

## BAB VI

### TROUBLESHOOTING

Rancangan dari *troubleshooting* pada desain proyek pembuatan pabrik asam format dianalisa berdasarkan tingkat penilaian risiko pada proses yang terjadi di setiap unit. *Troubleshooting* merupakan suatu cara pemecahan masalah yang digunakan untuk mengidentifikasi berbagai gejala yang ada pada suatu alat maupun proses. Fungsi dari *troubleshooting* sendiri tidak hanya untuk memperbaiki masalah, tetapi juga untuk memastikan umur panjang alat, biaya produksi dan mencegah bahaya keselamatan yang terkait dengan berjalannya proses produksi asam format.

Rancangan *troubleshooting* dibuat dengan pembagian berdasarkan unit proses yang ada dalam pabrik asam format, antara lain : unit penyimpanan, unit pemindah, unit reaktor, unit pemisahan, dan unit penukar panas.

#### 6.1 Unit penyimpanan

##### A. Identifikasi Permasalahan

Tabel 6. 1 Tabel Identifikasi Permasalahan Unit Penyimpanan

Identifikasi Masalah	Masalah Utama	Dampak	Pemeriksaan	Perbaikan
Kebocoran pada tangki penyimpanan metanol/asam format	Korosi paparan kimia fatigue fluktuasi dan penipisan akibat umur operasi	akibat bahan baku/produk, paparan bahan kimia berbahaya, pencemaran lingkungan, risiko kebakaran	Inspeksi visual, ultrasonic thickness test (UT), pemeriksaan area weld joint	Perbaikan coating, penggantian pelat tangki, penggunaan material tahan korosi
Kebocoran pada nozzle dan flange tangki	Gasket rusak, baut longgar, vibrasi operasi	Tumpahan bahan kimia, penurunan tekanan operasi	Pemeriksaan flange leakage dan pressure indicator	Penggantian gasket, pengencangan flange
Kebocoran pipa inlet bahan baku	Perbedaan tekanan tinggi, sambungan longgar, korosi internal pipa	Penurunan efisiensi proses, kehilangan bahan baku, potensi	Cek pressure indicator, inspeksi jalur perpipaan	Pengelasan ulang, penggantian pipa, kalibrasi instrumen

Identifikasi Masalah	Masalah Utama	Dampak	Pemeriksaan	Perbaikan
Overpressure tangki penyimpanan	Kegagalan pressure control system, vent tersumbat, kenaikan temperatur akibat paparan panas	Risiko ledakan, kerusakan tangki	Monitoring pressure gauge dan alarm tekanan	Pemasangan pressure safety valve (PSV), perbaikan vent system
Overflow tangki	Valve outlet gagal membuka, kesalahan pembacaan level	Tumpahan bahan kimia, pencemaran lingkungan	Monitoring level alarm	Perbaikan valve dan pemasangan high-level alarm
Kontaminasi bahan dalam tangki	Masuknya air atau impuritas dari jalur transfer	Penurunan kualitas baku	Analisa sampel bahan secara berkala	Pembersihan tangki dan isolasi jalur kontaminasi
Pembentukan uap berlebih pada tangki metanol	Temperatur penyimpanan terlalu tinggi	Peningkatan tekanan dan risiko kebakaran	Monitoring temperatur dan tekanan	Pemasangan sistem pendingin dan insulasi tangki
Kerusakan sistem agitator tangki (jika ada)	Motor agitator rusak atau misalignment	Campuran tidak homogen	Pemeriksaan motor dan vibrasi	Perbaikan atau penggantian agitator

## B. Hazop Analisis Unit Penyimpanan

Tabel 6. 2 Tabel Hazop Analisis Unit Penyimpanan

Deviation	Possible Cause	Consequence	Safeguards	Recommendation
Leakage pada tangki penyimpanan	Korosi akibat paparan bahan kimia fatigue karena fluktuasi tekanan dan temperatur,	Kehilangan bahan baku/produk, paparan bahan kimia berbahaya, pencemaran	Inspeksi visual berkala, ultrasonic thickness test (UT),	Perbaikan coating, penggantian pelat tangki, penggunaan material tahan korosi

