

BAB VI

TROUBLESHOOTING

6.1 *Troubleshooting*

Dalam perancangan suatu pabrik kimia, termasuk pabrik epiklorohidrin, keandalan operasi tidak hanya ditentukan oleh ketepatan perhitungan neraca massa, neraca panas, dan spesifikasi alat, tetapi juga oleh kesiapan dalam mengantisipasi berbagai penyimpangan yang mungkin terjadi selama proses produksi berlangsung. Selama pabrik beroperasi, kondisi operasi seperti suhu, tekanan, laju alir, maupun komposisi bahan pada kenyataannya tidak selalu berjalan sesuai dengan kondisi desain yang telah ditetapkan. Penyimpangan tersebut, apabila tidak segera diidentifikasi dan ditangani, berpotensi menurunkan kinerja peralatan, menurunkan kualitas produk, bahkan menimbulkan bahaya bagi keselamatan tenaga kerja, lingkungan, maupun aset perusahaan. Oleh karena itu, diperlukan suatu kajian troubleshooting yang disusun secara sistematis sejak tahap perancangan.

Troubleshooting dapat didefinisikan sebagai suatu proses identifikasi, analisis, dan penyelesaian masalah yang timbul akibat adanya penyimpangan (deviasi) dari kondisi operasi normal pada suatu alat atau sistem proses. Melalui troubleshooting, potensi gangguan pada peralatan proses dapat dikenali lebih awal, sehingga penyebab (*cause*), akibat (*consequences*), serta langkah pengamanan (*safeguard*) dan tindakan perbaikan (*recommendation*) yang diperlukan dapat dipersiapkan sebelum gangguan tersebut benar-benar terjadi di lapangan. Dengan demikian, *troubleshooting* berperan penting dalam menjaga kontinuitas proses produksi, mengoptimalkan umur pakai peralatan, meminimalkan potensi kerugian ekonomi akibat downtime, serta yang terpenting, menjamin keselamatan kerja dan kelestarian lingkungan di sekitar area pabrik.

Terdapat beberapa metode analisis risiko dan troubleshooting yang umum digunakan dalam industri proses, di antaranya adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Fault Tree Analysis* (FTA), *What-If Analysis*, serta *Hazard and Operability Study* (HAZOP). Pada perancangan pabrik epichlorohydrin ini, metode yang dipilih adalah *Hazard and Operability Study* (HAZOP), mengingat metode ini bersifat sistematis, terstruktur, dan menyeluruh dalam mengidentifikasi potensi bahaya (*hazard*) sekaligus permasalahan operabilitas (*operability*) pada setiap unit proses. HAZOP juga bersifat multidisiplin karena melibatkan tinjauan dari berbagai

aspek teknis, sehingga mampu menghasilkan kajian risiko yang lebih komprehensif dibandingkan metode analisis tunggal lainnya.

Prinsip dasar HAZOP adalah mengevaluasi setiap parameter proses (seperti aliran, tekanan, suhu, level, dan komposisi) pada masing-masing unit dengan menerapkan kata kunci panduan (*guide words*), misalnya *no*, *more*, *less*, *reverse*, dan *other than*, terhadap kondisi operasi normal yang telah dirancang. Setiap kemungkinan penyimpangan (*deviation*) yang diperoleh dari kombinasi guide word tersebut kemudian ditelusuri lebih lanjut untuk menentukan penyebab (*cause*) yang mungkin memicu terjadinya deviasi, dampak atau konsekuensi (*consequences*) yang ditimbulkan terhadap proses maupun keselamatan, sistem pengaman (*safeguard*) yang telah tersedia pada rancangan alat, serta rekomendasi (*recommendation*) tambahan yang diperlukan untuk menurunkan tingkat risiko hingga ke level yang dapat diterima.

6.2 Unit Penyimpanan

Tangki penyimpanan berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan baku maupun produk sebelum diproses atau didistribusikan ke unit berikutnya. Penyimpangan kondisi operasi dapat menyebabkan kehilangan bahan, penurunan kualitas produk, hingga membahayakan keselamatan pekerja. Oleh karena itu, dilakukan analisis troubleshooting menggunakan metode HAZOP.

