan kualitas lingkungan dengan melakukan analisis terhadap potensi dampak operasional pabrik, mencakup emisi gas, kualitas efluen cair, serta karakteristik limbah padat dari setiap unit produksi.
- Pengendalian kualitas fluida utilitas meliputi pengujian berkala terhadap *cooling water*, air umpan boiler, *steam*, dan air proses guna memastikan kesesuaiannya dengan persyaratan operasional peralatan.

Laboratorium pabrik ini direncanakan terdiri dari tiga divisi fungsional berikut:

- Divisi Pengendalian Mutu, yang bertanggung jawab atas analisis komposisi bahan baku, pemeriksaan produk setengah jadi, serta pengujian sifat fisik dan kimia produk akhir.
- Divisi *Research and Development* (R&D), yang berfokus pada pengembangan formulasi proses, optimasi kondisi operasi, serta pengujian stabilitas dan ketahanan mutu produk dalam jangka panjang.
- Divisi Pengendalian Baku Mutu Lingkungan, yang bertugas menganalisis kualitas limbah sebelum dan sesudah pengolahan, termasuk pemantauan emisi udara, air buangan, dan limbah padat.

Untuk mendukung pelaksanaan seluruh fungsi tersebut, laboratorium dilengkapi dengan berbagai instrumen analitik sebagai berikut:

- Viskometer, untuk mengukur viskositas dinamik bahan baku maupun produk pada berbagai kondisi temperatur.
- Hydrometer, untuk menentukan densitas relatif (*specific gravity*) cairan proses.
- pH meter, untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan larutan.
- Spektrofotometer, untuk analisis kuantitatif dan kualitatif berdasarkan absorpsi radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang tertentu.
- *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS), untuk identifikasi dan kuantifikasi komponen dalam campuran, khususnya dalam verifikasi kemurnian produk isopropyl benzene dan benzene.
- Turbidimeter, untuk mengukur Tingkat kekeruhan air atau larutan berdasarkan intensitas cahaya yang tersebar.
- *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) Meter, untuk menentukan kadar oksigen yang diperlukan mikroorganisme dalam menguraikan senyawa organik di dalam sampel air limbah sebagai indicator pencemaran biologis.
- *Total Suspended Solids* (TSS) Analyzer, untuk mengukur konsentrasi padatan tersuspensi dalam air limbah sebagai parameter pengendalian kualitas efluen.

- *Auto Distillation* ASTM D86, untuk menentukan karakteristik distilasi produk isopropyl benzene termasuk titik didih awal, titik didih akhir, dan rentang distilasi.

4.3 Keselamatan dan Kesehatan Kerja serta Lingkungan Hidup (K3L)

Pabrik Isopropil Benzene (*Cumene*) berkapasitas 65.000 ton/tahun menggunakan bahan baku dan menghasilkan produk yang bersifat mudah terbakar, bertekanan tinggi, serta mengandung senyawa beracun dan bersifat karsinogenik, terutama benzena. Oleh karena itu, penerapan sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja serta Lingkungan Hidup (K3LH) merupakan aspek yang tidak dapat diabaikan dalam operasional pabrik. Penerapan K3LH di pabrik ini mengacu pada ketentuan perundang-undangan yang berlaku di Indonesia, yaitu:

- UU No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja – mengatur kewajiban pengusaha dan tenaga kerja dalam menjaga keselamatan di tempat kerja.
- UU No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan – mengatur hak dan kewajiban pekerja termasuk perlindungan keselamatan dan kesehatan kerja
- PP No. 30 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen K3 (SMK3) – mewajibkan perusahaan berisiko tinggi menerapkan SMK3 secara sistematis.
- PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup – menjadi dasar kewajiban AMDAL dan pengelolaan limbah B3.
- Permenaker No. 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja – mengatur Nilai Ambang Batas (NAB) faktor fisika dan kimia di tempat kerja.

