

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES

Unit pendukung proses (utilitas) merupakan bagian integral yang menunjang keberlangsungan seluruh tahapan produksi pabrik furfural, mulai dari pengolahan bahan baku hingga diperolehnya produk akhir. Hal ini meliputi *steam*, listrik, air, bahan bakar, udara tekan, dan lain sebagainya. Pabrik Furfural yang berlokasi di Kawasan Industri Kuala Tanjung, Kabupaten Batu Bara, Provinsi Sumatera Utara memiliki keunggulan strategis berupa kedekatan dengan sumber air tawar dari Sungai Asahan, akses terhadap jaringan listrik nasional yang dikelola oleh PLN, serta fasilitas pengelolaan limbah terpadu yang tersedia di kawasan industri tersebut.

Utilitas yang diperlukan pada perancangan pabrik furfural dengan bahan baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) meliputi:

1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

Unit ini berfungsi untuk memenuhi seluruh kebutuhan air di dalam pabrik, baik untuk keperluan proses maupun non-proses. Air digunakan sebagai media pendingin, air proses, air umpan boiler, air sanitasi, serta air untuk sistem pemadam kebakaran (*hydrant*). Oleh karena itu, diperlukan sistem pengolahan air agar kualitas air yang digunakan sesuai dengan standar yang dipersyaratkan.

2. Unit Penyediaan *Steam*

Unit ini berfungsi untuk menghasilkan uap (*steam*) yang digunakan sebagai media pemanas pada berbagai peralatan proses yang melibatkan perpindahan panas, seperti *heat exchanger*, reaktor, dan unit evaporasi. Ketersediaan *steam* yang stabil sangat penting untuk menjaga efisiensi dan kontinuitas operasi proses.

3. Unit Penyediaan Listrik

Unit penyediaan listrik berperan sebagai sumber energi utama untuk mengoperasikan peralatan proses, sistem utilitas, serta kebutuhan penerangan dan peralatan elektronik di dalam pabrik. Pasokan listrik umumnya diperoleh dari jaringan listrik nasional dan dilengkapi dengan generator sebagai sumber cadangan untuk menjamin keberlangsungan operasi apabila terjadi gangguan pasokan.

4. Unit Penyediaan Bahan Bakar

Unit ini bertugas menyediakan bahan bakar yang digunakan pada peralatan utilitas seperti boiler dan generator. Ketersediaan bahan bakar yang kontinu sangat diperlukan untuk menjaga kestabilan produksi, terutama pada unit yang membutuhkan energi panas.

5. Unit Penyediaan Udara Proses dan Instrumentasi

Unit ini menyediakan udara bertekanan yang digunakan untuk mendukung sistem instrumentasi dan kebutuhan operasional pabrik. Udara instrumentasi digunakan untuk menggerakkan *control valve* dan peralatan pneumatik lainnya, sedangkan udara proses digunakan untuk keperluan pembersihan dan operasional peralatan.

6. Unit Pengolahan Limbah

Unit ini berfungsi untuk mengolah limbah yang dihasilkan dari seluruh kegiatan proses di pabrik, baik limbah cair, padat, maupun gas. Pengolahan dilakukan untuk menurunkan kandungan pencemar sehingga memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dibuang atau dimanfaatkan kembali.

7. Laboratorium

Laboratorium merupakan unit pendukung yang berperan dalam menjaga kualitas bahan baku, produk, serta memantau kondisi proses. Laboratorium juga berfungsi dalam analisis lingkungan, seperti pengujian limbah cair, padat, dan gas untuk memastikan bahwa operasional pabrik tetap memenuhi standar yang ditetapkan. Tugas laboratorium meliputi:

- Melakukan analisis terhadap bahan baku dan produk untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi
- Memantau kualitas utilitas seperti air proses, air pendingin, dan steam
- Melakukan pengujian terhadap limbah untuk mengendalikan pencemaran lingkungan
- Mendukung kegiatan penelitian dan pengembangan yang berkaitan dengan proses produksi

8. Unit Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)

Unit K3 adalah singkatan dari Keselamatan dan Kesehatan Kerja, yaitu bagian atau divisi di suatu perusahaan atau industri yang bertanggung jawab untuk menjaga keselamatan para pekerja.

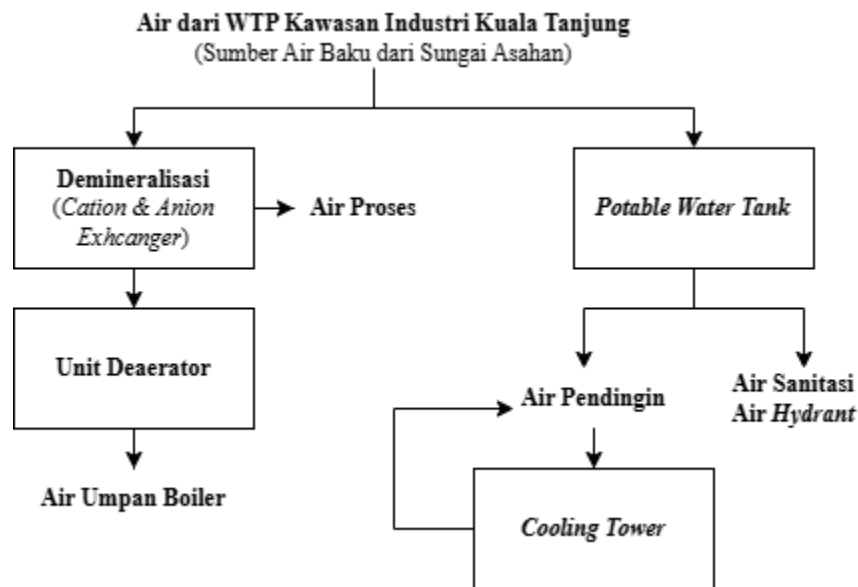
4.1 Unit Pengadaan dan Pengolahan Air

4.1.1 Sumber Air

Kebutuhan air baku pada pabrik furfural ini dipasok dari *Water Treatment Plant* (WTP) Kawasan Industri Kuala Tanjung (KIKT) yang dikelola oleh PT Prima Pengembangan Kawasan (PPK). Fasilitas WTP ini dibangun melalui kolaborasi strategis antara PPK dan NRCO Industri (Malaysia) sebagai bagian dari rencana induk (*masterplan*) penyediaan infrastruktur dasar kawasan industri yang efisien, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan di wilayah Batu Bara, Sumatera Utara.

Air yang disuplai dari WTP KIKT merupakan air bersih industri yang telah melalui proses klarifikasi dan filtrasi oleh pengelola kawasan, sehingga pabrik furfural tidak memerlukan unit pengolahan air baku tersendiri (*intake* sungai, koagulasi, dan *sand filter*). Pabrik hanya perlu menyediakan unit lanjutan berupa demineralisasi dan deaerasi untuk mengolah air bersih dari WTP kawasan menjadi air demin berkualitas tinggi yang sesuai untuk air proses dan air umpan boiler.

Sumber air cadangan sebagai langkah mitigasi risiko terhadap gangguan pasokan air dari WTP KIKT diambil dari sungai Asahan. Sungai Asahan merupakan sungai terbesar di Sumatera Utara yang mengalir dari Danau Toba hingga bermuara di Selat Malaka, melewati Kabupaten Asahan yang berbatasan langsung dengan Kabupaten Batu Bara. Apabila pasokan dari WTP KIKT terganggu, air dari sungai Asahan dapat dimanfaatkan dengan terlebih dahulu melewati unit klarifikasi dan filtrasi sementara sebelum masuk ke unit demineralisasi pabrik. Berikut pada gambar 4.1. diagram alir pengolahan air pada pendirian pabrik furfural:



Gambar 4.1. Diagram Alir Sumber Air dan Pengolahan Air

Diagram tersebut menunjukkan sistem distribusi dan pengolahan air pada pabrik furfural, di mana air bersih dari sumber utama dialirkan ke beberapa unit sesuai kebutuhan. Air yang memerlukan kualitas tinggi diolah melalui unit demineralisasi (*cation* dan *anion exchanger*) untuk menghilangkan ion-ion terlarut. Sebagian air demin digunakan sebagai air proses, sedangkan sisanya dialirkan ke unit deaerator untuk menghilangkan gas terlarut sebelum digunakan sebagai air umpan boiler. Sedangkan, air juga ditampung dalam *potable water tank* untuk memenuhi kebutuhan air pendingin, sanitasi, dan *hydrant*. Air pendingin kemudian disirkulasikan melalui *cooling tower* untuk menurunkan suhu sebelum digunakan kembali dalam proses. Sistem ini dirancang untuk menjamin efisiensi penggunaan air serta menjaga kualitas air sesuai dengan kebutuhan masing-masing unit operasi.

4.1.2 Unit Pengolahan Air

4.1.2.1 Penghilangan Kotoran Terlarut (Demineralisasi)

Air bersih yang diperoleh dari *Water Treatment Plant* (WTP) kawasan selanjutnya dialirkan ke unit demineralisasi untuk menghilangkan kandungan zat padat terlarut (*Total Dissolved Solid/TDS*) sehingga diperoleh air dengan kemurnian tinggi (*demineralized water*). Tahap ini sangat penting dalam pabrik furfural karena kualitas air yang digunakan, terutama sebagai air proses dan air umpan boiler, harus memenuhi spesifikasi tertentu agar tidak menyebabkan pembentukan kerak, *fouling*, maupun korosi pada peralatan proses.