<b>Deviation</b>	<b>Possible Cause</b>	<b>Consequence</b>	<b>Safeguards</b>	<b>Recommendation</b>
	penipisan material akibat umur operasi	lingkungan, risiko kebakaran	secondary containment	
Leakage pada nozzle dan flange tangki	Gasket rusak, baut flange longgar, vibrasi operasi	Tumpahan bahan kimia dan penurunan tekanan operasi	Pemeriksaan flange leakage dan pressure indicator	Penggantian gasket dan pengencangan flange
Leakage pada pipa inlet bahan baku	Perbedaan tekanan tinggi, sambungan longgar, korosi internal pipa	Penurunan efisiensi proses, kehilangan bahan baku, potensi paparan bahan kimia	Pressure indicator, flow indicator, inspeksi jalur perpipaan	Pengelasan ulang, penggantian pipa, dan kalibrasi instrumen
High Pressure pada tangki penyimpanan	Kegagalan pressure control system, vent tersumbat, kenaikan temperatur akibat paparan panas	Risiko ledakan dan kerusakan tangki	Pressure gauge, pressure alarm, vent system	Pemasangan pressure safety valve (PSV) dan perbaikan vent system
High Level / Overflow	Valve outlet gagal membuka, kesalahan pembacaan level	Tumpahan bahan kimia dan pencemaran lingkungan	Level indicator dan level alarm	Perbaikan valve dan pemasangan high-high level alarm
Wrong Composition	Masuknya air atau impuritas dari jalur transfer	Penurunan kualitas bahan baku dan gangguan proses	Analisa sampel bahan secara berkala	Pembersihan tangki dan isolasi jalur kontaminasi
High Temperature	Temperatur penyimpanan terlalu tinggi akibat paparan panas lingkungan	Pembentukan uap berlebih, peningkatan tekanan, risiko kebakaran	Monitoring temperatur dan tekanan	Pemasangan sistem pendingin dan insulasi tangki

<b>Deviation</b>	<b>Possible Cause</b>	<b>Consequence</b>	<b>Safeguards</b>	<b>Recommendation</b>
Vapour Formation	Penguapan metanol akibat temperatur tinggi	Risiko kebakaran dan peningkatan tekanan tangki	Temperature monitoring dan vent system	Penambahan cooling system dan vapour recovery
No Agitation	Motor agitator rusak atau misalignment	Campuran tidak homogen dan potensi sedimentasi	Pemeriksaan motor dan vibrasi	Perbaiki atau penggantian agitator
Low Pressure / Vacuum	Pendinginan mendadak atau kegagalan vent	Deformasi tangki (tank collapse)	Pressure-vacuum valve	Pemasangan vacuum relief valve
Instrument Failure	Kerusakan level transmitter atau pressure indicator	Pembacaan parameter operasi tidak akurat	Kalibrasi instrumen berkala	Penggantian instrumen dan preventive maintenance

## 6.2 Unit Pemindahan

### A. Identifikasi Masalah

Tabel 6. 3 Identifikasi Masalah Unit Pemindahan

<b>Identifikasi Masalah</b>	<b>Masalah Utama</b>	<b>Dampak</b>	<b>Pemeriksaan</b>	<b>Perbaikan</b>
Kavitasi pada pompa transfer metanol/asam format	Tekanan inlet terlalu rendah, suction line tersumbat, NPSH available lebih kecil dari NPSH required, temperatur fluida terlalu tinggi	Kerusakan impeller, penurunan kapasitas pompa, getaran dan suara abnormal	Pemeriksaan NPSH, suction pressure, suara dan vibrasi pompa	Perbaikan suction line, penurunan temperatur fluida, pembesaran diameter suction pipe
Pompa tidak mengalir	Impeller rusak, pompa gagal, discharge tertutup	motor valve, gangguan suplai bahan	Proses transfer fluida terhenti, Inspeksi kondisi pompa, pengecekan motor dan valve	Penggantian impeller, perbaikan motor, pembukaan valve