Tabel 6.1 *Troubleshooting* pada Unit Penyimpanan

No.	Komponen	Parameter	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguard</i>	<i>Recommendation</i>
1.	TK ECH	<i>High Pressure</i>	Tekanan dalam tangki melebihi tekanan operasi	Kenaikan temperatur lingkungan	Terjadi penguapan ECH ke lingkungan <i>Overpressure</i> yang dapat menyebabkan kerusakan tangki	Pemasangan <i>pressure indicator</i> dengan <i>High Pressure Alarm</i> (PAH)	Pasang <i>insulation</i> pada tangki dan lakukan <i>monitoring</i> temperatur
2.	TK ECH	<i>High Level</i>	Level cairan melebihi kapasitas operasi	<i>Level transmitter</i> gagal membaca level <i>Control valve inlet</i> gagal menutup	<i>Overflow</i> ECH sehingga terjadi tumpahan bahan kimia Produk meluap dan meningkatkan risiko kebakaran	Pemasangan <i>High Level Alarm</i> (LAH)	Kalibrasi <i>level transmitter</i> secara berkala Pasang <i>automatic inlet shut-off valve</i> yang terhubung dengan LAH

No.	Komponen	Parameter	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation
3.	TK HCl	High Pressure	Tekanan tangki melebihi tekanan operasi	Temperatur penyimpanan meningkat	Laju penguapan HCl meningkat, menyebabkan pelepasan gas HCl Overpressure, merusak tangki penyimpanan	Pemasangan TIC dan PRV	Hindari paparan panas langsung dan lakukan <i>monitoring</i> temperatur tangki Lakukan uji fungsi PRV secara sesuai jadwal <i>preventive maintenance</i>
4.	TK HCl	Leakage	Terjadi kebocoran pada tangki atau sambungan pipa	Korosi pada dinding tangki Gasket flange mengalami kerusakan	HCl tumpah menyebabkan korosi peralatan dan pencemaran lingkungan Kehilangan bahan baku dan peningkatan risiko kecelakaan kerja	Pemasangan <i>gas detector</i> HCl Inspeksi rutin sambungan <i>flange</i>	Jadwalkan penggantian <i>gasket</i> sesuai umur pakai Perketat prosedur pemasangan <i>flange</i> dan lakukan uji kebocoran (<i>leak test</i>) setelah <i>maintenance</i>

6.3 Unit Pemindah

Pompa berfungsi untuk memindahkan fluida dari satu unit proses ke unit lainnya dengan laju alir dan tekanan yang sesuai dengan kondisi operasi. Mengingat sebagian besar aliran proses bersifat korosif, gangguan pada pompa dapat menyebabkan terganggunya kontinuitas proses, sehingga diperlukan identifikasi potensi penyimpangan menggunakan metode HAZOP.

Tabel 6.2 *Troubleshooting* pada Unit Pemindah

No.	Komponen	Parameter	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguard</i>	<i>Recommendation</i>
1.	Pompa	<i>No Flow</i>	Tidak ada aliran keluar pompa meski motor menyala	<i>Diaphragm</i> pecah/robek	Proses hilir kehilangan umpan	Pemasangan <i>Low Flow Alarm</i> (FAL) pada jalur <i>discharge</i>	Pasang <i>interlock low flow trip</i>
				<i>Check valve</i> <i>suction/discharge</i> macet tertutup	<i>Overheating</i> motor	Pemasangan <i>pressure switch low</i> yang dapat menghentikan motor	Jadwalkan penggantian <i>diaphragm</i> sesuai umur pakai
				<i>Strainer</i> tersumbat			
2.	Pompa	<i>More Flow</i>	Tekanan melebihi desain akibat <i>dead-head</i>	<i>Valve downstream</i> tertutup tidak sengaja	Kerusakan <i>diaphragm</i> akibat tekanan berlebih	<i>Pressure relief valve</i> (PRV) pada jalur <i>discharge</i>	Pasang <i>bypass line</i> dengan PRV yang mengarah