Proses demineralisasi dilakukan dengan metode pertukaran ion (*ion exchange*), yaitu menggantikan ion-ion pengotor dalam air dengan ion H^+ dan OH^- yang kemudian bergabung membentuk molekul air (H_2O). Secara umum, rangkaian unit demineralisasi pada pabrik ini terdiri atas *carbon filter*, *cation exchanger*, *anion exchanger*, dan *mixed bed polisher* sebagai tahap pemurnian akhir.

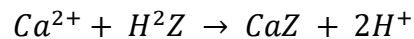
A. Carbon Filter

Sebelum memasuki unit penukar ion, air terlebih dahulu dialirkan ke carbon filter yang berisi media karbon aktif (*activated carbon*). Unit ini berfungsi untuk menghilangkan kandungan klorin (Cl_2), senyawa organik, warna, bau, dan zat-zat oksidatif lainnya yang masih tersisa dalam air. Keberadaan unit ini sangat penting karena klorin bersifat oksidatif dan dapat merusak struktur resin pada unit ion exchanger, sehingga menurunkan efisiensi proses demineralisasi. Penghilangan zat organik juga bertujuan untuk mencegah *fouling* pada resin. *Carbon filter* dioperasikan

pada kondisi pH netral (sekitar 6,8–7,6) dengan kekeruhan rendah (<0,5 NTU) (Sontheimer *et al.*, 1988). Seiring waktu, media karbon akan mengalami kejenuhan akibat akumulasi zat pengotor, sehingga diperlukan regenerasi secara berkala melalui proses *backwash* dan *rinse* untuk mengembalikan kemampuan adsorpsinya.

B. *Cation Exchanger*

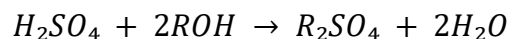
Air keluaran dari *carbon filter* kemudian dialirkan ke unit *cation exchanger* yang berisi resin kation dalam bentuk H^+ . Pada unit ini, ion-ion bermuatan positif seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , dan K^+ ditukar dengan ion H^+ dari resin (Kucera, J., 2015). Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kesadahan air (*hardness*) yang dapat menyebabkan pembentukan kerak pada boiler dan peralatan perpindahan panas. Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai:



Air keluaran dari unit ini akan mengandung ion H^+ bebas dan bersifat asam, sehingga perlu diproses lebih lanjut pada unit *anion exchanger*. Resin kation memiliki batas waktu operasi tertentu sebelum mengalami kejenuhan, biasanya sekitar 12–18 jam, dan harus diregenerasi menggunakan larutan asam (H_2SO_4) melalui beberapa tahapan seperti *backwash*, injeksi asam bertahap, dan pembilasan.

C. *Anion Exchanger*

Air dari *cation exchanger* selanjutnya dialirkan ke unit *anion exchanger* yang berisi resin dalam bentuk OH^- . Unit ini berfungsi untuk menukar ion-ion negatif seperti Cl^- , SO_4^{2-} , dan silikat dengan ion OH^- . Ion OH^- yang dilepaskan kemudian akan bereaksi dengan ion H^+ dari tahap sebelumnya membentuk air (H_2O), sehingga kandungan mineral dalam air dapat dihilangkan secara menyeluruh (Ameiliawati, R., 2022). Reaksi yang terjadi secara umum:



Resin anion juga mengalami kejenuhan dan perlu diregenerasi menggunakan larutan basa ($NaOH$), melalui tahapan *backwash*, injeksi kaustik, perendaman (*soaking*), dan pembilasan hingga kualitas air memenuhi standar.

D. *Mixed Bed Polisher*

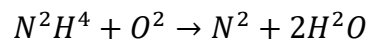
Tahap akhir pada unit demineralisasi yaitu air dialirkan ke unit *mixed bed polisher* yang berisi campuran resin kation dan anion. Unit ini berfungsi untuk menghilangkan

sisa-sisa ion yang masih lolos dari unit sebelumnya, sehingga diperoleh air dengan kemurnian sangat tinggi. Air keluaran dari unit ini memiliki kualitas tinggi dengan konduktivitas sangat rendah ($<0,25 \mu\text{S/cm}$) dan kandungan silika yang sangat kecil ($<0,1 \text{ ppm}$) (Askar,A., 2023). Oleh karena itu, air ini sangat sesuai digunakan sebagai air umpan boiler dan juga sebagai air proses pada reaktor furfural yang membutuhkan kualitas air stabil untuk menjaga efisiensi reaksi dan mencegah kontaminasi.

4.1.2.2 Unit Deaerasi

Air demineralisasi selanjutnya ditampung dalam tangki penyimpanan sebelum dialirkan ke unit deaerator. Unit ini berfungsi untuk menghilangkan gas-gas terlarut, terutama oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2), yang dapat menyebabkan korosi pada sistem boiler dan jaringan perpipaan steam. Proses deaerasi menurut Smith, R (2005) dilakukan melalui dua tahap, yaitu:

- Mekanis: dengan pemanasan dan kontak langsung menggunakan steam tekanan rendah untuk menguapkan gas terlarut
- Kimia: dengan penambahan bahan kimia seperti hidrazin (N_2H_4) untuk mengikat sisa oksigen. Reaksi yang terjadi:



Air keluaran deaerator kemudian memiliki kondisi pH yang lebih tinggi (sekitar 8,5–9,5) dan bebas gas korosif, sehingga aman digunakan sebagai air umpan boiler. Umumnya ditambahkan senyawa fosfat untuk mencegah pembentukan kerak pada sistem boiler.

4.1.2.3 Potable Water Tank (Unit Penyimpanan)

Potable water tank merupakan unit penyimpanan air bersih yang berfungsi sebagai penampung sementara sebelum air didistribusikan ke berbagai kebutuhan utilitas di pabrik. Air yang ditampung dalam unit ini berasal dari sumber utama, yaitu *Water Treatment Plant* (WTP) kawasan, yang telah melalui proses pengolahan awal sehingga memenuhi standar air bersih industri. Air dalam *potable water tank* digunakan untuk beberapa keperluan non-proses yang tidak memerlukan kemurnian tinggi, antara lain sebagai air pendingin (*cooling water make-up*), air sanitasi, serta air untuk sistem pemadam kebakaran (*hydrant*).

Potable water tank juga berfungsi untuk menjaga kontinuitas operasi pabrik, terutama pada kondisi beban puncak atau saat terjadi gangguan pasokan air dari sumber utama. Kapasitas tangki umumnya dirancang untuk memenuhi kebutuhan air selama periode

tertentu ($\pm 1-3$ hari operasi). Unit *potable water tank* dilengkapi dengan sistem kontrol level, *overflow*, serta sistem distribusi pompa untuk mengalirkan air ke unit-unit pengguna seperti *cooling tower* dan jaringan sanitasi.

4.1.2.4 *Cooling Tower* (Unit Pendingin)

Unit air pendingin (*cooling tower*) berfungsi untuk menurunkan temperatur air pendingin yang telah menyerap panas dari peralatan proses, sehingga air tersebut dapat digunakan kembali secara sirkulasi. Pada pabrik furfural, kebutuhan pendinginan cukup signifikan, terutama pada unit kondensor, *heat exchanger*, dan pendinginan aliran produk. Air pendingin yang keluar dari peralatan proses umumnya memiliki temperatur tinggi (sekitar $40-45^{\circ}\text{C}$), sehingga perlu didinginkan sebelum digunakan kembali hingga sekitar $30-32^{\circ}\text{C}$, sehingga memiliki kapasitas yang cukup untuk kembali menyerap panas dari proses.

Sistem yang digunakan adalah sistem sirkulasi terbuka, di mana air panas dialirkan ke bagian atas *cooling tower* dan didistribusikan melalui *nozzle* sehingga membentuk butiran halus. Air tersebut kemudian bersentuhan langsung dengan aliran udara dari lingkungan, sehingga sebagian air menguap dan menyebabkan penurunan temperatur air yang tersisa. Air yang telah didinginkan kemudian terkumpul di bagian bawah *cooling tower* (*cold basin*) dan dipompa kembali ke sistem pendingin (*heat exchanger*). Proses ini berlangsung secara kontinu dalam suatu siklus tertutup parsial, dengan penambahan *make-up water* dari *potable water tank* untuk menggantikan kehilangan air akibat penguapan, *drift*, dan *blowdown*.

4.1.3 Kebutuhan Air

Kebutuhan air di pabrik furfural ini meliputi berbagai jenis, seperti air untuk pendingin, air umpan boiler, dan air untuk sanitasi. Berikut penjelasan lebih lanjut terkait syarat untuk berbagai jenis kebutuhan air disertai perhitungan kebutuhan tiap air yang digunakan di pabrik furfural:

4.1.3.1 Air Pendingin

Air pendingin (*cooling water*) merupakan air yang dialirkan melalui sistem perpipaan untuk menyerap dan membuang panas yang dihasilkan oleh peralatan proses seperti kondensor, *heat exchanger*, dan reaktor. Prinsip dasar penggunaan air sebagai media pendingin didasarkan pada kapasitas panas spesifik air yang sangat tinggi ($\pm 4,18 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$),

sehingga mampu menyerap sejumlah besar energi termal per satuan volume tanpa mengalami dekomposisi termal (Coulson & Richardson., 2002).

