

BAB VI

TROUBLESHOOTING

6.1 P&ID Alat Utama dan HAZOP

Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) pabrik sikloheksana kapasitas 150.000 ton/tahun ini menggambarkan secara terintegrasi aliran proses, instrumentasi, dan peralatan utama. Berdasarkan P&ID tersebut, dilakukan studi *Hazard and Operability* (HAZOP) untuk mengidentifikasi potensi penyimpangan parameter kunci seperti tekanan, suhu, laju alir, dan level cairan yang dapat menyebabkan gangguan operasi, penurunan kualitas produk, atau bahkan kecelakaan kerja. Metode HAZOP diterapkan per *node* (setiap unit alat) dengan panduan kata kunci *no, more, less, reverse, as well as*. Parameter yang dievaluasi meliputi aliran (*flow*), tekanan (*pressure*), suhu (*temperature*), dan level cairan (*level*). Hasil analisis kemudian digunakan untuk menyusun rekomendasi perbaikan sistem pengendalian dan prosedur operasi.

6.1.1 Storage Tank (T-01, T-02, T-03)

Fungsi: Menyimpan bahan baku benzene (T-01), hydrogen (T-02), dan produk sikloheksana (T-03).

Tabel 6. 1 Analisa HAZOP pada Unit Storage Tank

No	Komponen	Deskripsi	Guide Word	Deviasi	Penyebab	Konsekuensi	Safeguard	Rekomendasi
1.	T-01 (<i>Benzene Tank</i>)	Menyimpan benzena dalam bentuk cair dengan suhu 32°C dan tekanan 1 atm.	High	High Level	Gagal baca LI, katup umpan macet terbuka	Tumpahan benzena, bahaya kebakaran	Level Control (LIC)	Interlock LIC ke pompa umpan; kalibrasi sensor berkala

2.	T-02 (Hidrogen Tank)	Menyimpan benzena dalam bentuk cair dengan suhu 30°C dan tekanan 10 atm.	<i>Low</i>	<i>Low Level</i>	Kebocoran tangki, pemompaan berlebih	Pompa P-01 kering, kerusakan kavitasi	<i>Level Control (LIC)</i>	<i>Alarm low level, bypass otomatis</i>
			<i>High</i>	<i>High Pressure</i>	<i>Overpressure</i> dari suplai hidrogen	Kebocoran hidrogen, risiko ledakan	<i>Pressure Control (PIC)</i>	<i>Relief valve, alarm high pressure ke control room</i>
			<i>Low</i>	<i>Low Pressure</i>	Kebocoran jalur suplai atau valve bocor	Tekanan umpan ke reaktor turun, konversi rendah	<i>Pressure Control (PIC)</i>	<i>Portable gas detector</i> hidrogen, jadwal inspeksi kebocoran

6.1.2 Vaporizer (E-01)

Fungsi: Mengubah fase benzena cair menjadi gas sebelum masuk *gas mixer*.

Tabel 6.2 Analisa HAZOP pada Unit Vaporizer

No	Komponen	Deskripsi	Guide Word	Deviasi	Penyebab	Konsekuensi	Safeguard	Rekomendasi
1.	E-01	Memastikan agar benzene cair menjadi benzene	<i>No</i>	<i>No Flow steam</i>	Katup <i>steam</i> tertutup, boiler gagal	Benzena tidak menguap, reaktor	<i>Temperature Control (TIC)</i>	<i>Alarm low T outlet,</i>

	gas dengan menjaga suhu outputnya 131°C			kekurangan umpan	interlock ke alarm operator	
	<i>Less</i>	<i>Low Temperature outlet</i>	<i>Steam pressure turun, fouling pada tube</i>	Penguapan tidak sempurna, benzena cair masuk reaktor	<i>Temperature Control (TIC)</i>	Pembersihan shell side terjadwal, kalibrasi TIC
	<i>More</i>	<i>High Temperature outlet</i>	<i>Steam control valve gagal tutup</i>	Benzena terdekomposisi, pembentukan coke	<i>Temperature Control (TIC)</i>	<i>Redundant TIC, bypass manual</i>

6.1.3 Compressor (C-01, C-02, C-03)

Fungsi: Menaikkan tekanan gas sebelum masuk ke gas mixer.