No.	Komponen	Parameter	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation
					Kebocoran fluida ke lingkungan sekitar pompa	<i>Pressure gauge</i> dengan alarm tekanan tinggi	kembali ke tangki <i>suction</i>
3.	Pompa	<i>Reverse Flow</i>	Aliran balik dari <i>discharge</i> menuju <i>suction</i> saat pompa berhenti	Kegagalan <i>check valve</i> pada <i>discharge line</i>	Kontaminasi silang dan tekanan balik yang merusak <i>diaphragm</i> serta <i>seal</i>	Pemasangan <i>check valve</i> ganda pada jalur <i>discharge</i>	Lakukan pengujian fungsi <i>check valve</i> secara berkala (<i>preventive maintenance</i>)
4.	Pompa	Kebocoran <i>Seal</i>	Getaran berlebih atau rembesan fluida pada <i>packing/diaphragm housing</i>	Keausan <i>diaphragm</i> akibat siklus tekanan berulang (<i>fatigue</i>) Pemasangan baut <i>casing</i> kurang kencang	Paparan fluida korosif terhadap operator Kerusakan lanjutan pada motor penggerak	Pemasnagan <i>diaphragm</i> ganda dengan sensor kebocoran di ruang antara	Lakukan pemeriksaan visual dan uji tekanan <i>diaphragm</i> setiap periode <i>shutdown</i> terjadwal

6.4 Unit Penukar Panas

Unit penukar panas berfungsi untuk menaikkan maupun menurunkan temperatur fluida sebelum memasuki tahapan proses berikutnya. Penyimpangan temperatur maupun laju alir utilitas dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas dan memengaruhi kualitas proses, sehingga diperlukan analisis troubleshooting menggunakan metode HAZOP.

Tabel 6.3 *Troubleshooting* pada Unit Penukar Panas

No.	Komponen	Parameter	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguard</i>	<i>Recommendation</i>
1.	<i>Heat Exchanger</i>	<i>More Temperature</i>	Suhu keluar annulus melebihi suhu desain	<i>Steam control valve</i> macet Kesalahan pembacaan TIC	Dekomposisi termal bahan menjadi produk samping yang tidak diinginkan	Pemasangan TAH dan <i>Temperature Control Valve</i> (TCV) pada jalur <i>steam</i>	Pasang <i>interlock</i> penutupan otomatis <i>steam valve</i> saat suhu melewati batas <i>set point</i>
2.	<i>Heat Exchanger</i>	<i>Low Temperature</i>	Suhu keluar annulus lebih rendah dari target	Pasokan <i>steam</i> tidak mencukupi <i>Fouling</i> pada permukaan pipa	Reaksi pada tahap berikutnya tidak berjalan optimal	<i>Steam trap</i> dan <i>pressure regulator</i> pada suplai <i>steam</i>	Lakukan pembersihan berkala untuk menjaga <i>dirt factor</i> (Rd)
3.	<i>Heat Exchanger</i>	<i>No Flow</i>	Aliran proses pada sisi annulus terhenti	Pompa <i>upstream</i> berhenti/ <i>trip</i>	Terjadi <i>overheating</i> lokal pada pipa (<i>hot spot</i>), berpotensi	Pemasangan <i>interlock</i> otomatis	Pasang <i>flow transmitter</i> pada sisi annulus

No.	Komponen	Parameter	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation
				Penyumbatan jalur pipa proses	merusak dinding pipa	penutupan <i>steam valve</i>	terhubung ke <i>emergency shutdown (ESD) steam</i>
4.	<i>Heat Exchanger</i>	<i>More Pressure</i>	Tekanan <i>steam</i> melebihi batas desain pipa	Kegagalan <i>pressure reducing valve (PRV)</i> pada <i>header steam</i>	Kebocoran/pecahnya sambungan <i>hairpin</i> Paparan uap panas terhadap pekerja	Pemasangan PRV pada <i>header steam</i> Pemasangan <i>pressure gauge</i> dengan alarm tekanan tinggi	Uji fungsi PRV secara berkala sesuai jadwal kalibrasi instrumen

6.5 Unit Reaksi

Reaktor utama pada prarancangan pabrik epiklorohidrin ini merupakan *Semi-Batch Stirred Tank Reactor* tempat berlangsungnya reaksi hidroklorinasi gliserol dengan gas HCl membentuk 1,3-dikloro-2-propanol (DCH) pada konversi 99,94%. Karena melibatkan reaksi kimia pada kondisi temperatur dan tekanan tertentu, setiap penyimpangan parameter operasi dapat memengaruhi konversi reaksi maupun keselamatan proses. Oleh karena itu dilakukan analisis HAZOP sebagai langkah mitigasi risiko.