Kualitas air pendingin harus memenuhi beberapa kriteria agar sistem dapat beroperasi secara optimal dan tidak menimbulkan kerusakan pada peralatan. Berdasarkan ASME Water Quality Standard (2016), parameter air pendingin yang perlu dikendalikan meliputi pH, konduktivitas, kandungan klorin, sulfat, alkali, kesadahan total, kalsium, dan silika. Standar kualitas air pendingin yang digunakan mengacu pada ASME Water Quality Standard (2016) sebagaimana disajikan pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1. Syarat Mutu Air Pendingin (ASME Water Quality Standard., 2016)

Parameter	Circulating Water	Make Up Water
pH	6,5 – 8,2	6,0 – 8,0
Konduktivitas elektrik (mS/m)	< 80	< 30
Klorin (mg/L)	< 200	< 50
Sulfat (mg/L)	< 200	< 50
Alkali (mg/L)	< 100	< 50
Total hardness (mg/L)	< 200	< 70
Ca ²⁺ (mg/L)	< 150	< 50
Silika (mg/L)	< 40	< 30

Kebutuhan air pendingin dihitung berdasarkan data neraca panas masing-masing peralatan. Laju aliran *cooling water* (W_c) untuk setiap peralatan dihitung menggunakan persamaan perpindahan panas sensibel:

$$\dot{m}CW = Q / (C_p \times \Delta T)$$

Q adalah beban panas yang harus diserap (kJ/jam), C_p adalah kapasitas panas air (4,184 kJ/kg·K), dan ΔT adalah perbedaan suhu air pendingin masuk dan keluar. Suhu desain yang digunakan adalah $T_1 = 45^\circ\text{C}$ (keluar proses) dan $T_2 = 30^\circ\text{C}$ (masuk proses). Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Kebutuhan Cooling Water Berdasarkan Neraca Panas

Peralatan	Q dilepas (kJ/jam)	ΔT	Cp air (kJ/kg · K)	Kebutuhan CW (kg/jam)
Kondensor CD-01 dan CD-02	10.629.170,44	15	4,184	169.362,1804
Reaktor R-01 (jacket pendingin)	9.420.559,072	15	4,184	150.104,5104
TOTAL (Wc)				319.466,6908

Air pendingin beroperasi dalam sistem sirkulasi, kebutuhan air baku (*make up water*) hanya diperlukan untuk menggantikan air yang hilang akibat tiga mekanisme: evaporasi, *drift* (terbawa udara), dan *blowdown* (pembuangan berkala untuk mengendalikan konsentrasi zat terlarut). Kehilangan air dihitung menggunakan metode standar *cooling tower* (Perry & Green., 2008):

Tabel 4.3. Perhitungan Kehilangan Air dan Kebutuhan Make Up Water Pendingin

Jenis Kehilangan	Formula	m ³ /hari	Keterangan
<i>Evaporation Loss</i> (E)	$E = 0,00085 \times Wc \times (T_1 - T_2) \times 1,8$	7.667,20	Standar <i>cooling tower</i> (Perry & Green., 2008)
<i>Drift Loss</i> (D)	$D = 0,002 \times Wc$	383,36	<i>Entrainment</i> oleh udara (0,2% dari Wc)
<i>Blowdown</i> (B)	$B = E / (S - 1); S = 4$	249,95	Pengendalian TDS; $S = \text{cycles of concentration}$
Make Up Water (Normal Operasi)	MU = E + D + B	249,950	Kebutuhan air baku pengganti per hari

<i>Make Up Water (Start Up, 5% Wc)</i>	5% × Wc/hari	383,360	Pengisian awal sistem pendingin
---	---------------------	----------------	--

Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan *make up water* air pendingin saat *start up* sebesar 383,360 m³/hari dan saat *normal operasi* sebesar 249,950 m³/hari (setara E + D + B). Total air pendingin dalam sistem sirkulasi adalah 7667,200 m³/hari, namun hanya *make up water* yang diambil dari sumber air baku.

4.1.3.2 Air Umpan Boiler

Air umpan boiler (*Boiler Feed Water/BFW*) adalah air yang dimasukkan ke dalam boiler untuk dipanaskan dan diubah menjadi uap (*steam*) yang digunakan sebagai media pemanas dalam berbagai proses industri. Pada pabrik furfural ini, *steam* digunakan pada reaktor pra-hidrolisis (R-01), reaktor SupraYield (R-02), dan reboiler kolom distilasi (D-01). Air umpan boiler harus memenuhi persyaratan kualitas berdasarkan standar yang ditetapkan oleh Branen (1976), sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4. Persyaratan Kualitas Air Umpan Boiler (Branen, 1976)

Parameter	Nilai	Alasan Pengendalian
pH	8,3 – 10	Mencegah korosi; pH rendah korosif, pH tinggi cegah <i>scale</i>
Kadar SiO ₂	Maks 125 ppm	SiO ₂ membentuk kerak keras yang sulit dibersihkan pada <i>tube</i> boiler
Kadar Fe	Maks 0,1 ppm	Besi menyebabkan korosi dan endapan pada dinding boiler
Kadar O ₂ terlarut	Maks 0,007 ppm	O ₂ penyebab utama korosi <i>pitting</i> ; dihilangkan dengan deaerator

<i>Total hardness</i>	Maks 0,3 ppm CaCO ₃	Kesadahan → kerak CaCO ₃ dan MgSO ₄ pada <i>tube</i>
Total alkalinitas	Maks 700 ppm	Alkalinitas tinggi → <i>foaming</i> dan <i>carry-over steam</i>
<i>Total dissolved solids</i>	Maks 3.500 ppm	<i>Blowdown</i> dilakukan jika TDS melebihi batas ini
<i>Suspended solids</i>	Maks 300 ppm	Padatan tersuspensi mengendap dan menurunkan efisiensi

Kebutuhan total *steam* dihitung berdasarkan neraca panas masing-masing peralatan proses yang menggunakan *steam* sebagai media pemanas. Laju aliran *steam* ditentukan dari beban panas peralatan dan entalpi laten penguapan *steam* pada tekanan operasi masing-masing. Berikut pada Tabel 4.5 perhitungan kebutuhan *steam* dan air umpan boiler:

Tabel 4.5. Kebutuhan Steam dan Air Umpan Boiler Berdasarkan Neraca Panas

Peralatan / Parameter	kg/jam	Keterangan
HE Sebelum R-01	5.375,78	<i>Steam jenuh @3 bar</i>
Reaktor R-01	3.108,57	<i>Steam jenuh @7 bar</i>
HE Sebelum R-02	2.155,48	<i>Steam jenuh @5,5 bar</i>
Reaktor SupraYield R-02	2.730,02	<i>Steam jenuh @25 bar</i>
Reboiler Distilasi D-01	8.776,02	<i>Steam jenuh @3 bar</i>
Total steam (m <i>steam</i>)	22.145,89	—
+ Faktor keamanan +10%	24.360,48	Kompensasi kehilangan distribusi <i>steam</i>

Make up water (blowdown 5%)	1.218,02	Air pengganti blowdown boiler
------------------------------------	-----------------	--------------------------------------

Kebutuhan *steam* dlebihkan sebesar 10% sebagai faktor keamanan untuk mengkompensasi kehilangan panas selama distribusi steam melalui perpipaan. Air umpan boiler yang diperlukan sebagai make up berasal dari *blowdown* yang ditetapkan sebesar 5% dari total steam yang dihasilkan. Lebih lengkapnya rekapitulasi kebutuhan air umpan boiler sebagai berikut pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Rekapitulasi Kebutuhan Air Umpan Boiler

Kondisi Operasi	kg/jam	m³/jam	Keterangan
Air umpan boiler saat <i>Start Up</i>	25.578,51	25,578	<i>Steam (+10%) + make up (blowdown)</i>
Air umpan boiler saat Normal Operasi	1.218,02	1,2180	Hanya <i>make up (blowdown)</i> setelah <i>steady-state</i>

Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan air umpan boiler saat *start up* sebesar 25.578,51 kg/jam, sedangkan saat *normal operasi* hanya membutuhkan 1.218,02 kg/jam berupa *make up water* untuk menggantikan air yang terbuang melalui *blowdown*.