Tujuan utama penerapan K3LH di pabrik Isopropil Benzene (*Cumene*) adalah sebagai berikut:

- Melindungi tenaga kerja dari risiko paparan bahan kimia berbahaya, terutama benzena yang diklasifikasikan sebagai karsinogen Grup 1 oleh *International Agency for Research on Cancer* (IARC, 2018).
- Mencegah terjadinya kecelakaan proses seperti kebakaran, peledakan, dan thermal runaway pada unit reaktor alkylasi R-201 dan transalkilasi R-202 yang beroperasi pada suhu 170-254°C dan tekanan 10 bar.

- Meminimalkan dampak negatif operasional pabrik terhadap lingkungan hidup, mencakup kualitas udara, air, dan pengelolaan limbah B3 berupa katalis zeolit bekas (Crowl & Louvar, 2011).
- Memastikan kepatuhan terhadap seluruh regulasi keselamatan, kesehatan kerja, dan lingkungan hidup yang berlaku di Indonesia.

4.4 Faktor Bahaya di Pabrik

Faktor bahaya di pabrik Isopropil Benzena (*Cumene*) timbul dari sifat fisik dan kimia bahan baku, produk, serta kondisi operasi proses. Berdasarkan kajian *Material Safety Data Sheet* (MSDS) dan standar NFPA 704, bahan-bahan yang digunakan di pabrik ini memiliki karakteristik bahaya sebagai berikut

4.4.1 Faktor Bahaya Kimia

Faktor bahaya kimia di pabrik ini berasal dari lima komponen utama yang terlibat dalam proses produksi *cumene*. Data NFPA 704 menggambarkan tingkat bahaya dengan sistem skala 0-4 untuk kategori kesehatan (H), flammabilitas (F) dan reaktivitas (R)

Tabel 4. 11 Faktor Bahaya Kimia

Bahan Kimia	Flash Point	LFL UFL	-	Nilai Ambang Batas (NAB)	Bahaya Kesehatan	NFPA (H/F/R)
Propilena (C ₃ H ₆)	-108°C	2,0–11,1%	OSHA 1.000 TWA	PEL: Sesak napas, asfiksia, anestesi pada konsentrasi tinggi	1/4/1	
Propana (C ₃ H ₈)	-104°C	2,1–9,5%	OSHA 1.000 TWA	PEL: Asfiksia, depresi sistem saraf pada konsentrasi sangat tinggi	1/4/0	
Benzena (C ₆ H ₆)	-11°C	1,2–7,8%	OSHA 1 ppm TWA, 5 ppm STEL;	PEL: 1 Karsinogen Grup 1 (IARC): leukemia,	2/3/0	

			ACGIH TLV:	kerusakan 0,02 ppm sumsum tulang, iritasi saluran napas
<i>Cumene</i> (C ₉ H ₁₂)	36°C	0,9–6,5%	OSHA PEL: 50 ppm TWA	Iritasi mata, kulit, 2/3/0 dan saluran napas; pusing, mengantuk
DIPB (C ₁₂ H ₁₈)	>80°C	N/A	-	Iritasi kulit dan 1/2/0 mata ringan

Sumber: MSDS Propylene (HESS, 2018); OSHA 29 CFR 1910.1028; IARC Monograph Vol. 120 (2018); ACGIH TLV-TWA (2024); NFPA 704.

Perhatian khusus diberikan kepada benzena (C₆H₆) yang merupakan bahan baku utama pabrik ini. Benzena bersifat karsinogen yang telah dikonfirmasi oleh IARC dengan nilai ambang batas paparan yang sangat rendah, yaitu OSHA PEL sebesar 1 ppm dan rekomendasi terbaru ACGIH TLV sebesar 0,023 ppm TWA (ACGIH, 2024). Paparan benzena secara kronik dapat menyebabkan leukimia dan kerusakan sumsum tulang belakang. Oleh karena itu, pengendalian paparan benzena di lingkungan kerja menjadi prioritas utama dalam sistem K3LH pabrik ini (IARC, 2018).