Tabel 6.4 *Troubleshooting* pada Unit Reaksi

No.	Komponen	Parameter	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation
1.	Reaktor	<i>More Temperature</i>	Suhu reaksi melebihi <i>set point</i>	Kegagalan sistem pendingin jaket Laju umpan HCl melebihi kapasitas serap panas jaket	Reaksi berjalan tak terkendali <i>Risiko thermal degradation</i> produk	Pemasangan TIC pada jaket <i>Interlock</i> untuk penghentian umpan HCl otomatis	Uji fungsi TIC secara berkala Pasang <i>emergency cooling</i> cadangan
2.	Reaktor	<i>More Pressure</i>	Tekanan reaktor melebihi desain	Gas HCl tidak terserap sempurna <i>Vent</i> menuju D-01 tersumbat	Kebocoran <i>gasket/seal</i> pengaduk Risiko pelepasan gas HCl toksik ke lingkungan	Pemasangan <i>Pressure Relief Valve</i> (PRV) menuju sistem <i>scrubber</i>	Pasang <i>interlock valve</i> umpan HCl saat PAH aktif Periksa kondisi <i>vent line</i> menuju D-01 secara berkala
3.	Reaktor	<i>More Flow</i>	Laju alir HCl masuk >10% <i>excess</i>	Kegagalan <i>flow control valve</i> (FCV) pada jalur HCl	Pembentukan produk samping	FIC dengan <i>ratio control</i> terhadap laju gliserol	Kalibrasi <i>flow meter</i> HCl setiap periode <i>shutdown</i>

No.	Komponen	Parameter	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation
				Kesalahan kalibrasi <i>flow meter</i>	Korosi lebih cepat pada <i>glass lining</i> yang retak		Terapkan <i>cascade control</i> FIC-TIC untuk menjaga rasio umpan
4.	Reaktor	<i>Less Agitator</i>	Agitator berhenti atau kecepatan menurun drastis	Motor pengaduk <i>trip</i> /rusak Kopling <i>shaft</i> aus Kegagalan bantalan (<i>bearing</i>)	Gas HCl tidak terdispersi merata Potensi <i>local hot spot</i> akibat reaksi tidak merata	<i>Motor current monitor</i> dan <i>vibration sensor</i> pada <i>shaft</i> pengaduk	Jadwalkan pemeriksaan <i>bearing</i> dan kopling secara berkala

6.6 Unit Pemisah

Unit distilasi dan distilasi reaktif berfungsi memisahkan komponen berdasarkan perbedaan volatilitas sekaligus menyelesaikan reaksi yang masih berlangsung pada kolom distilasi reaktif. Gangguan pada temperatur, tekanan, refluks, maupun reboiler dapat menyebabkan penurunan kemurnian produk serta gangguan operasi, sehingga dilakukan analisis troubleshooting menggunakan metode HAZOP.

Tabel 6.5 *Troubleshooting* pada Unit Pemisah

No.	Komponen	Parameter	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguard</i>	<i>Recommendation</i>
1.	Distilasi (D-01)	<i>More Pressure</i>	Tekanan kolom naik mendekati tekanan atmosferik	Kebocoran udara masuk melalui <i>flange/seal packing</i>	<i>T bubble</i> dan <i>T dew</i> meningkat sehingga pemisahan tidak sempurna	<i>Vacuum gauge</i> dengan alarm tekanan tinggi Inspeksi kebocoran (<i>leak test</i>) berkala	Lakukan uji kebocoran pada sambungan kolom setiap <i>turnaround</i>
				Kegagalan <i>vacuum pump</i>			
2.	Distilasi (D-01)	<i>More Temperature</i>	Suhu reboiler melebihi <i>T bubble</i>	<i>Steam control valve</i> macet	Peningkatan <i>entrainment</i> komponen berat ke produk atas	Pemasangan TAH pada <i>reboiler</i>	Pasang <i>interlock</i> penutupan steam saat TAH aktif;
				TIC reboiler gagal berfungsi	Kerusakan <i>packing</i> akibat <i>hot spot</i>	<i>Steam control valve</i> dengan <i>fail-close</i>	Kalibrasi TIC <i>reboiler</i> secara berkala
3.	Distilasi (D-01)	<i>No Refluks</i>	Aliran <i>refluks</i> menurun/terhenti	Pompa <i>refluks trip</i>	Efisiensi pemisahan menurun drastis		Pemasnagan <i>standby pump</i>