4.1.3.3 Air Sanitasi/Domestik

Air sanitasi atau air domestik adalah air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan *higiene* dan kebersihan di lingkungan pabrik, mencakup keperluan toilet, pencucian tangan, kantin, laboratorium, kantor, serta pemeliharaan kebersihan area pabrik. Air sanitasi tidak digunakan secara langsung dalam proses produksi, namun ketersediaannya sangat penting untuk menjaga kesehatan dan keselamatan tenaga kerja. Persyaratan kualitas air sanitasi mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan *Higiene* Sanitasi. Regulasi ini menetapkan standar baku mutu untuk parameter fisik, biologi, dan kimia yang harus dipenuhi agar air layak digunakan untuk keperluan *higiene* sanitasi, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Standar Baku Mutu Air Higiene Sanitasi (Permenkes RI No. 32 Tahun 2017)

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu Maks.
A. Parameter Fisik			
1	Kekeruhan	NTU	25
2	Warna	TCU	50
3	Zat padat terlarut (TDS)	mg/L	1.000
4	Suhu	°C	Suhu udara ± 3
5	Rasa	—	Tidak berasa
6	Bau	—	Tidak berbau
B. Parameter Biologi			
1	Total coliform	CFU/100 mL	50
2	E. coli	CFU/100 mL	0
C. Parameter Kimia Wajib			
1	pH	—	6,5 – 8,5
2	Besi	mg/L	1
3	Fluorida	mg/L	1,5
4	Kesadahan (CaCO ₃)	mg/L	500
5	Mangan	mg/L	0,5
6	Nitrat (sebagai N)	mg/L	10
7	Nitrit (sebagai N)	mg/L	1
8	Sianida	mg/L	0,11
9	Deterjen	mg/L	0,05
10	Pestisida total	mg/L	0,1

Kebutuhan air sanitasi dihitung berdasarkan jumlah karyawan dan standar konsumsi air per orang per hari, ditambah kebutuhan air untuk laboratorium dan pemeliharaan area pabrik. Rincian perhitungan disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Perhitungan Kebutuhan Air Sanitasi/Domestik

Komponen Kebutuhan	L/hari	m³/hari	Dasar Acuan
Air untuk karyawan (133 orang × 100 L/hari)	6.650 L/hari	6,65	Standar industri / WHO – Kemenkes RI
Air untuk laboratorium	2.000 L/hari	2	Kepbapedal No. 113 Tahun 2000 (min 2 m ³ /hari)
Air untuk pemeliharaan taman & kebersihan	6.000 L/hari	6,0	Estimasi kebutuhan umum pabrik
TOTAL kebutuhan air sanitasi	14.650 L/hari	14,65	—

Total kebutuhan air sanitasi adalah 14,65 m³/hari, dengan rincian 6,65 m³/hari untuk 133 orang karyawan (100 L/orang/hari berdasarkan standar WHO dan Kemenkes RI), 2 m³/hari untuk laboratorium (memenuhi persyaratan minimum Kepbapedal No. 113 Tahun 2000), dan 6,0 m³/hari untuk pemeliharaan taman dan kebersihan umum pabrik.

4.1.3.4 Air Hydrant

Air *hydrant* merupakan cadangan air yang disediakan secara khusus untuk keperluan pemadaman kebakaran di seluruh area pabrik. Sistem *hydrant* terdiri dari tangki penyimpanan air, jaringan perpipaan, dan outlet *hydrant* yang dipasang secara strategis di seluruh lokasi pabrik sehingga seluruh area dapat dijangkau dalam waktu singkat. Furfural tergolong sebagai cairan mudah terbakar (*flammable liquid*) dengan titik nyala (*flash point*) sebesar 61°C berdasarkan NFPA 30. Sifat ini menjadikan sistem proteksi kebakaran sebagai komponen utilitas yang wajib dan kritis dalam perancangan pabrik furfural. Oleh karena itu, desain sistem *hydrant* harus memenuhi standar proteksi kebakaran yang berlaku.

Persyaratan sistem *hydrant* pada bangunan industri di Indonesia diatur dalam SNI 03-1735-2000 tentang Tata Cara Perencanaan Akses Bangunan dan Akses Lingkungan untuk Pencegahan Bahaya Kebakaran pada Bangunan Gedung. Standar ini menetapkan bahwa:

- Tangki penyimpanan air *hydrant* harus memiliki kapasitas efektif yang mampu memasok air pada laju minimal 1.620 liter/menit;

- Sistem harus mampu beroperasi secara berkelanjutan selama minimal 30 menit tanpa gangguan pasokan;
- Volume minimum tangki *hydrant* yang dipersyaratkan adalah: $V = Q \times t = 1.620 \text{ L/menit} \times 30 \text{ menit} = 48.600 \text{ liter} = 48,6 \text{ m}^3$;
- Pipa *hydrant* harus dipasang pada lokasi yang strategis dengan mempertimbangkan kemudahan pencapaian ke seluruh area pabrik.

Perhitungan desain sistem *hydrant* dilakukan berdasarkan parameter geometri pipa yang dipilih dan kecepatan alir yang direkomendasikan untuk sistem *hydrant* industri. Parameter desain dan hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Parameter Desain dan Hasil Perhitungan Sistem Air Hydrant

Parameter	Nilai 1	Nilai 2	Keterangan
Diameter pipa <i>hydrant</i> (d)	2,5 inci	0,0635 m	SNI 03-1735-2000
Luas penampang pipa ($A = \pi/4 \times d^2$)	—	0,003167 m ²	Perhitungan geometri lingkaran
Kecepatan alir air (v)	7 m/s	—	Standar perancangan <i>fire hydrant</i> industri
Laju alir <i>hydrant</i> ($Q = A \times v$)	22,17 L/s	1.330 L/menit	$Q = A \times v$
Waktu operasi minimum (t)	30 menit	1.800 detik	SNI 03-1735-2000
Volume tangki minimum (SNI referensi)	48,6 m ³	48.600 L	SNI: $Q = 1.620 \text{ L/menit} \times 30 \text{ menit}$
Volume tangki rancangan (\times faktor 1,2)	58,32 m ³	58.320 L	Volume rancangan \geq SNI \checkmark
Durasi suplai dengan tangki rancangan	43,85 menit	—	Memenuhi syarat $\geq 30 \text{ menit} \checkmark$

Volume tangki *hydrant* yang dirancang sebesar 58,32 m³ (58.320 liter), dengan mengalikan volume minimum SNI (48,6 m³) dengan faktor keamanan 1,2. Tangki dengan volume ini mampu memasok air selama 43,85 menit, sehingga memenuhi persyaratan SNI 03-1735-2000 (minimum 30 menit). Laju alir *hydrant* yang dihasilkan adalah 22,17 L/s atau 1.330 L/menit melalui pipa berdiameter 2,5 inci dengan kecepatan alir 7 m/s.

4.2 Unit Penyediaan Steam

Unit penyediaan *steam* pada pabrik furfural berfungsi untuk menyediakan energi panas yang dibutuhkan dalam berbagai peralatan proses, seperti reaktor dan reboiler. Berdasarkan hasil neraca panas, kebutuhan steam pada pabrik ini tidak bersifat tunggal, melainkan terdiri dari beberapa tingkat tekanan yang berbeda, yaitu 3 bar, 7 bar, 5,5 bar dan 25 bar, yang disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing peralatan. Meskipun terdapat variasi tekanan penggunaan, sistem pembangkit steam dirancang menggunakan satu jenis steam utama, yaitu *steam* jenuh (*saturated steam*) tekanan menengah (*medium pressure*) dengan tekanan desain boiler sebesar 25 bar. Pemilihan tekanan ini didasarkan pada kebutuhan tekanan tertinggi dalam proses, yaitu pada reaktor SupraYield (R-02). *Steam* dengan tekanan lebih rendah (7 bar, 5,5 bar, dan 3 bar) diperoleh melalui proses penurunan tekanan menggunakan *pressure reducing valve* (PRV), sehingga sistem menjadi lebih fleksibel dan efisien.

Total kebutuhan steam yang dihitung dari neraca panas adalah sebesar 22.145,90 kg/jam, yang terdiri dari kebutuhan steam pada HE sebelum reaktor pra-hidrolisis (R-01), reaktor pra-hidrolisis (R-01), HE sebelum reaktor SupraYield (R-02), reaktor SupraYield (R-02), serta reboiler kolom distilasi (D-01). Kebutuhan steam terbesar terdapat pada reboiler D-01 sebesar 8.776,03 kg/jam, sehingga unit tersebut merupakan konsumen energi panas utama dalam proses produksi furfural.

Steam yang digunakan sebagai pemanas adalah *steam* jenuh (*saturated steam*) *medium pressure*, berdasarkan Smith (2001) dengan spesifikasi:

$$P = 25 \text{ bar (2.500 kPa} \rightarrow \text{dibulatkan dari data } \textit{steam} \text{ tabel)}$$

$$T_{\text{sat}} = 223,94^{\circ}\text{C}$$

$$h_{\text{g}} (\textit{saturated vapor}) = 2.800,9 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{f}} (\textit{saturated liquid}) = 961,9 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{fg}} (\textit{latent heat}) = 1.838,9 \text{ kJ/kg}$$

4.3 Unit Penyediaan Listrik

Pada perancangan pabrik furfural dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan kapasitas 5.000 ton/tahun, kebutuhan tenaga listrik dipenuhi oleh jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan generator set (genset) sebagai cadangan, karena pabrik beroperasi secara kontinyu sehingga diperlukan keandalan pasokan listrik untuk mencegah gangguan selama proses produksi berlangsung. Kebutuhan listrik ini digunakan untuk menunjang keperluan proses dan utilitas, penerangan, pendingin ruangan (AC), serta kegiatan laboratorium dan instrumentasi.