Identifikasi Masalah	Masalah Utama	Dampak	Pemeriksaan	Perbaikan	
Debit aliran pompa rendah	Penyumbatan perpipaan, valve tidak penuh	adanya air lock pada suction jalur fouling, tidak terbuka	baku ke unit proses Penurunan kapasitas proses dan efisiensi operasi	Monitoring flowrate dan pressure drop dan pemeriksaan valve	Cleaning jalur pipa dan pemeriksaan valve
Tekanan discharge pompa terlalu tinggi	Discharge tersumbat atau outlet tertutup	line valve	Kerusakan pompa, kebocoran jalur perpipaan	Pemeriksaan pressure gauge discharge	Pembersihan discharge line dan pemasangan relief valve
Kebocoran pada pipa transfer	Korosi internal/eksternal sambungan longgar, gasket rusak	pipa, flange	Kehilangan fluida, paparan bahan kimia, risiko kebakaran	Inspeksi jalur pipa, leak test	Pengelasan ulang, penggantian gasket dan pipa

## B. Hazop Analysys Unit Pemindahan

Tabel 6. 4 Hazop Analisis Unit Pemindahan

Deviation	Possible Cause	Consequence	Safeguards	Recommendation	
Low Inlet Pressure	Tekanan inlet rendah, tersumbat, available < required, fluida terlalu tinggi	inlet terlalu suction line NPSH < NPSH temperatur abnormal	Kavitasi pompa, kerusakan impeller, dan suara abnormal	Pressure indicator, monitoring NPSH	Perbaikan suction line dan pembesaran diameter suction pipe
No Flow	Impeller rusak, pompa gagal, discharge tertutup, lock pada suction	motor valve air	Proses transfer fluida terhenti, gangguan suplai bahan baku	Flow indicator dan inspeksi pompa	Penggantian impeller, perbaikan motor, pembukaan valve

<b>Deviation</b>	<b>Possible Cause</b>	<b>Consequence</b>	<b>Safeguards</b>	<b>Recommendation</b>
Low Flow	Penyumbatan jalur perpipaan, fouling, valve tidak terbuka penuh	Penurunan kapasitas proses dan efisiensi operasi	Monitoring flowrate dan pressure drop	Cleaning jalur pipa dan pemeriksaan valve
High Discharge Pressure	Discharge line tersumbat, valve outlet tertutup	Kerusakan pompa dan kebocoran perpipaan	Pressure gauge discharge dan pressure alarm	Pembersihan discharge line dan pemasangan relief valve
Leakage pada pipa transfer	Korosi internal/eksternal pipa, flange longgar, gasket rusak	Kehilangan fluida, paparan bahan kimia, risiko kebakaran	Leak test dan inspeksi jalur pipa	Penggantian gasket, pengelasan ulang, penggantian pipa

### 6.3 Unit Penukar Panas

#### A. Identifikasi Permasalahan

Tabel 6. 5 Identifikasi Permasalahan Unit Penukar Panas

<b>Identifikasi Masalah</b>	<b>Masalah Utama</b>	<b>Dampak</b>	<b>Pemeriksaan</b>	<b>Perbaikan</b>
Fouling pada heat exchanger	Endapan kotoran, kerak garam, produk samping reaksi, dan impuritas menempel pada permukaan tube	Penurunan efisiensi perpindahan panas, pressure drop meningkat	Monitoring $\Delta T$ dan pressure drop	Cleaning mekanik atau chemical cleaning secara berkala
Scaling pada tube heat exchanger	Pembentukan kerak akibat kandungan mineral dan garam terlarut pada fluida proses	Heat transfer rendah, konsumsi energi meningkat	Pemeriksaan suhu inlet dan outlet serta pressure drop	Descaling menggunakan bahan kimia pembersih

<b>Identifikasi Masalah</b>	<b>Masalah Utama</b>	<b>Dampak</b>	<b>Pemeriksaan</b>	<b>Perbaikan</b>
Korosi pada tube heat exchanger	Paparan fluida korosif seperti asam format dan air panas	Penipisan material tube dan potensi kebocoran	Ultrasonic thickness test dan inspeksi visual	Penggantian tube dan penggunaan material tahan korosi
Kebocoran tube heat exchanger	Korosi, thermal stress, vibrasi, atau kegagalan sambungan tube	Kontaminasi silang antar fluida proses	Pressure test dan leak test	Plugging tube atau penggantian tube
Overheating pada heat exchanger	Kegagalan temperature controller, aliran pendingin terlalu rendah	Kerusakan material alat dan degradasi produk	Pemeriksaan kontrol suhu dan monitoring temperatur	Perbaikan control system dan penyesuaian flow cooling media