No.	Komponen	Parameter	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation
				Control valve refluks macet		Pemasangan FIC pada jalur refluks	Jadwalkan <i>preventive</i> <i>maintenance</i>
4.	Reaktif (RD-01)	Distilasi <i>Fouling</i>	Penurunan efisiensi pemisahan akibat kerak garam (NaCl)	Terbentuk ndapan NaCl pada RD-01	Peningkatan <i>pressure drop</i> kolom, <i>flooding</i> , penurunan kemurnian produk epiklorohidrin	Pemantauan <i>pressure drop</i> kolom secara <i>kontinu</i>	Jadwalkan pencucian (<i>chemical</i> <i>cleaning</i>) atau pembongkaran <i>packing</i> secara berkala

6.7 Unit Pencampuran

Unit pencampuran digunakan untuk memperoleh campuran yang homogen sebelum memasuki unit reaksi. Static inline mixer memanfaatkan elemen pencampur di dalam pipa tanpa bagian yang bergerak, sedangkan stirred tank menggunakan impeller sebagai pengaduk mekanis. Penyimpangan laju alir maupun kinerja pengaduk dapat mengakibatkan pencampuran tidak sempurna sehingga perlu dilakukan analisis troubleshooting menggunakan metode HAZOP.

Tabel 6.6 Troublreshooting pada Unit Pencampuran

No.	Komponen	Parameter	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation
1.	<i>Static Inline Mixer</i>	<i>No Flow</i>	Salah satu aliran masuk <i>mixer</i> terhenti	Pompa umpan/ <i>recycle trip</i>	Campuran tidak homogen	<i>Flow Alarm Low</i> (FAL)	Pasang <i>flow transmitter</i> independen pada tiap jalur inlet
				<i>Control valve</i> pada salah satu jalur tertutup penuh	Penurunan konversi hilir	pada masing-masing jalur inlet mixer	<i>Interlock</i> otomatis untuk <i>shutdown</i> proses hilir saat salah satu aliran hilang
2.	<i>Static Inline Mixer</i>	<i>More Pressure</i>	<i>Pressure drop</i> melampaui nilai desain	Elemen mixer tersumbat kerak/partikel padat	Potensi kavitasi pompa	Pemasangan <i>differential pressure indicator</i> (DPI)	Bersihkan elemen mixer secara berkala
				Viskositas cairan meningkat	Penurunan laju alir aktual	pada mixer	Pantau tren <i>pressure drop</i> untuk mendeteksi <i>fouling</i>
3.	<i>Stirred Tank</i>	<i>Less Agitator</i>	Agitator berhenti/melambat saat pelarutan	Motor <i>trip</i> atau kegagalan <i>bearing</i> poros pengaduk	Pelarutan NaOH tidak sempurna	Pemasangan <i>motor current monitor</i> pada agitator	Lakukan <i>preventive maintenance</i> rutin pada motor dan <i>bearing</i> pengaduk

No.	Komponen	Parameter	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguard</i>	<i>Recommendation</i>
			NaOH berlangsung		Rasio reaksi hidrolisis menyimpang	Pemeriksaan visual larutan sebelum dialirkan	
4.	<i>Stirred Tank</i>	<i>More Concentration</i>	Konsentrasi larutan NaOH melebihi rancangan akibat kesalahan dosis padatan/air	Kesalahan operator saat pengisian NaOH padat atau air pelarut Kegagalan <i>level control</i> air pengisi	Lautan bersifat korosif dan reaktif sehingga panas pelarutannya meningkat drastis	Prosedur <i>loading</i> NaOH terstandarisasi (SOP) APD wajib (sarung tangan dan pelindung wajah) saat pengisian	Terapkan <i>automatic dosing system</i> untuk NaOH padat dan air pelarut Pasang <i>density/conductivity meter</i> untuk verifikasi konsentrasi larutan