Pasokan listrik diperoleh dari jaringan Tegangan Menengah (TM) PLN sebesar 20 kV. Pemilihan jaringan TM didasarkan pada total kebutuhan daya pabrik sebesar ± 3.140 kW (± 3.925 kVA), yang mewajibkan penyambungan pada jaringan TM sesuai Peraturan Direksi PLN No. 088-Z.P/DIR/2016. Tegangan 20 kV kemudian diturunkan melalui transformator step-down di Gardu Induk Pabrik (GIP) menjadi 380 V untuk sistem tiga fasa yang melayani motor-motor peralatan proses dan utilitas, serta 220 V untuk sistem satu fasa yang melayani penerangan, pendingin ruangan, dan peralatan kantor.

Generator yang digunakan adalah generator arus bolak-balik (AC) dengan pertimbangan sebagai berikut:

- Mampu menghasilkan daya listrik dalam jumlah besar.
- Tegangan dapat disesuaikan sesuai kebutuhan dengan menggunakan transformator.

Generator AC yang digunakan adalah tipe tiga fasa yang memiliki beberapa keunggulan, antara lain:

- Tegangan dan daya listrik yang dihasilkan lebih stabil
- Penggunaan penghantar lebih efisien
- Peralatan motor tiga fasa relatif lebih sederhana dan ekonomis

4.3.1 Kebutuhan Listrik untuk Keperluan Proses dan Utilitas

Tabel 4.10. Kebutuhan Listrik untuk Keperluan Proses dan Utilitas

No	Kode Alat	Nama Alat	Daya (HP)
1	M-01	Mixer (Pretreatment)	10
2	R-01	Reaktor Pra-hidrolisis	1750
		Reaktor Utama	
3	R-02	(SupraYield)	0,5
		Screw Conveyor	
4	SC-01	(Feeding)	0,33
		Screw Conveyor	
5	SC-02	(Discharge)	0,33
		Extractive Dividing Wall	
6	D-01	Distillation	10
7	HM-01	Hammer Mill	15
8	CD-01	Kondensor	5
9	CD-02	Kondensor	5
10	CD-03	Kondensor	5
		Flash Tank	
12	T-01	(Agitator/aux)	5
13	P-01	Pompa Produk Furfural	0.5
TOTAL			1806.66

Diketahui: 1 HP = 0,7457 kW

$$\begin{aligned} \text{Power yang dibutuhkan} &= 1347,23 \text{ kW} \\ &= 1347 \text{ kW} \end{aligned}$$

Tabel 4.11. Kebutuhan Listrik Utilitas(Penulis, 2026)

No	Kode Alat	Nama Alat	Daya (HP)
1	P-02	Pompa Sirkulasi CW	75
2	P-03	Pompa Makeup CW	3
3	P-04	Pompa Umpan Boiler	40
4	P-05	Pompa Asam Sulfat	1
5	CT-01	Cooling Tower Fan	25
6	WT-01	Water treatment unit	15
7	IC-01	Instrument control system	7,5
TOTAL			166,5

Diketahui: 1 HP = 0,7457 kW

$$\text{Power yang dibutuhkan} = 124,15 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan listrik untuk pengolahan limbah} &= 30 \text{ HP} \\ &= 22,371 \text{ kW} \end{aligned}$$

4.3.2 Kebutuhan Listrik untuk Penerangan dan Pendingin Ruangan

A. Kebutuhan Listrik untuk Penerangan

Kebutuhan listrik untuk penerangan dihitung berdasarkan luas area yang membutuhkan pencahayaan serta standar intensitas cahaya (*lux*) yang digunakan. Perhitungan jumlah lumen dilakukan dengan persamaan:

$$Lumen = Area \times lux$$

Dimana:

- Area = luas daerah yang membutuhkan pencahayaan (m²)
- *lux* = kebutuhan energi cahaya per satuan luas (lumen/m²)

Besarnya nilai *lux* berbeda tergantung pada jenis area yang akan diberi penerangan.

Dalam perancangan ini digunakan nilai lux standar menurut Perry.

Tabel 4.12. Kebutuhan Listrik untuk Penerangan (Penulis, 2026)

No	Bangunan		lux	
	Indoor	Luas (m ²)	(lumen/m ²)	lumen
1	Pos Keamanan	24	100	2400
2	Musholla	100	150	15000
3	Laboratorium	100	500	50000
4	Kantor Utama	300	500	150000
5	Kantor RnD & K3	100	300	30000
6	Bengkel	150	100	15000
7	Koperasi dan Kantin	100	150	15000
8	Gudang	150	100	15000
9	Gedung Peralatan	250	100	25000
10	Ruang Kontrol	100	500	50000
11	Poliklinik	60	250	15000
12	Aula	150	150	22500
13	Perpustakaan	50	150	7500
TOTAL		1634		412400

No	Bangunan		lux	
	Outdoor	Luas (m ²)	(lumen/m ²)	lumen
1	Area Proses	2000	100	200000
2	Unit Utilitas	800	150	120000
3	Area Pengolahan	400	500	200000
	Limbah			
4	Unit Pengolahan	250	500	125000
	Limbah			
5	Unit Pemadam	50	500	25000
6	Kebakaran	50	500	25000
7	Area Parkir	250	300	75000
8	Jalan dan Area Umum	600	100	60000
8	Area Perluasan	1450	150	217500
TOTAL		5800		1022500

Lampu yang direncanakan untuk semua area di dalam bangunan menggunakan lampu *Light-emitting diode (LED) Philips (Helix Spiral energy saving bulb)* 24 watt. Lumen output tiap lampu adalah 1.450 lumen (philips.co.id).

Jumlah lumen di dalam ruangan = 1.022.500 lumen

Jumlah lampu yang dibutuhkan = $1.022.500 / 1.450 = 706$ lampu

Area outdoor digunakan lampu *Light-emitting diode (LED) Philips (Helix Spiral energy saving bulb)* 42 watt. Output tiap lampu adalah 2.650 lumen (philips.co.id).

Jumlah lumen di luar ruangan = 412.400 lumen

Jumlah lampu yang dibutuhkan = $412.400 / 2.650 = 156$ lampu

Total daya penerangan:

Indoor = $(24 \text{ watt} \times 706) = 16.924 \text{ watt} = 16,92 \text{ kW}$

Outdoor = $(42 \text{ watt} \times 156) = 6.536 \text{ watt} = 6,53 \text{ kW}$

B. Kebutuhan Listrik untuk Pendingin Ruangan

Pendingin ruangan digunakan pada ruangan tertentu yang membutuhkan pengendalian suhu seperti kantor, laboratorium, dan ruang kontrol. AC yang digunakan adalah *Split AC* dengan kapasitas 1 PK (9.000 BTU/jam) dengan daya sebesar 0,75 kW. Luas area yang memerlukan AC sebagai berikut:

Tabel 4.13. Kebutuhan Ruangan untuk AC (Penulis, 2026)

No	Nama	Luas (m ²)	Kebutuhan AC (PK)
1	Kantor Utama	300	12
2	Kantor RnD & K3	100	4
3	Laboratorium	100	4
4	Ruang Kontrol	100	4
5	Poliklinik	60	2
TOTAL		660	26

Jumlah AC yang dibutuhkan = 26 unit

Daya listrik tiap AC = 0,75 kW

Total daya pendingin ruangan = $26 \times 0,75$

= 19,5 kW

4.3.3 Kebutuhan Listrik untuk Peralatan Kantor

Listrik juga dibutuhkan untuk peralatan kantor seperti printer, monitor, komputer pegawai, dan komputer untuk sistem di ruang kontrol. Kebutuhan listrik yang digunakan untuk peralatan kantor adalah 20 kW.

4.3.4 Kebutuhan Listrik untuk Laboratorium dan Instrumentasi

Listrik untuk laboratorium dan instrumentasi diperkirakan 20 kW dan 15 kW. Jadi total kebutuhan listrik adalah:

Tabel 4.14. Kebutuhan Listrik Total (Penulis, 2026)

No	Keterangan	Daya (kW)
1	Kebutuhan Listrik Proses	1347.226362
2	Kebutuhan Listrik Utilitas	124.15905
3	Kebutuhan Listrik Pengolahan Limbah	22.371
4	Kebutuhan Listrik Penerangan, Pendingin Ruang, dan Kantor	62.96028887
5	Kebutuhan Listrik Laboratorium	20
6	Kebutuhan Listrik Instrumentasi	15
TOTAL		1591,7167

Untuk alasan keamanan, maka jumlah tenaga listrik yang dibutuhkan dilebihkan sebanyak 10%, maka total akhir kebutuhan listrik adalah sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Total} &= 110\% \times 1591,7167 \text{ kW} \\ &= 1750,888 \text{ kW} \end{aligned}$$

4.3.5 Generator

Generator digunakan sebagai sumber tenaga listrik apabila suplai tenaga listrik dari PLN terputus, sehingga kegiatan operasional pabrik tetap dapat berjalan tanpa gangguan. Digunakan generator dengan efisiensi 80%, maka kebutuhan input generator adalah:

$$\begin{aligned} \text{Input} &= \frac{276,58}{0,8} \\ &= 345,725 \text{ kW} \end{aligned}$$

Ditetapkan kapasitas input generator sebesar 350 kW, sehingga daya listrik yang tersedia adalah sebesar 350 kW, dan masih terdapat tenaga listrik sebesar:

$$\begin{aligned} &= 350 - 345,725 \\ &= 4,275 \text{ kW} \end{aligned}$$

Pada perancangan ini digunakan bahan bakar jenis *Natural Gas* pada generator dengan spesifikasi sebagai berikut:

