

BAB VI

TROUBLESHOOTING

Troubleshooting adalah suatu proses mengidentifikasi, merencanakan dan menyelesaikan masalah, kesalahan atau resiko bahaya kerusakan pada suatu sistem. Tujuan dari troubleshooting ini adalah untuk menjaga sistem dalam kondisi yang diinginkan, khususnya ketika menemui atau menunjukkan masalah, biasanya langkah awal yaitu melibatkan pengidentifikasian masalah yang diikuti dengan mencari solusi untuk mengatasi masalah dan kemudian mengimplementasikan solusi itu. Dan ada beberapa langkah dalam menyelesaikan *troubleshooting* ini sebagai berikut:

- a. Mengumpulkan informasi tentang masalah yang ada dan kemungkinan masalah
- b. Mengeliminasi atau menghilangkan komponen yang tidak perlu pada sistem dan memverifikasi bahwa masalah dapat berlanjut atau tidak, untuk mengesampingkan ketidakcocokan dan penyebab lain yang dapat muncul
- c. Memeriksa penyebab umumnya
- d. Setelah menemukan penyebab masalah selanjutnya mencari solusi atau metode untuk mengatasi atau berjaga-jaga jika suatu masalah terjadi.

Didalam pabrik styrene monomer ini terdapat beberapa alat yang digunakan untuk produksi dan dimana terdapat beberapa kemungkinan bahaya atau troubleshooting yang akan terjadi sebagai berikut:

1. Tangki Penyimpanan *Ethylbenzene*

Tangki penyimpanan *ethylbenzene* merupakan salah satu unit kritis dalam pabrik *styrene monomer* karena *ethylbenzene* merupakan bahan baku utama yang mudah terbakar (*flammable*) dan mudah menguap. *Ethylbenzene* memiliki titik nyala (*flash point*) sekitar 15°C dengan batas mudah terbakar (LEL-UEL) di kisaran 0,8–6,7% di udara, sehingga uap EB yang terakumulasi di sekitar tangki berpotensi membentuk campuran mudah terbakar dan meledak. Identifikasi bahaya pada tangki perlu dilakukan secara menyeluruh untuk mencegah kerugian material dan menjaga keselamatan pekerja. Penentuan skor pada analisis ini didasarkan pada artikel Haq dkk. (2021). Tabel 6.1 menyajikan analisis *troubleshooting* pada tangki penyimpanan *ethylbenzene*.

Tabel 6. 1 *Troubleshooting* Tangki Penyimpanan *Ethylbenzene*

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
1	Dinding Tangki	Kebocoran pada dinding atau sambungan tangki	Tumpahan EB ke lingkungan; risiko kebakaran karena suhu operasi (30°C) di atas flash point EB (15°C); paparan uap beracun bagi pekerja	8	Korosi pada dinding tangki akibat kontak jangka panjang dengan ethylbenzene	4	Inspeksi visual rutin oleh operator; pemantauan level cairan melalui LIC	5	160	Inspeksi ketebalan dinding tangki secara berkala; perbaikan atau pengelasan ulang pada bagian yang retak; aplikasi coating anti-korosi pada dinding dalam tangki
					Pengelasan yang buruk pada sambungan tangki	3		4	96	
					Retak akibat fatigue material (beban siklus berulang)	3		6	144	
2	Sistem Level (LIC)	Overfilling tangki (level melebihi)	Luapan EB ke luar tangki; risiko kebakaran dan	8	Kegagalan LIC (Level Indicator Controller)	3	LIC terpasang untuk memantau dan mengendalikan	4	96	Kalibrasi LIC secara berkala; setting alarm high level pada LIC;

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
3	Sistem Ventilasi Tangki	kapasitas maksimum)	pencemaran lingkungan di area pabrik		memberikan sinyal akurat		level; FIC mengontrol laju aliran masuk tangki			operator wajib melakukan pengecekan visual rutin; tutup FIC inlet secara manual jika LIC mendekati batas atas
					Operator tidak memantau level secara berkala	4		5	160	
					Flash point EB (~15°C) lebih rendah dari suhu operasi tangki (30°C) sehingga uap EB selalu terbentuk	7	Pemantauan kondisi vent tangki secara visual; prosedur K3 wajib APD di area tangki	6	378	Pastikan ventilasi area tangki memadai; pekerja wajib menggunakan APD lengkap; siapkan APAR di sekitar area tangki; lakukan pemeriksaan rutin kondisi vent dan manhole tangki
		Akumulasi uap EB di area sekitar tangki	Pembentukan campuran uap-udara mudah terbakar; risiko kebakaran dan ledakan; paparan inhalasi bagi pekerja	9	Ventilasi area tangki tidak memadai sehingga uap terakumulasi	4		5	180	
4		Kegagalan valve pada	Aliran EB tidak terkontrol;	7	Keausan mekanis pada	4	FIC (Flow Indicator	4	112	Preventive maintenance