## B. Hazop Analisis Unit Penukar Panas

Tabel 6. 6 Hazop Analisis Unit Penukar Panas

<b>Deviation</b>	<b>Possible Cause</b>	<b>Consequence</b>	<b>Safeguards</b>	<b>Recommendation</b>
High Fouling	Endapan kotoran, kerak garam, produk samping reaksi menempel pada tube	Penurunan efisiensi perpindahan panas, pressure drop meningkat	Monitoring $\Delta T$ dan pressure drop	Cleaning mekanik dan chemical cleaning berkala
Low Heat Transfer	Scaling akibat mineral dan garam terlarut	Konsumsi energi meningkat dan pemanasan/pendinginan tidak optimal	Temperature indicator inlet-outlet	Descaling dan pengolahan fluida utilitas

<b>Deviation</b>	<b>Possible Cause</b>	<b>Consequence</b>	<b>Safeguards</b>	<b>Recommendation</b>
Tube Corrosion	Paparan fluida korosif seperti asam format dan air panas	Penipisan material tube dan kebocoran	Ultrasonic thickness test dan inspeksi visual	Penggunaan material tahan korosi dan penggantian tube
Tube Leakage	Korosi, thermal stress, vibrasi, kegagalan sambungan tube	Kontaminasi silang antar fluida proses	Pressure test dan leak detector	Plugging tube atau penggantian tube
High Temperature	Kegagalan temperature controller, flow cooling water rendah	Kerusakan alat dan produk	Temperature controller dan alarm suhu	Perbaikan control system dan penyesuaian cooling media

## 6.4 Unit Reaksi

### A. Identifikasi Masalah

Tabel 6. 7 Identifikasi Masalah Unit Reaksi

<b>Identifikasi Masalah</b>	<b>Masalah Utama</b>	<b>Dampak</b>	<b>Pemeriksaan</b>	<b>Perbaikan</b>
Temperatur reaktor tidak stabil	Kegagalan temperature controller, sensor suhu error, cooling system tidak optimal	Reaksi tidak optimal, konversi menurun, kualitas produk tidak sesuai	Monitoring temperatur reaktor dan pengecekan control loop	Kalibrasi temperature controller dan perbaikan cooling system

<b>Identifikasi Masalah</b>	<b>Masalah Utama</b>	<b>Dampak</b>	<b>Pemeriksaan</b>	<b>Perbaikan</b>
Temperatur reaktor terlalu tinggi	Reaksi eksotermis berlebih, kegagalan pendinginan	Overpressure, runaway reaction, degradasi produk	Monitoring temperatur dan pressure indicator	Aktivasi emergency cooling system dan penyesuaian laju umpan
Temperatur reaktor terlalu rendah	Heating media kurang, heat transfer buruk	Laju reaksi menurun dan konversi rendah	Pemeriksaan temperatur inlet-outlet media pemanas	Penyesuaian heating duty dan perbaikan heat exchanger
Tekanan reaktor berlebih	Reaksi eksotermis menghasilkan akumulasi gas, valve outlet tersumbat	Risiko ledakan dan kerusakan reaktor	Monitoring pressure gauge dan alarm tekanan	Pemasangan PSV dan relief system
Tekanan reaktor terlalu rendah	Kebocoran sistem atau suplai gas CO tidak stabil	Reaksi karbonilasi tidak optimal dan konversi menurun	Pemeriksaan tekanan operasi dan jalur gas	Perbaikan kebocoran dan stabilisasi feed gas
Konversi reaksi rendah	Komposisi umpan tidak sesuai, rasio mol reaktan tidak optimum	Produk tidak sesuai spesifikasi dan yield menurun	Analisa feed dan sampling produk	Penyesuaian rasio umpan dan kondisi operasi
Konsentrasi katalis terlalu rendah	Dosis katalis NaOCH <sub>3</sub> tidak mencukupi	Laju reaksi menurun dan konversi rendah	Analisa konsentrasi katalis	Penambahan katalis sesuai kebutuhan
Flowrate umpan berlebih	Control valve gagal kontrol, flow controller error	Tekanan meningkat dan waktu tinggal berkurang	Monitoring flow control dan flow indicator	Kalibrasi dan perbaikan control valve