4.4.2 Faktor Bahaya Fisik

Selain bahaya kimia, terdapat faktor bahaya fisik yang timbul dari kondisi operasi pabrik, antara lain:

- **Suhu dan Tekanan Tinggi.** Reaktor alkylasi E-201 beroperasi pada suhu 170-254°C dan tekanan 30 bar dalam fase cair. Kondisi ini menimbulkan risiko semburan fluida panas bertekanan dan potensi thermal runaway akibat sifat eksotermal reaksi alkylasi benzena-propilena sebesar -113 kJ/mol (Dimian & Bildea, 2008).
- **Kebisingan.** Peralatan rotating seperti pompa P-101/102/201/202, cooling tower fan, dan kompresor menghasilkan kebisingan yang dapat melampaui Nilai Ambang Batas

(NAB) kebisingan sebesar 85 dBA untuk pajanan 8 jam kerja per hari sesuai Permenaker No. 5 Tahun 2018.

- **Geteran.** Mesin-mesin berputar di pabrik menghasilkan getaran mekanis yang apabila terus-menerus terpapar pada pekerja dapat menyebabkan gangguan kenyamanan dan kesehatan kerja.
- **Bahaya Listrik.** Pabrik beroperasi dengan kebutuhan listrik total sebesar 6.000,19 kWh dengan berbagai peralatan bertegangan tinggi. Area berbahaya listrik di sekitar peralatan yang menangani bahan mudah terbakar memerlukan peralatan bertipe explosion-proof sesuai NFPA 70 (National Electrical Code).

4.5 Potensi Bahaya di Pabrik

Berdasarkan identifikasi faktor bahaya, berikut adalah potensi bahaya spesifik yang dapat terjadi pada masing-masing unit proses pabrik Isopropil Benzena (*Cumene*), beserta penyebab dan upaya pengendaliannya. Identifikasi potensi bahaya ini dilakukan mengacu pada metodologi HAZOP (*Hazard and Operability Study*) sesuai panduan CCPS/AIChE (2008).

Tabel 4. 12 Potensi Bahaya di Pabrik

Unit	Potensi Bahaya	Penyebab Utama	Pengendalian
TK-101 (benzena)	Kebakaran, BLEVE,	Korosi tangki,	PSV, grounding
TK-102 (propilena)	ledakan uap	overpressure, kebocoran valve/flange pada fluida bertekanan tinggi	& bonding, dyke containment, gas detector
R-201 & R-202 (Reaktor Adiabatik)	Thermal runaway, overpressure, paparan uap panas	Akumulasi panas reaksi eksotermal (-113 kJ/mol), kegagalan kontrol suhu reaktor	Interlock suhu (TC+TI ganda), ESD, PSV, insulated shell

T-201 (Depropanizer)	Kebocoran bertekanan, kebakaran	gas	Propana/propilena keluar overhead pada tekanan 10–15 bar, berpotensi membentuk awan uap mudah terbakar	Gas detector LEL, PSV, interlocking level dan tekanan
T-202 & T-203 (Kolom Distilasi)	Overpressure, kebocoran uap panas		Kegagalan kondenser, fouling tray, kegagalan level control	PSV, level alarm, inspeksi rutin
Boiler & Fired Heater	Ledakan flame-out, kebakaran	akibat	Akumulasi bahan bakar (IDO/propana) tak terbakar saat start-up, kegagalan burner	Flame detector, purge otomatis, fuel gas interlock
Pompa & Perpipaan	Kebocoran bertekanan, semburan panas	fluida cairan	Korosi, seal failure pada pompa, kelelahan pipa	Inspeksi NDT, preventive maintenance, LOTO procedure

Sumber: Dimian & Bildea (2008); Crowl & Louvar (2011); CCPS/AIChE (2008); MSDS masing-masing bahan kimia.

Selain potensi bahaya pada unit proses di atas, terdapat potensi bahaya umum yang berlaku di seluruh area pabrik, antara lain bahaya terjatuh dari ketinggian saat pemeliharaan menara distilasi, tertabrak kendaraan berat pengangkut bahan baku/produk di area loading-unloading, serta bahaya kejatuhan benda di area gudang dan workshop. Setiap potensi bahaya ini memerlukan prosedur keselamatan khusus yang dituangkan dalam standar operasional prosedur (SOP) keselamatan masing-masing unit (Gozan, 2011).