Jenis bahan bakar : Natural Gas

Heating value : 22.199,588 BTU/lb

Efisiensi generator : 80 %

Kapasitas input generator : 350 kW

Listrik tersedia 108ingka : 350 kW

$$Q = \frac{350 \text{ kW}}{0,029407} \text{ (BTU/jam)/kW}$$

$$Q = 11.900.000 \text{ BTU/jam}$$

Kebutuhan bahan bakar untuk generator

$$\begin{aligned} mf &= \frac{Q}{f} \\ &= \frac{11.900.000}{22.199,588} \\ &= 536,06 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Diasumsikan setiap bulan PT. PLN mengalami pemadaman 108ingkat sekitar 12 jam selama 30 hari. Maka, dalam satu tahun waktu operasi generator adalah:

$$= 132 \text{ jam/tahun}$$

Sehingga kebutuhan bahan bakar dalam satu tahun:

$$= 132 \times 536,06$$

$$= 70.759,92 \text{ lb/tahun}$$

Setiap 2 minggu dilakukan pemanasan generator selama 5 menit untuk perawatan. Dalam satu tahun (330 hari), waktu pemanasan sekitar 2 jam, sehingga kebutuhan bahan bakar untuk perawatan adalah:

$$= 2 \times 536,06$$

$$= 1.072,12 \text{ lb/tahun}$$

Total kebutuhan bahan bakar generator:

$$= 70.759,92 + 1.072,12$$

$$= 71.832,04 \text{ lb/tahun}$$

Spesifikasi generator

Tipe : AC generator

Kapasitas : 350 kW

Tegangan : 220/380 volt

Efisiensi : 80 %

Phase : 3

Jumlah : 1 buah

Bahan bakar : Natural Gas

Rate bahan bakar : 71.832,04 lb/tahun

4.4 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Unit pengadaan bahan bakar bertujuan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar pada boiler dan generator. Bahan bakar yang digunakan pada boiler dan generator adalah natural gas. Dipilih natural gas karena:

- Nilai kalor yang tinggi
- Mudah didapat

Kebutuhan bahan bakar untuk boiler = 33,4654 lb/jam
= 2.650.456,975 lb/tahun

Kebutuhan bahan bakar untuk generator = 71.832,04 lb/tahun

Kebutuhan total bahan bakar = 2.650.456,975 + 71.832,04
= 2.722.289,015 lb/tahun

4.5 Unit Penyediaan Udara Proses dan Instrumentasi

Unit penyediaan udara proses dan instrumentasi berfungsi untuk memenuhi kebutuhan udara bertekanan di seluruh area pabrik furfural. Udara yang digunakan terdiri dari dua jenis, yaitu udara pabrik (plant air) dan udara 109ingkat109109n (*instrument air*). Udara pabrik adalah udara bertekanan yang digunakan untuk keperluan proses, pemompaan, dan pembersihan peralatan (*purging*). Sedangkan udara 109ingkat109109n merupakan udara kering bertekanan yang digunakan sebagai penggerak 109ingkat109109n-instrumen yang bekerja dengan sistem 109ingkat109109, seperti *pneumatic control valve* dan 109ingkat109. Karena fungsinya yang kritis dalam sistem kendali proses, kualitas udara 109ingkat109109n harus memenuhi persyaratan yang lebih ketat dibandingkan udara pabrik.

Sumber udara diperoleh dari udara bebas di lingkungan sekitar pabrik yang kemudian dihisap dan dikompresi oleh kompresor hingga tekanan operasi yang dibutuhkan. Setelah keluar dari kompresor, udara dialirkan menuju 109ingka penyangga (*buffer tank*) yang dilengkapi dengan separator/pemisah kondensat. Tahapan ini diperlukan untuk memisahkan tetesan air (kondensat) yang terbentuk akibat proses kompresi sebelum udara didistribusikan lebih lanjut. Dari 109ingka penyangga, aliran udara dibagi menjadi dua jalur sesuai peruntukannya. Untuk jalur udara 109ingkat109109n, udara yang telah dipisahkan kondensatnya selanjutnya dialirkan menuju *dryer* berisi silika gel untuk proses pengeringan lebih lanjut. Proses adsorpsi menggunakan silika gel

bertujuan menghilangkan kandungan uap air secara menyeluruh hingga titik embun udara mencapai 0°C. Udara 110ingkat110110n yang dihasilkan harus bebas dari air, bebas minyak, dan bebas debu. Persyaratan ini mutlak dipenuhi karena kandungan air dapat menyebabkan korosi pada komponen 110ingkat110110, sedangkan kontaminan minyak dan debu dapat merusak *pneumatic valve* dan 110ingkat110110n 110ingkat. Tekanan operasi udara 110ingkat110110n adalah 45 psig (± 3 atm). Setiap pengontrol 110ingkat110110 membutuhkan pasokan udara sekitar 25,2 L/menit (Considine., 1970), dengan total estimasi kebutuhan udara 110ingkat110110n sebesar 60 m³/jam.

4.6 Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah bertujuan untuk mengurangi pencemaran dan berusaha untuk memenuhi baku mutu limbah yang ditetapkan oleh pemerintah sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup tentang Baku Mutu Limbah. Limbah yang dihasilkan oleh pabrik furfural meliputi limbah proses, limbah pemompaan dan limbah 110ingkat110. Limbah yang dihasilkan oleh pabrik furfural berupa slurry yang dihasilkan oleh filter press dan sejumlah kecil limbah cair yang dihasilkan dari destilasi. Limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik furfural ini tidak berasal dari keberlangsungan proses, melainkan dari kantin dan kantor. Limbah sisa makanan dari kantin dan kertas kantor ini tidak diolah namun langsung dibuang ke TPA. Pengolahan bahan buangan antara lain:

1. Slurry digunakan untuk pembuatan arang briket.
2. Limbah cair diendapkan dengan penambahan mikrobiologis untuk menghilangkan senyawa-senyawa organik.
3. Buangan air sanitasi.
4. *Back wash* filter, air berminyak dari pompa.

Air buangan sanitasi dari toilet di sekitar pabrik dan perkantoran dikumpulkan dan diolah dalam unit stabilisasi dengan menggunakan lumpur aktif, aerasi, dan injeksi klorin. Klorin ini berfungsi untuk desinfektan, yaitu membunuh mikroorganisasi yang dapat menimbulkan penyakit. Limbah lainnya berupa limbah cair larutan C₅H₄O₂ hasil kondensasi dari distilasi. Cairan tersebut tidak langsung dibuang ke lingkungan karena dapat merusak ekosistem lingkungan sekitarnya.

Limbah cair ini diolah 110ingkat air limbah dari *filter press* yang telah dinetralkan dengan cara penambahan mikrobiologis untuk mengendapkan senyawa-senyawa 110 ingkat. Kemudian air limbah tersebut masuk ke dalam bak sedimentasi dan air yang memenuhi syarat

dikembalikan ke proses utilitas untuk diolah menjadi air proses. Limbah padat berasal dari *filter press*, yang tidak lolos dalam penyaringan. Limbah padat ini akan dikeringkan dengan menggunakan matahari langsung kemudian padatan ini mengalami pengarangan (karbonisasi). Setelah pengarangan, padatan ini ditumbuk sampai halus dengan tujuan mendapatkan besar butiran yang sama sehingga kerapatan yang dihasilkan pada proses selanjutnya besar. Kemudian padatan halus tersebut ditambahkan perekat berupa kanji untuk selanjutnya mengalami proses pembriketan. Arang briket yang dihasilkan digunakan sebagai bahan bakar boiler.

Air yang berminyak berasal dari buangan pelumas pompa diolah atau dipisahkan dari air dengan cara perbedaan berat jenisnya. Minyak dibagian atas dialirkan ke penampungan terakhir, kemudian dibuang.

4.6.1 Unit Pengendali Pencemaran Air dan Udara

Peran unit pengendalian pencemaran air dan udara adalah untuk mencegah pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan produksi. Faktor utama yang harus diperhatikan untuk mengendalikan pencemaran adalah karakteristik pencemar, yang bergantung pada jenis dan konsentrasi senyawa yang dilepaskan ke lingkungan, kondisi geografis sumber pencemaran, dan kondisi meteorologi lingkungan.

4.6.2 Pencemaran Lingkungan

Limbah menurut UU 32 Tahun 2009 adalah:

- Sisa suatu usaha dan/atau kegiatan.
- Masuknya 111 ingkat 111111 (polutan) ke lingkungan dalam jumlah yang berlebihan sehingga menurunkan kualitas lingkungan.

Agar tidak terjadi pencemaran, maka dilakukan treatment terhadap limbah yang merusak lingkungan tersebut untuk menghindari munculnya polutan/cemaran/limbah yang merugikan. Pengendalian pencemaran dapat dilakukan sebagai berikut:

- 1) Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik furfural dialirkan menuju *Waste Water Treatment Plant* (WWTP) yang dikelola oleh Kawasan industry Dumai.
- 2) Limbah buangan air sanitasi yang berasal dari kamar mandi, pencucian, dapur dan lain sebagainya, dikumpulkan dan diolah dalam unit stabilisasi dengan menggunakan lumpur aktif, aerasi, dan desinfektan Ca-hypochlorite. Air hasil

klorinasi dialirkan menuju WWTP. Sedangkan kotoran yang berasal dari WC dibuang ke tempat pembuangan khusus septic tank.