<b>Identifikasi Masalah</b>	<b>Masalah Utama</b>	<b>Dampak</b>	<b>Pemeriksaan</b>	<b>Perbaikan</b>
Flowrate umpan terlalu rendah	Valve tersumbat atau pompa feed bermasalah	Penurunan kapasitas produksi	Pemeriksaan flowrate dan pompa feed	Cleaning valve dan perbaikan pompa
Kegagalan agitator reaktor	Motor agitator rusak atau shaft misalignment	Campuran tidak homogen dan terbentuk hot spot	Pemeriksaan motor dan vibrasi agitator	Perbaikan atau penggantian agitator
Hot spot pada reaktor	Distribusi panas tidak merata akibat agitasi kurang baik	Kerusakan material reaktor dan runaway reaction lokal	Monitoring temperatur beberapa titik	Peningkatan sistem agitasi dan pendinginan
Kebocoran reaktor	Korosi material, gasket rusak, tekanan tinggi	Kebocoran bahan kimia berbahaya dan risiko kebakaran	Leak test dan inspeksi visual	Penggantian gasket dan perbaikan material
Fouling pada dinding reaktor	Penumpukan produk samping reaksi	Penurunan heat transfer dan volume efektif reaktor	Inspeksi internal reaktor	Cleaning berkala
Runaway reaction	Kegagalan sistem kontrol temperatur dan pendinginan	Ledakan dan kerusakan besar pada reaktor	Emergency alarm dan interlock system	Emergency shutdown dan emergency cooling system

## B. Hazop Analisis Unit Reaksi

Tabel 6. 8 Hazop Analisis Unit Reaksi

<b>Deviation</b>	<b>Possible Cause</b>	<b>Consequence</b>	<b>Safeguards</b>	<b>Recommendation</b>
High Temperature	Reaksi eksotermis berlebihan, cooling system gagal, sensor suhu error	Runaway reaction, overpressure, degradasi produk	Temperature controller dan alarm suhu	Emergency cooling system dan kalibrasi sensor

<b>Deviation</b>	<b>Possible Cause</b>	<b>Consequence</b>	<b>Safeguards</b>	<b>Recommendation</b>
Low Temperature	Heating media kurang, heat transfer buruk	Laju reaksi menurun dan konversi rendah	Temperature monitoring	Penyesuaian heating duty
High Pressure	Akumulasi gas, valve outlet tersumbat, temperatur terlalu tinggi	Risiko ledakan dan kerusakan reaktor	Pressure gauge, PSV, alarm tekanan	Relief system dan inspeksi jalur outlet
Low Pressure	Kebocoran sistem atau suplai gas CO tidak stabil	Reaksi karbonilasi tidak optimal	Pressure indicator	Perbaikan kebocoran dan stabilisasi feed gas
Low Conversion	Komposisi umpan tidak sesuai, katalis kurang, temperatur operasi rendah	Produk off-spec dan penurunan yield	Analisa feed dan sampling produk	Optimasi kondisi operasi
High Flow Rate	Control valve rusak atau gagal kontrol	Waktu tinggal berkurang dan tekanan meningkat	Flow controller dan flow indicator	Kalibrasi control valve
Low Flow Rate	Valve tersumbat atau pompa feed bermasalah	Penurunan kapasitas produksi	Flow monitoring	Cleaning valve dan perbaikan pompa
No Agitation	Motor agitator rusak atau misalignment	Campuran tidak homogen dan hot spot	Monitoring agitator	Maintenance agitator
Hot Spot Formation	Distribusi panas tidak merata	Kerusakan material reaktor dan runaway reaction lokal	Multiple temperature indicator	Perbaikan sistem agitasi
Leakage Reactor	Korosi material, gasket rusak, tekanan tinggi	Paparan bahan kimia dan risiko kebakaran	Leak detector dan inspeksi rutin	Penggantian gasket dan inspeksi material