Tabel 6.3 Analisa HAZOP pada Unit Compressor

No	Komponen	Deskripsi	Guide Word	Deviasi	Penyebab	Konsekuensi	Safeguard	Rekomendasi
1.	C-01 - C-03 (Fresh Hydrogen Compressor)	Menaikkan tekanan hydrogen dari 10 atm menjadi 20 atm	<i>No</i>	<i>No Flow</i>	Motor mati, belt putus, valve suction tertutup	Suplai hidrogen ke reaktor berhenti, reaksi terhenti	<i>Flow Control (FIC), trip system</i>	<i>Standby compressor, alarm low flow otomatis</i>
			<i>High</i>	<i>High Discharge Pressure</i>	<i>Valve discharge tersumbat,</i>	<i>Overpressure, kerusakan seal kompresor,</i>	<i>Pressure Control (PIC)</i>	<i>Pressure relief valve, pemeriksaan</i>

<i>bypass</i> gagal	kebocoran	discharge line
buka	hidrogen	rutin

6.1.4 Reactor (R-01)

Fungsi: Tempat bereaksi hidrogen dengan benzena menjadi sikloheksana dengan katalis Ni/Al₂O₃

Tabel 6.4 Analisa HAZOP pada Unit Reactor

No	Komponen	Deskripsi	Guide Word	Deviasi	Penyebab	Konsekuensi	Safeguard	Rekomendasi
1.	R-01 (Reactor)	Tempat untuk menghidrogenasi benzena	<i>No</i>	<i>No Flow</i> umpan	FIC gagal, pompa P-01/P-02 mati	Katalis <i>overheat</i> , reaksi berhenti	<i>Flow Control</i> (FIC), interlock	<i>Alarm low</i> <i>flow, standby</i> <i>pump</i>
			<i>More</i>	Suhu > 260°C	<i>Cooling</i> <i>water</i> (CT-01) gagal, TIC error	Sangat ekstoterm, deaktivasi katalis Ni/Al ₂ O ₃	<i>Temperature</i> <i>Control</i> (TIC)	<i>Interlock high</i> T langsung ke ESD, <i>backup</i> <i>cooling pump</i>
			<i>Less</i>	Suhu < 200°C	<i>Heater</i> gagal, mengeluarkan bau tidak sedap	Mengeluarkan bau tidak sedap, jika dihirup dapat membahayakan	<i>Temperature</i> <i>Control</i> (TIC)	<i>Interlock low</i> T langsung ke ESD, <i>backup</i> <i>heating pump</i>

						kesehatan manusia	
				C-02/C-03			<i>Standby</i>
	<i>Less</i>	<i>Less Pressure</i>	turun kinerja, kebocoran sistem	Konversi benzena rendah	<i>Pressure Control (PIC)</i>	<i>kompressor, alarm low pressure</i>	

6.1.5 Separator (SP-01)

Fungsi: Memisahkan gas hidrogen *excess* dan metana dari campuran produk sikloheksana cair

Tabel 6.5 Analisa HAZOP pada Unit Separator

No	Komponen	Deskripsi	Guide Word	Deviasi	Penyebab	Konsekuensi	Safeguard	Rekomendasi
1.	SP-01	Memastikan bahwa seluruh gas hidrogen dan sebagian metana berlebih terpisah	<i>Low</i>	<i>Low Pressure</i>	Kebocoran <i>flange, valve bypass</i> terbuka	Hidrogen ikut ke produk cair, efisiensi distilasi turun	<i>Pressure Control (PIC)</i>	<i>Portable gas detector</i> hidrogen, inspeksi berkala
					LIC gagal, pompa <i>bottom</i> (P-03) mati	<i>Carry over</i> cairan ke jalur recycle H ₂ , kerusakan kompresor C-03	<i>Level Control (LIC)</i>	<i>Interlock LIC</i> ke pompa <i>bottom</i> , alarm <i>high level</i>

6.1.6 Distilasi (DC-01, DC-02, RB-01, RB-02, RD-01, RD-02)

Fungsi: Memisahkan cairan berdasarkan titik didih sebelum siap di tampung di tanki produk.