- 3) Air berminyak (*oily water*) yang berasal dari buangan pelumas pada pompa dipisahkan dengan cara perbedaan berat jenisnya. Minyak di bagian atas dialirkan ke penampungan terakhir dan kemudian dibuang, sedangkan air berada dibagian bawah dan dialirkan menuju WWTP.

4.6.3 Unit Pengolahan Limbah B3

Tujuan pengelolaan B3 adalah untuk mencegah dan mengatasi adanya pencemaran atau kerusakan limbah B3 terhadap lingkungan, mengembalikan kualitas lingkungan yang tercemar, dan memenuhi fungsinya 112ingkat. Pengelolaan limbah B3 merupakan salah satu rangkaian kegiatan yang meliputi penyimpanan, pengumpulan, pemanfaatan, pengangkutan dan pengolahan limbah B3, termasuk penyimpanan hasil pengolahan. Upaya pengelolaan limbah B3 dapat dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

- 1) Reduksi limbah dengan mengoptimalkan penyimpanan bahan baku dalam proses kegiatan atau *house keeping*, substitusi bahan, modifikasi proses, maupun 112ingkat reduksi lainnya.
- 2) Kegiatan pengemasan dilakukan dengan memberikan 112ingkat atau pelabelan yang menunjukkan karakteristik dan jenis limbah B3 berdasarkan acuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 14/2013 tentang Simbol B3.
- 3) Penyimpanan dapat dilakukan di tempat yang sesuai dengan persyaratan yang berlaku mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 101/2014 tentang Pengelolaan Limbah B3.
- 4) Pengumpulan dapat dilakukan dengan memenuhi persyaratan pada ketentuan Peraturan Pemerintah Nomor 101/2014 tentang Pengelolaan Limbah B3 yang menitikberatkan pada ketentuan tentang karakteristik limbah, fasilitas laboratorium, perlengkapan penanggulangan kecelakaan, maupun 112ingkat.
- 5) Kegiatan pengangkutan perlu dilengkapi dengan dokumen pengangkutan dan ketentuan teknis pengangkutan.
- 6) Upaya pemanfaatan dapat dilakukan melalui kegiatan daur ulang (*recycle*), perolehan 112ingkat (*recovery*) dan penggunaan 112ingkat (*reuse*) limbah B3 yang dihasilkan ataupun bentuk pemanfaatan lainnya.

- 7) Pengolahan limbah B3 dapat dilakukan dengan cara thermal, stabilisasi, solidifikasi secara fisika, kimia, maupun biologi dengan cara teknologi bersih atau ramah lingkungan.
- 8) Kegiatan penimbunan limbah B3 wajib memenuhi persyaratan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 101/2014 tentang Pengelolaan Limbah B3. Limbah B3 yang dihasilkan akan dikirim ke pihak ketiga (contohnya Kawasan Industri Dumai) karena untuk pengelolaan limbah B3 (pengumpulan, pemanfaatan, pengolahan, penimbunan, dan dumping limbah B3) dan pembuangan limbah B3 harus memiliki perizinan yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup sesuai peraturan yang berlaku sehingga pabrik tidak dapat mengelola limbah B3 secara mandiri.

4.7 Laboratorium

4.7.1 Peranan Laboratorium

Laboratorium merupakan bagian penting dalam menunjang kelancaran proses produksi dan menjaga kualitas hasil produksi. Laboratorium juga berperan dalam pengendalian pencemaran limbah, termasuk limbah udara dan cair. Laboratorium memainkan peran yang sangat penting dalam memperoleh data yang diperlukan untuk pabrik. Data ini digunakan untuk mengevaluasi unit yang ada, menentukan tingkat efisiensi, dan seperti yang dijelaskan sebelumnya.

Quality control atau pengendalian kualitas di suatu pabrik pada dasarnya adalah untuk mengontrol kualitas produk yang dihasilkan agar memenuhi standar yang digunakan. Pengendalian mutu dimulai dari bahan baku, dan dalam prosesnya juga dilakukan terhadap hasil atau produk. Melakukan pengendalian secara rutin untuk menjaga kualitas bahan baku dan produk agar memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Dengan adanya pemeriksaan secara rutin ini nantinya dapat mengetahui apakah proses berjalan dengan normal atau menyimpang. Jika diketahui adanya produk yang tidak sesuai dengan yang diharapkan maka dengan mudah dapat diketahui atau diatasi. Tugas laboratorium antara lain:

- a) Memeriksa bahan baku yang akan digunakan.
- b) Menganalisa dan meneliti produk yang akan dipasarkan.
- c) Menganalisa kadar zat-zat yang dapat menyebabkan pencemaran pada buangan pabrik.

d) Melakukan percobaan yang ada kaitannya dengan proses produksi.

Laboratorium kimia merupakan sarana untuk mengadakan penelitian bahan baku proses maupun produksi. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan dan menjaga kualitas produk. Laboratorium terdiri dari 3 bagian yaitu:

1) Laboratorium Pengamatan

Kerja dan tugas dari laboratorium ini adalah melakukan 114 tingkat secara fisika semua stream yang berasal dari proses produksi serta mengeluarkan *certificate of quality* untuk menjelaskan spesifikasi hasil pengamatan. Jadi, pemeriksaan dan pengamatan dilakukan terhadap bahan baku, produk intermediate dan produk akhir.

2) Laboratorium Analitika dan Gas

Kerja dan tugas dari laboratorium ini adalah melakukan 114 tingkat sifat – sifat dan kandungan kimiawi terhadap bahan baku, bahan penunjang, produk intermediate dan produk akhir dan 114 tingkat air atau gas yang merupakan bahan baku, termasuk kerak dan bahan kimia yang digunakan misalnya zat adiktif.

3) Laboratorium Penelitian, Pengembangan, dan Perlindungan Lingkungan

Kerja dan tugas dari laboratorium ini adalah melakukan penelitian dan pengembangan terhadap permasalahan yang berhubungan dengan kualitas material terkait dalam proses untuk meningkatkan hasil akhir. Sifat dari laboratorium ini tidak rutin dan cenderung melakukan penelitian hal – hal yang baru untuk keperluan pengembangan.

4.7.2 Program Laboratorium

Laboratorium melaksanakan tugas selama 24 jam sehari dalam kelompok kerja *shift* dan *non shift* dengan perincian sebagai berikut:

1) Kelompok *shift*, bertugas memantau dan menganalisa proses produksi secara rutin. Setiap shift bekerja bergiliran selama 24 jam dengan masing-masing shift bekerja selama 8 jam.

2) Kelompok *nonshift*, bertugas melakukan 114 tingkat khusus yaitu 114 tingkat yang sifatnya tidak rutin dan menyediakan reagen kimia yang diperlukan oleh laboratorium. Kelompok ini bekerja di laboratorium utama dengan tujuan membantu kelancaran dan meningkatkan kinerja kelompok shift dengan melaksanakan tugas-tugas sebagai berikut:

- Menyediakan reagen kimia untuk 115 tingkat laboratorium.
- Melakukan 115 tingkat bahan buangan yang menyebabkan polusi.
- Melakukan penelitian atau percobaan untuk membantu kelancaran produksi.

Beberapa macam 115 tingkat yang dilakukan laboratorium yaitu:

1) Analisa Mutu Bahan Baku

Analisa dilakukan terhadap bahan baku yang digunakan yaitu tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan asam sulfat. Analisa dilakukan pada saat bahan 115 tingkat, sehingga pabrik dapat menolak bahan baku yang akan dibeli apabila hasilnya tidak memenuhi syarat selain itu juga menganalisa yang meliputi dengan densitas, viskositas, *specific gravity*, dan kandungan pentosan di dalam TKKS.

2) Analisa Mutu Produksi *Intermediate* dan Produk Komersial

Analisa produk meliputi berat jenis furfural dan kadar pengotor.

3) Analisa Utilitas

Analisa laboratorium dilakukan terhadap :

Air proses penjernihan, yang dianalisa adalah pH, SiO₂, Ca sebagai CaCO₃, sulfur sebagai SO₄²⁻, klor sebagai Cl₂ dan zat padat terlarut

- Resin penukar anion, yang dianalisa adalah kesadahan CaCO₃ dan silikat sebagai SiO₂.
- Air bebas mineral, yang dianalisa melalui pH, kesadahan, jumlah O₂ terlarut dan kadar Fe.
- Air dalam boiler, yang dianalisa meliputi pH, zat padat terlarut, kadar Fe, O₂, CaCO₃, SiO₂.
- Air minum, yang dianalisa adalah pH, klor sisa dan kekeruhannya.
- Air buangan, yang dianalisa adalah pH, kekeruhan, COD, BOD dan kandungan logam Fe.

4.7.3 Alat-Alat Laboratorium

Alat-alat laboratorium yang dibutuhkan antara lain:

1) IRS (*Internal Rating system*)

Digunakan untuk menganalisa kandungan minyak dalam sampel air.

2) *Portable Oxygen Tester* (POT)

Digunakan untuk menganalisa kadar oksigen dalam suatu zat.