## 6.5 Unit Pemisah

### A. Identifikasi Masalah

Tabel 6. 9 Identifikasi Masalah Unit Pemisah

Identifikasi Masalah	Masalah Utama	Dampak	Pemeriksaan	Perbaikan
Foaming pada kolom distilasi	Interaksi gas-cair berlebih, adanya impuritas surfaktan umpan	Penurunan efisiensi pemisahan, carry over cairan ke tray atas	Inspeksi visual kolom dan monitoring differential pressure	Penambahan antifoam dan pengaturan laju alir umpan
Foaming berlebih pada tray	Laju vapour terlalu tinggi dan komposisi feed tidak stabil	Flooding lokal dan penurunan kualitas produk	Monitoring tekanan kolom dan kondisi tray	Penyesuaian vapour flow dan stabilisasi feed
Entrainment	Laju uap terlalu tinggi sehingga droplet cair terbawa ke atas	Produk overhead tidak murni dan efisiensi pemisahan turun	Pemeriksaan flow vapour dan analisa produk	Penurunan flow vapour dan optimasi operasi kolom
Weeping pada tray	Laju uap terlalu rendah sehingga cairan jatuh melalui perforasi tray	Penurunan kontak gas-cair dan efisiensi transfer massa	Monitoring pressure drop dan temperatur tray	Peningkatan tekanan dan vapour flow
Flooding pada kolom	Laju vapour atau reflux terlalu tinggi	Kolom tidak stabil, pressure drop meningkat drastis	Monitoring level tray dan pressure drop	Pengurangan flow vapour dan penyesuaian reflux
Pressure drop tinggi	Sumbatan tray akibat fouling atau kerak	Gangguan operasi dan penurunan kapasitas kolom	Inspeksi tray dan monitoring differential pressure	Cleaning tray dan shutdown maintenance

<b>Identifikasi Masalah</b>	<b>Masalah Utama</b>	<b>Dampak</b>	<b>Pemeriksaan</b>	<b>Perbaikan</b>
Reflux terlalu tinggi	Kegagalan control valve	reflux peningkatkan beban reboiler	Flooding dan peningkatan beban reboiler	Monitoring reflux ratio Kalibrasi control valve
Reflux terlalu rendah	Pompa bermasalah valve tersumbat	reflux atau mencapai spesifikasi kemurnian	Produk tidak mencapai spesifikasi kemurnian	Pemeriksaan reflux pump dan flowrate Perbaikan pompa dan cleaning valve
Temperatur kolom tidak stabil	Kegagalan kontrol suhu reboiler atau condenser	Komposisi produk tidak stabil	Komposisi produk tidak stabil	Monitoring temperatur beberapa titik kolom Kalibrasi temperature controller
Kegagalan condenser	Cooling water kurang atau fouling condenser	Tekanan kolom meningkat kondensasi optimal	Tekanan kolom meningkat dan kondensasi tidak optimal	Monitoring temperatur condenser dan cooling water flow Cleaning condenser dan perbaikan cooling system
Kegagalan reboiler	Fouling atau steam supply tidak stabil	Vapour generation menurun efisiensi pemisahan turun	Vapour generation menurun dan efisiensi pemisahan turun	Monitoring steam dan temperatur reboiler Cleaning reboiler dan stabilisasi steam
Kebocoran kolom distilasi	Korosi gasket tekanan tinggi	shell, rusak, operasi kimia	Kehilangan produk paparan bahan kimia	Leak test dan inspeksi visual Penggantian gasket dan repair shell
Produk off-spec	Kondisi tidak tray tidak efektif	operasi optimum, tidak bekerja	Penurunan kualitas produk asam format	Analisa komposisi produk Optimasi reflux ratio dan temperatur operasi