Tabel 6.6 Analisa HAZOP pada Unit Distilasi

No	Komponen	Deskripsi	Guide Word	Deviasi	Penyebab	Konsekuensi	Safeguard	Rekomendasi
1.	Reboiler (RB-01, RB-02)	Menggunakan pemanasan kembali untuk menaikkan suhu	As Well As	Fouling pada shell/tube side	Impuritas dalam umpan, operasi terus menerus	Transfer panas turun, konsumsi steam naik, produktivitas turun	Scheduled cleaning	Cleaning setiap 6 bulan, monitoring U coefficient
			No	No Steam flow	Boiler gagal, steam valve tertutup	Distilasi berhenti total, produk tidak jadi	Temperature Indicator Control (TIC)	Standby boiler, alarm low temperature ke operator
2.	M-02	Menyampurkan komponen antara sikloheksana	No	No Solvent Flow	Pompa solvent mati, tangki kosong	Ekstraktif distilasi gagal, produk cyclohexane tercampur benzena	Level Control (LIC), alarm	Standby pump, alarm low level solvent

dengan benzene dan pelarut <i>sulfolane</i>							
3. DC-01	Memisahkan komponen antara sikloheksana dengan benzene dan pelarut <i>sulfolane</i>	<i>Less</i>	Rasio <i>solvent/feed</i> terlalu rendah	Kebocoran <i>solvent</i> , pompa aus	Separasi tidak optimal, produk atas mengandung benzena	<i>Flow Control (FIC)</i>	Monitoring rasio <i>online</i> , inspeksi kebocoran rutin
		<i>More</i>	<i>Bottom</i> terlalu panas dan <i>Bottom</i> terlalu dingin	<i>Reboiler overheating, steam valve</i> gagal. Kemudian <i>steam</i> kurang, RB-01 <i>fouling</i>	Degradasi <i>sulfolane, solvent</i> rusak permanen dan efisiensi ekstraksi turun, solvent tidak menguap.	<i>Temperature Control (TIC)</i>	<i>High temp interlock</i> ke <i>steam valve</i> dan <i>Cleaning</i> RB-01 setiap 6 bulan
		<i>High</i>	<i>High Liquid Level</i>	LIC gagal, pompa bottom (P-04) mati	<i>Carry over</i> ke <i>reboiler, fouling, flooding</i>	<i>Level Control (LIC)</i>	<i>Interlock</i> LIC ke pompa <i>bottom, alarm high level</i>

3.	<i>Reflux Drum</i> (RD-01, RD-02)	Penampung sementara cairan hasil kondensasi dari kondensor sebelum di pompa balik ke kolom distilasi	<i>Low</i>	<i>Low Liquid Level</i>	Pompa P-04 terlalu cepat, kebocoran	Pompa kavitasi, aliran ke DC-02 terganggu	<i>Level Control (LIC)</i>	<i>Bypass otomatis, alarm low level</i>
			<i>Low</i>	<i>Low Level</i>	Kebocoran, pompa <i>reflux</i> (P-05) terlalu cepat, <i>valve drain</i> terbuka	Pompa P-05 kavitasi, aliran <i>reflux</i> terhenti, kolom terganggu, produk atas tidak murni	<i>Level Control (LIC)</i>	<i>Bypass otomatis, alarm low level, standby pump P-05</i>
			<i>As well As</i>	Kontaminasi benzena di produk sikloheksan	Rasio <i>solvent/feed</i> tidak tepat, <i>flooding</i> di DC-01	Produk <i>cyclohexane</i> off spec, perlu <i>rework</i> , penurunan pendapatan	Lab analisis rutin, <i>monitoring</i> suhu puncak kolom	<i>Online GC monitoring</i> untuk <i>cyclohexane purity</i> , optimasi rasio <i>solvent/feed</i> secara berkala