4.6 Sistem Keselamatan Kerja

Sistem keselamatan kerja di pabrik Isopropil Benzena (*Cumene*) dirancang secara berlapis (*defense-in-depth*) untuk meminimalkan risiko kecelakaan kerja dan kondisi darurat. Sistem ini mencakup komponen-komponen sebagai berikut:

4.6.1 Alat Pelindung Diri (APD)

Setiap tenaga kerja yang berada di area proses wajib menggunakan APD sesuai dengan tingkat risiko area kerjanya. APD yang diwajibkan di pabrik ini mengacu pada standar SNI, ANSI, dan NFPA yang berlaku.

Tabel 4. 13 Alat Pelindung Diri (APD)

APD	Fungsi	Area Wajib	Standar
Safety Helmet	Melindungi kepala dari benda jatuh dan benturan	Seluruh area pabrik	SNI EN 397
Safety Goggles	Melindungi mata dari percikan bahan kimia & uap	Area proses, laboratorium	ANSI Z87.1
Respirator half-face (kartrid benzena)	Melindungi saluran napas dari uap benzena karsinogenik	Area reaktor, tangki benzena, distilasi	OSHA 1910.134, ACGIH TLV 0,02 ppm
Chemical-resistant gloves	Mencegah kontak kulit dengan benzena dan <i>cumene</i>	Area proses, penanganan bahan kimia	EN 374
Flame-resistant coverall	Melindungi tubuh dari percikan api dan cairan panas	Area proses utama & tangki	NFPA 2112
Safety shoes (steel toe + anti-static)	Melindungi kaki & mencegah static	Seluruh area pabrik	SNI 7037

	discharge di area flammable	
Earmuff / earplug	Melindungi pendengaran di area bising (pompa, kompresor)	Area pompa, boiler, cooling tower SNI 8911, NAB 85 dBA (8 jam)

Catatan: Respirator dengan kartrid benzena wajib digunakan di area yang berpotensi mengandung uap benzena di atas 0,02 ppm (ACGIH TLV, 2024) sebagai upaya pencegahan paparan kronik terhadap senyawa karsinogenik tersebut.

4.6.2 Sistem Proteksi Kebakaran dan Ledakan

Mengingat sebagian besar bahan proses bersifat sangat mudah terbakar (propilena: LFL 2,0%, benzena: LFL 1,2%), pabrik dilengkapi dengan sistem proteksi kebakaran yang komprehensif mengacu pada NFPA 30 dan SNI 03-6570-2001, yang meliputi;

- *Fixed fire fighting system: deluge system dan foam-water sprinkler system* pada tangki penyimpanan TK-101 (benzena) dan TK-102 (propilena).
- *Hydrant system*: tersebar di seluruh area pabrik dengan jarak maksimum 50 m antar titik hydrant; pasokan air hydrant tersedia sebesar 0,57 m³/hari sesuai perhitungan utilitas yang mengacu SNI 03-6570-2001.
- Alat Pemadam Api Ringan (APAR): jenis dry chemical powder dan CO₂ dipasang setiap 15 meter di area proses; APAR dipasang pada ketinggian 150 cm dari lantai disertai *Work Instruction* (WI) yang mencantumkan tanggal pemeriksaan dan kadaluarsa.
- Regu Pemadam Kebakaran: beroperasi berdasarkan sistem shift (minimal 2 orang per shift) di bawah koordinasi departemen *Health, Safety and Environment* (HSE).