## B. Hazop Analisis Unit Pemisah

Tabel 6. 10 Hazop Analisis Unit Pemisah

Deviation	Possible Cause	Consequence	Safeguards	Recommendation
Foaming	Interaksi gas-cair berlebih, adanya impuritas dalam feed	Penurunan efisiensi pemisahan dan carry over cairan	Visual inspection dan differential pressure monitoring	Penambahan antifoam dan pengaturan feed
High Vapour Flow	Vapour flow terlalu tinggi	Entrainment dan flooding	Flow controller dan pressure monitoring	Penurunan vapour flow
Entrainment	Kecepatan uap terlalu tinggi	Produk overhead tidak murni	Monitoring komposisi produk	Optimasi flow vapour
Low Vapour Flow	Steam reboiler kurang atau pemanasan tidak optimal	Weeping dan penurunan kontak gas-cair	Temperature monitoring	Penyesuaian steam flow
Weeping	Laju uap terlalu rendah	Efisiensi transfer massa menurun	Pressure drop monitoring	Peningkatan vapour flow
Flooding	Reflux terlalu tinggi atau vapour flow berlebih	Kolom tidak stabil dan pressure drop meningkat	Level indicator dan pressure monitoring	Pengurangan reflux dan vapour flow
High Pressure Drop	Fouling atau tray tersumbat	Penurunan kapasitas kolom dan gangguan operasi	Differential pressure indicator	Cleaning tray dan shutdown maintenance
High Reflux	Reflux control valve gagal	Flooding dan peningkatan beban reboiler	Reflux controller	Kalibrasi control valve
Low Reflux	Pompa reflux bermasalah atau valve tersumbat	Produk off-spec	Flow indicator reflux	Perbaiki pompa reflux

Deviation	Possible Cause	Consequence	Safeguards	Recommendation
High Column Temperature	Reboiler overheating	Degradasi produk dan tekanan meningkat	Temperature controller	Pengaturan heat duty
Low Column Temperature	Pemanasan kurang	Pemisahan tidak optimal	Temperature monitoring	Penyesuaian steam supply
Condenser Failure	Cooling water kurang atau fouling condenser	Tekanan kolom meningkat	Cooling water flow monitoring	Cleaning condenser
Reboiler Failure	Steam supply tidak stabil atau fouling	Vapour generation menurun	Steam flow monitoring	Cleaning reboiler

## 6.6 Mitigasi Risiko

Mitigasi risiko dilakukan untuk mengurangi kemungkinan kecelakaan proses serta meminimalkan dampak apabila terjadi kegagalan operasi.

Beberapa tindakan mitigasi yang diterapkan meliputi:

1. Pemasangan Pressure Safety Valve (PSV) pada tangki, reaktor, dan heat exchanger.
2. Penggunaan Emergency Shutdown System (ESD).
3. Monitoring temperatur, tekanan, flowrate, dan level secara kontinu menggunakan Distributed Control System (DCS).
4. Penyediaan emergency cooling system pada unit reaktor.
5. Penggunaan material tahan korosi pada tangki, pipa, heat exchanger, dan reaktor.
6. Kalibrasi instrumen kontrol secara berkala.
7. Pemasangan gas detector untuk karbon monoksida (CO) dan metanol.
8. Penerapan preventive maintenance dan inspeksi rutin.
9. Penyediaan secondary containment pada area penyimpanan bahan kimia.
10. Pelatihan operator mengenai keselamatan proses dan simulasi keadaan darurat.

## 6.7 Tinjauan HSE (Health, Safety, and Environment)

### A. Health (Kesehatan)

Bahaya kesehatan utama berasal dari paparan:

- Karbon monoksida (CO) yang bersifat toksik.
- Metanol yang dapat menyebabkan gangguan sistem saraf.

- Asam format yang bersifat korosif.
- Natrium metoksida yang reaktif terhadap air.

Tindakan pengendalian:

- Penggunaan APD lengkap.
- Penyediaan SCBA (Self Contained Breathing Apparatus).
- Pemasangan gas detector.
- Ventilasi area proses.
- Medical check-up berkala.

## B. Safety (Keselamatan)

Risiko keselamatan utama:

- Ledakan akibat overpressure pada reaktor.
- Kebakaran akibat kebocoran metanol.
- Runaway reaction pada reaktor karbonilasi.
- Kegagalan mekanik pada pompa dan heat exchanger.

Tindakan pengendalian:

- Emergency shutdown system.
- Pressure relief system.
- Fire protection system.
- Alarm dan interlock system.
- Inspeksi rutin seluruh peralatan proses.

## C. Environment (Lingkungan)

Potensi pencemaran lingkungan:

- Emisi gas CO dan uap metanol.
- Tumpahan asam format dan metanol.
- Limbah cair proses.

Tindakan pengendalian:

- Sistem flare untuk gas buang.
- Wastewater treatment plant (WWTP).
- Secondary containment.
- Monitoring emisi berkala.
- Pengelolaan limbah B3 sesuai regulasi.