- 3) *Alat titrasi Karl Fisher*
Digunakan untuk penentuan kadar air dalam suatu bahan baku atau produk.
- 4) *Viscometer*
Digunakan untuk mengukur tingkat viskositas.
- 5) *Hydrometer*
Digunakan untuk mengukur tingkat gravity.
- 6) *Hygrometer*
Digunakan untuk mengukur humiditas udara.
- 7) *Termometer*
Digunakan untuk mengukur suhu (temperatur) ataupun perubahan suhu.
- 8) *pH meter*
Digunakan untuk mengetahui tingkat keasaman dan kebasaan air maupun bahan baku dan produk.
- 9) *Turbidity meter*
Digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air.
- 10) *Wagner*
Digunakan untuk menentukan partikel size distribution dari TKKS.
- 11) *Gillmore*
Digunakan untuk memeriksa kekeringan *slurry*.
- 12) *BOD Meter*
Digunakan untuk mengukur kadar BOD dalam air.

4.8 Kesehatan dan Keselamatan Kerja

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan aspek fundamental dalam operasional pabrik furfural yang wajib diterapkan secara menyeluruh dan konsisten. K3 diatur dalam Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja beserta peraturannya dari Kementerian Ketenagakerjaan, yang mewajibkan setiap tempat kerja memiliki sistem perlindungan, pencegahan, dan pengendalian terhadap potensi bahaya yang bersumber dari peralatan, bahan kimia, proses, maupun lingkungan kerja.

Pabrik furfural memiliki karakteristik bahaya yang spesifik dan perlu mendapat perhatian serius. Furfural ($C_5H_4O_2$) merupakan senyawa tingkat yang bersifat toksik, mudah terbakar (*flammable*) dengan titik nyala $61^\circ C$, dan dapat menyebabkan iritasi pada kulit, mata, serta saluran

pernapasan apabila terjadi paparan langsung (NIOSH., 2024). Proses produksi furfural melibatkan penggunaan asam sulfat pekat sebagai katalis, operasi pada suhu dan tekanan tinggi di 117ingkat, serta penggunaan kolom distilasi bertekanan. Berbagai potensi bahaya tersebut menjadikan penerapan sistem K3 yang terstruktur sebagai kebutuhan yang tidak dapat dikompromikan.

4.8.1 Tujuan K3

Penerapan sistem K3 di pabrik furfural bertujuan untuk:

- Melindungi seluruh tenaga kerja dan pihak lain yang berada di area pabrik dari risiko kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (PAK);
- Menjamin setiap sumber daya produksi, termasuk peralatan bertekanan, 117 ingka penyimpanan furfural, dan sistem perpipaan asam, dapat digunakan secara aman dan efisien;
- Menjamin kelangsungan proses produksi berjalan 117ingka tanpa gangguan akibat insiden keselamatan;
- Melindungi lingkungan sekitar dari dampak 117ingkat117 kegiatan produksi, khususnya potensi kebocoran furfural atau asam sulfat.

4.8.2 Landasan Hukum dan Standar K3

Penerapan K3 di pabrik furfural didasarkan pada regulasi nasional dan standar internasional sebagai berikut:

- **UU No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja**, yang mengatur kewajiban 117ingkat117117n dalam melindungi tenaga kerja dari risiko kecelakaan di tempat kerja, termasuk bahaya dari bahan kimia berbahaya seperti furfural dan asam sulfat.
- **Permenaker No. 5 Tahun 1996 tentang Sistem Manajemen K3 (SMK3)**, yang mewajibkan 117 ingkat 117117 n mengintegrasikan aspek K3 dalam seluruh aktivitas manajemen melalui perencanaan, pelaksanaan, pemantauan, dan evaluasi yang berkesinambungan.
- **ISO 45001:2018**, sebagai standar internasional sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja yang memberikan kerangka kerja dalam mengidentifikasi bahaya, menilai risiko, serta meningkatkan kinerja keselamatan secara berkelanjutan.
- **NFPA 30 (Flammable and Combustible Liquids Code)**, sebagai acuan pengelolaan dan penyimpanan cairan mudah terbakar, mengingat furfural tergolong *flammable liquid*.

4.8.3 Manajemen Risiko (HIRADC)

Pabrik furfural menerapkan metode **HIRADC** (*Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control*) sebagai pendekatan sistematis dalam pencegahan kecelakaan kerja dan pengendalian bahaya.

4. **Hazard Identification (Identifikasi Bahaya)**

Tahap pertama adalah mengenali seluruh potensi bahaya yang dapat timbul dari proses, peralatan, bahan kimia, maupun aktivitas kerja di pabrik furfural. Identifikasi bahaya mencakup antara lain:

- Kebocoran furfural cair atau uap dari 118ingka penyimpanan, perpipaan, dan pompa, mengingat furfural bersifat toksik dan mudah terbakar;
- Paparan asam sulfat pekat pada unit mixer dan 118ingkat yang dapat menyebabkan luka bakar kimia pada kulit dan mata;
- Risiko kebakaran dan ledakan akibat akumulasi uap furfural di area tertutup yang mencapai batas bawah konsentrasi ledakan (*Lower Explosive Limit/LEL*);
- Tekanan tinggi dan suhu tinggi pada 118ingkat pra-hidrolisis (R-01) dan 118ingkat SupraYield (R-02) yang berpotensi menyebabkan kegagalan mekanis;
- Paparan uap panas dan steam bertekanan pada sistem boiler dan kolom distilasi.

2. **Risk Assessment (Penilaian Risiko)**

Setelah bahaya diidentifikasi, setiap potensi risiko dinilai berdasarkan 118 tingkat kemungkinan terjadinya (*likelihood*) dan 118 tingkat keparahan dampaknya (*severity*). Hasil penilaian dituangkan dalam matriks risiko untuk menentukan kategori risiko (rendah, sedang, tinggi, atau ekstrem) sehingga 118ingkat118 pengendalian dapat diprioritaskan sesuai urgensinya.

5. **Determining Control (Penentuan Pengendalian)**

Langkah pengendalian ditetapkan mengacu pada **hierarki pengendalian bahaya** dengan urutan prioritas dari yang paling efektif hingga paling dasar, sebagai berikut:

1. **Eliminasi**: menghapuskan sumber bahaya secara total, misalnya menghilangkan penggunaan bahan atau proses yang tidak diperlukan dan berisiko tinggi.
2. **Substitusi**: mengganti bahan atau proses berbahaya dengan alternatif yang lebih aman, misalnya mengganti katalis asam dengan konsentrasi lebih rendah apabila secara teknis memungkinkan.
3. **Engineering Control**: rekayasa teknis untuk memisahkan pekerja dari bahaya, mencakup pemasangan 118ingkat118 kebocoran gas furfural, sistem ventilasi lokal di area 118ingka

dan 119ingkat, *pressure relief valve* (PRV) pada 119ingkat bertekanan, serta sistem *emergency shutdown* (ESD) otomatis.

4. **Pengendalian Administratif:** pengaturan prosedur kerja aman, penerapan *Permit to Work* (PTW) untuk pekerjaan berisiko tinggi, pelatihan penanganan bahan kimia berbahaya, rotasi dan pembatasan waktu kerja di area paparan, serta pelaksanaan *toolbox meeting* sebelum pekerjaan dimulai.
5. **Alat Pelindung Diri (APD)** sebagai lapisan perlindungan terakhir. APD yang wajib digunakan di area pabrik furfural disesuaikan dengan potensi bahaya di masing-masing area, sebagaimana dirinci pada tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.15. Jenis APD dan Spesifikasi

Jenis APD	Spesifikasi	Area Penggunaan
Pelindung kepala	<i>Safety helmet</i>	Seluruh area pabrik
Pelindung mata dan muka	<i>Goggle, face shield</i>	Area 119ingkat, mixer asam, lab
Pelindung pernapasan	Respirator 119ingkat, SCBA	Area 119 ingka furfural, reaktor
Pelindung tangan	<i>Chemical glove</i>	Handling furfural & H ₂ SO ₄
Pelindung kaki	<i>Safety shoes, rubber boots</i>	Seluruh area proses

Seluruh proses HIRADC dijalankan secara rutin, terdokumentasi, dan dievaluasi menggunakan pendekatan **PDCA** (*Plan–Do–Check–Action*) untuk memastikan sistem manajemen risiko selalu relevan terhadap kondisi operasional terkini. Hasil HIRADC menjadi dasar penyusunan *Standard Operating Procedure* (SOP), pembuatan *Permit to Work* (PTW), serta rencana tanggap darurat pabrik.

4.8.4 Tanggap Darurat

Sistem dan rencana tanggap darurat (*Emergency Response Plan*) diperlukan mengingat furfural bersifat mudah terbakar dan toksik sehingga berikut hal-hal yang mencakup system dan rencana tanggap darurat:

- Prosedur evakuasi dan titik kumpul (*muster point*) yang ditetapkan dan disosialisasikan kepada seluruh karyawan;
- Sistem deteksi kebakaran dan kebocoran gas yang terhubung dengan alarm otomatis di seluruh area proses;

- Ketersediaan *fire hydrant*, APAR (*Alat Pemadam Api Ringan*), dan *foam system* di area penyimpanan furfural sesuai NFPA 30;
- Pelatihan dan simulasi tanggap darurat (*emergency drill*) yang dilaksanakan secara berkala.