4.6.3 Sistem Deteksi Gas dan Instrumentasi Keselamatan

Pabrik dilengkapi dengan sistem deteksi dan instrumentasi keselamatan berlapis yang terintegrasi dengan sistem kontrol terdistribusi (DCS), meliputi:

- *Gas detector flammable* (LEL monitor): dipasang di area reaktor, tangki propilena/benzena, dan sekitar pompa, untuk mendeteksi kebocoran gas hidrokarbon di atas 10% LEL (*Lower Explosive Limit*) sebagai ambang batas peringatan awal.
- *Toxic gas detector* (benzena): dipasang di area proses untuk memantau paparan benzena ambien dan memperingatkan apabila kadar mendekati OSHA PEL 1 ppm.
- *Pressure Safety Valve* (PSV): dipasang pada reaktor R-201 dan R-202, kolom distilasi T-201/202/203, dan tangki bertekanan sebagai proteksi overpressure sesuai *ASME Code Section VIII*.
- *Emergency Shutdown System* (ESD): dapat diaktifkan secara otomatis (melalui interlock DCS) maupun manual untuk menghentikan seluruh proses dalam kondisi darurat.
- *Flare system*: membakar gas hidrokarbon yang terlepas dari PSV/ESD secara aman sebelum dilepas ke atmosfer, sehingga meminimalkan paparan VOC terhadap pekerja dan lingkungan sekitar.

4.6.4 Sistem Izin Kerja (Permit to Work)

Pekerjaan non-rutin yang berisiko tinggi di pabrik hanya dapat dilakukan setelah mendapatkan izin kerja dari supervisor keselamatan. Jenis-jenis izin kerja yang diterapkan antara lain izin kerja panas (*hot work permit*) untuk pengelasan dan pemotongan, izin kerja masuk ruang tertutup (*confined space entry permit*), izin kerja di ketinggian (*working at height permit*), serta izin kerja kelistrikan (*electrical work permit*). Sebelum melakukan pekerjaan, harus dilaksanakan prosedur *Lockout-Tagout* (LOTO) sesuai OSHA 29 CFR 1910.147 untuk mengisolasi energi berbahaya (Crowl & Louvar, 2011).

4.6.5 Rambu Keselamatan dan Sistem Komunikasi K3

Rambu keselamatan (*safety sign*) berupa label bahaya NFPA 704, tanda jalur evakuasi, tanda APD wajib, dan poster K3 dipasang di seluruh area pabrik pada lokasi yang mudah terlihat. Briefing K3 dilaksanakan setiap awal shift (*toolbox meeting*) untuk memastikan seluruh pekerja memahami potensi bahaya dan prosedur keselamatan yang berlaku pada hari tersebut (Gozan, 2011).

4.7 Fasilitas Pelayanan Kesehatan

Mengingat risiko paparan benzena yang bersifat karsinogenik dan risiko kecelakaan kerja pada pabrik proses bertekanan tinggi, pabrik Isopropil Benzena (*Cumene*) menyediakan fasilitas pelayanan kesehatan yang komprehensif sebagai berikut:

- **Poliklinik Pabrik.** Poliklinik dilengkapi tenaga medis (dokter umum dan perawat) yang siaga selama jam operasional pabrik untuk menangani pertolongan pertama pada kecelakaan (P3K), penyakit akibat kerja, dan tindakan medis darurat sebelum rujukan ke rumah sakit.
- **Medical Check-Up (MCU) Berkala.** Seluruh karyawan menjalani MCU minimal satu kali per tahun. Bagi karyawan yang bekerja di area dengan risiko paparan benzena, pemeriksaan mencakup hitung darah lengkap (CBC) dan pemantauan kadar fenol dalam urin sebagai biomarker biologis paparan benzena, sesuai persyaratan medical surveillance OSHA 29 CFR 1910.1028.
- **Kotak P3K.** Tersedia di setiap unit produksi dan diperiksa setiap bulan oleh petugas poliklinik. Isi kotak P3K meliputi kasa steril, perban, eye wash solution, sarung tangan latex, dan *eye wash bottle* khusus untuk penanganan percikan bahan kimia.
- **Eye Wash dan Emergency Shower.** Dipasang di area proses yang menangani benzena dan bahan kimia korosif, sesuai ketentuan ANSI Z358.1, untuk penanganan cepat apabila terjadi kontaminasi bahan kimia pada mata atau kulit.
- **Kendaraan Ambulans Siaga.** Ambulans siaga selama jam operasional untuk evakuasi medis darurat ke rumah sakit rujukan terdekat.
- **Jaminan Sosial Ketenagakerjaan.** Seluruh karyawan terdaftar dalam program BPJS Ketenagakerjaan (jaminan kecelakaan kerja, jaminan hari tua, jaminan kematian) dan BPJS Kesehatan sesuai dengan UU No. 24 Tahun 2011 tentang Badan Penyelenggara Jaminan Sosial.
- **Kantin dan Gizi Kerja.** Perusahaan menyediakan kantin yang dikelola secara higienis dengan memperhatikan kecukupan gizi pekerja. Kecukupan asupan gizi penting terutama bagi pekerja shift yang berpotensi mengalami gangguan pola makan