6.2 Kesimpulan HAZOP

Setelah melakukan analisis HAZOP secara menyeluruh pada unit distilasi terbaru yang mencakup *extractive column* (DC-01), *solvent recovery column* (DC-02), *mixer* M-02, dua unit *reboiler* dan kondensor, serta dua *reflux drum*, kami menemukan beberapa temuan penting yang perlu menjadi perhatian utama. Risiko paling kritis ditemukan pada unit *extractive column* DC-01, terutama terkait potensi kegagalan aliran *solvent sulfolane*. Jika *solvent* tidak mengalir, proses ekstraktif distilasi gagal total karena secara prinsip, pemisahan *cyclohexane* dari benzena yang memiliki titik didih sangat berdekatan hanya bisa terjadi dengan bantuan *solvent*. Akibatnya, produk atas tidak akan murni dan seluruh proses produksi menjadi tidak efektif. Selain itu, risiko *overpressure*, *flooding*, serta *carry over* cairan ke *reboiler* juga cukup tinggi mengingat kolom ini beroperasi pada tekanan atmosferis namun dengan beban komponen yang kompleks. Oleh karena itu, kami sangat merekomendasikan pemasangan *flow control* dan *level control* yang saling *terinterlock*, penyediaan pompa *standby* untuk *solvent* dan umpan, serta pelatihan operator untuk merespon alarm *low flow* dan *high level* dengan cepat.

Risiko berikutnya yang tidak kalah penting adalah potensi degradasi *solvent sulfolane* di *reboiler* RB-01 maupun RB-02. *Sulfolane* dikenal sensitif terhadap suhu tinggi. Jika suhu *bottom* melebihi batas operasi yang diizinkan, *solvent* dapat terdegradasi secara permanen, yang berarti tidak bisa dipakai lagi untuk ekstraksi. Biaya penggantian *solvent* ini sangat mahal dan akan membengkakkan biaya operasional pabrik. Untuk mengantisipasinya, kami menyarankan pemasangan *high temperature interlock* pada kedua *reboiler* yang langsung memotong aliran *steam* jika suhu melebihi batas aman, serta monitoring kualitas *solvent* secara rutin di laboratorium. Selain itu, pada unit *solvent recovery column* DC-02 yang beroperasi pada tekanan 14 atm, risiko kebocoran gas benzena bertekanan tinggi juga perlu diwaspadai. Benzena adalah senyawa beracun dan mudah terbakar, sehingga kebocoran sekecil apa pun di area yang berventilasi buruk bisa berakibat fatal. Kami merekomendasikan *portable gas detector* benzena di sekitar DC-02 dan RD-02, inspeksi kebocoran rutin dengan *soap test*, serta *testing pressure safety valve* secara berkala setiap tahun. Unit kondensor E-06 dan E-07, risiko kegagalan aliran *cooling water* atau penurunan kinerja *cooling tower* dapat menyebabkan kondensasi tidak sempurna, yang berakibat pada hilangnya produk *cyclohexane* atau benzena melalui *vent gas*, serta berpotensi menyebabkan *overpressure* pada *reflux drum*. Solusi yang kami tawarkan meliputi penyediaan *backup cooling pump*, *scheduled filter cleaning* pada sistem *cooling water*, serta pemasangan alarm *low flow cooling water*.

Terakhir, terkait dengan *fouling* pada kedua *reboiler* (RB-01 dan RB-02), meskipun dampaknya tidak separah *thermal runaway*, namun *fouling* yang dibiarkan terus-menerus akan

menurunkan efisiensi perpindahan panas, meningkatkan konsumsi *steam*, dan pada akhirnya membengkakkan biaya produksi. Jadwal pembersihan setiap enam bulan serta monitoring koefisien perpindahan panas secara berkala adalah langkah preventif yang sangat dianjurkan.