4.8 Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL)

Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) merupakan kajian mengenai dampak penting dari suatu rencana usaha dan/atau kegiatan terhadap lingkungan hidup yang diperlukan sebagai syarat untuk memperoleh izin lingkungan, sebagaimana diatur dalam PP No. 22 Tahun 2021. Pabrik Isopropil Benzena (*Cumene*) berkapasitas 65.000 ton/tahun yang melibatkan bahan B3 (benzena, propilena) dan menghasilkan limbah B3 (katalis zeolit bekas) wajib menyusun dokumen AMDAL lengkap beserta Rencana Pengelolaan Lingkungan (RKL) dan Rencana Pemantauan Lingkungan (RPL) sebelum beroperasi.

Hal-hal yang dikaji dalam proses AMDAL meliputi aspek fisik-kimia, ekologi, sosial-ekonomi, dan kesehatan masyarakat. Berdasarkan kajian tersebut, identifikasi dampak penting dan rencana pengelolaannya disajikan pada tabel berikut

Tabel 4. 14 Identifikasi dampak penting dan rencana pengelolaannya

Komponen Lingkungan	Sumber Dampak	Dampak Potensial	Rencana Pengelolaan (RKL)
Kualitas Udara	Emisi cerobong boiler & fired heater; fugitive emission benzena/propilena	Peningkatan kadar CO ₂ , NO _x , SO _x , VOC (benzena < 1 ppm OSHA PEL)	Scrubber emisi cerobong; pemantauan benzena ambien rutin; seal valve anti-fugitive
Kualitas Air	Efluen proses, blowdown cooling tower, limbah domestik	Peningkatan BOD, COD, dan TSS; risiko kontaminasi senyawa hidrokarbon	Unit activated sludge (Abdul Gani et al., 2022); pemantauan efluen sesuai Permen LHK No. P.68/2016
Limbah B3	Katalis zeolit bekas R-201 & R-202	Akumulasi limbah padat B3 jika tidak	Penyimpanan di TPS B3 berizin; pengelolaan oleh

			dikelola sesuai PP 22/2021	pihak ketiga berizin (incineration/landfill)
Kebisingan	Pompa 101/102/201/202, cooling tower fan, kompresor	P- Kebisingan >85 dBA dapat merusak pendengaran (NAB Permenaker No. 5/2018)		Earmuff wajib di area bising; isolasi akustik pada area pompa; pemantauan kebisingan berkala
Sosial-Ekonomi	Operasional pabrik 24 jam, lalu lintas kendaraan berat	Gangguan lalu lintas, peningkatan lapangan kerja, risiko keselamatan masyarakat		Program CSR; jalur lalu lintas kendaraan berat terpisah; sosialisasi masyarakat sekitar

Sumber: PP No. 22 Tahun 2021; Peraturan Menteri LHK No. P.68/2016; Permenaker No. 5 Tahun 2018; Abdul Gani et al. (2022).

Selain pengelolaan dampak negatif, operasional pabrik juga memberikan dampak positif berupa peningkatan lapangan kerja bagi masyarakat sekitar dan kontribusi terhadap pendapatan daerah melalui pembayaran pajak dan retribusi. Upaya Corporate Social Responsibility (CSR) di bidang lingkungan, seperti penanaman greenbelt di sekeliling pabrik sebagai buffer zone dan program pemberdayaan masyarakat, dilaksanakan sebagai wujud tanggung jawab perusahaan terhadap lingkungan dan sosial sekitarnya (UU No. 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas, Pasal 74).