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
	Valve Inlet/Outlet (FIC)	jalur inlet atau outlet tangki	potensi overfilling atau kekurangan pasokan EB ke proses		valve akibat operasi jangka panjang		Controller) memantau dan mengendalikan laju aliran; inspeksi valve oleh operator secara rutin			valve secara terjadwal; kalibrasi FIC secara berkala; siapkan valve manual sebagai backup jika valve otomatis gagal
					Korosi pada stem valve	3		5	105	
					Sinyal FIC tidak terbaca dengan benar akibat gangguan instrumen	3		4	84	
5	Dinding/Atap Tangki	Kenaikan suhu isi tangki melebihi kondisi normal	Peningkatan tekanan uap EB di dalam tangki; laju penguapan EB meningkat; risiko tekanan berlebih	7	Paparan panas matahari langsung pada siang hari (kondisi tropis, suhu ambient hingga 35°C)	6	Pemantauan suhu tangki secara visual oleh operator; tangki dirancang beroperasi pada suhu 30°C dan 1 atm	3	126	Gunakan cat pemantul panas (reflective coating) pada permukaan tangki; pantau suhu tangki secara berkala; pastikan PSV tangki dalam kondisi baik
					Kegagalan atau degradasi	3		5	105	

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
					insulasi dinding tangki					untuk membuang tekanan berlebih

2. Pompa Sentrifugasi

Pompa sentrifugal digunakan untuk mengalirkan *ethylbenzene* dari tangki penyimpanan menuju unit proses serta untuk sirkulasi fluida antar unit operasi. Gangguan pada pompa dapat menyebabkan terganggunya pasokan bahan baku atau produk sehingga menurunkan efisiensi produksi. Beberapa masalah kritis pada pompa yang perlu mendapat perhatian antara lain kavitasi, penurunan *flowrate*, serta kebocoran pada *mechanical seal*. Kavitasi terjadi ketika tekanan lokal di dalam pompa turun di bawah tekanan uap fluida sehingga terbentuk gelembung uap yang runtuh secara tiba-tiba dan menyebabkan erosi pada impeler. Pemasangan *vibration monitor*, *flow indicator*, dan sistem *shut-down* otomatis sangat dianjurkan untuk melindungi pompa dari kerusakan prematur. Penentuan skor pada analisis ini didasarkan pada artikel Haq dkk. (2021). Tabel 6.2 menyajikan analisis *troubleshooting* pompa sentrifugal.

Tabel 6. 2 *Troubleshooting* Pompa Sentrifugal

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
1	Impeler & Casing Pompa	Kavitasi	Kebisingan dan getaran berlebih; erosi impeler dan	8	NPSHa lebih rendah dari NPSHr akibat head loss pipa	4	FIC di discharge memantau laju aliran; LIC di	5	160	Periksa dan perbesar diameter pipa suction; naikan liquid

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
2	Impeler & Strainer	Penurunan flowrate / kapasitas pompa	casing; penurunan efisiensi dan kapasitas aliran yang terbaca pada FIC di discharge pompa	7	suction yang besar	3	T-101 memantau ketersediaan fluida di tangki suction	5	120	level di tangki suction melalui LIC T-101; pasang pompa lebih dekat ke sumber fluida; pastikan suction valve terbuka penuh sebelum start
					Suhu fluida mendekati titik didihnya sehingga tekanan uap meningkat					
					Tekanan di sisi suction terlalu rendah					
						4		4	128	
					Pasokan fluida ke proses berkurang; FIC di discharge pompa menunjukkan nilai di bawah set point; gangguan pada unit downstream	5	FIC di discharge memantau flowrate; FC mengatur bukaan valve untuk menjaga laju aliran sesuai set point	3	105	Bersihkan suction strainer secara rutin; periksa dan ganti impeler yang aus; cek putaran motor dan tegangan listrik; sesuaikan bukaan FC untuk menjaga flowrate; alihkan ke pompa
					Impeler aus atau terkorosi	4		5	140	
					Clearance impeler-casing terlalu besar akibat keausan	3		6	126	

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
					Kecepatan motor turun akibat masalah elektrikal	3		4	84	cadangan jika tidak teratasi
3	Mechanical Seal	Kebocoran pada seal pompa	Cairan bocor ke lingkungan; risiko kebakaran karena fluida yang dipompa mudah terbakar (EB); penurunan efisiensi pompa	8	Kerusakan mechanical seal akibat dry-running (pompa beroperasi tanpa fluida)	3	FIC discharge memantau flowrate; LIC tangki suction memantau ketersediaan fluida untuk mencegah dry-run	5	120	Pastikan pompa tidak beroperasi dalam kondisi dry-run; cek kondisi seal secara berkala dan ganti sesuai jadwal PM; monitor FIC discharge untuk mendeteksi penurunan flowrate akibat kebocoran internal
					Overpressure pada sisi discharge pompa	3		4	96	
					Umur pakai seal sudah habis	4		4	128	
					Vibrasi berlebih mempercepat keausan seal	4		5	160	

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
4	Rotor & Bearing	Vibrasi dan kebisingan berlebih	Kerusakan bearing dan seal secara progresif; umur pompa berkurang; potensi kebocoran seal akibat vibrasi berlebih	6	Unbalance massa rotor	4	Inspeksi visual dan pendengaran oleh operator saat patrol rutin; FIC memantau anomali flowrate	4	96	Lakukan dynamic balancing pada rotor secara berkala; alignment poros pompa-motor menggunakan dial indicator; ganti bearing sesuai jadwal PM; selesaikan masalah kavitasi terlebih dahulu jika vibrasi disebabkan kavitasi
					Misalignment poros pompa dengan motor	4		3	72	
					Kerusakan bearing akibat kurangnya pelumasan	4		4	96	
					Kavitasi yang tidak tertangani	3		4	72	
5	Motor & Sistem Kontrol	Pompa tidak dapat start / trip saat operasi	Proses terhenti; pasokan fluida ke unit downstream terputus; downtime produksi	7	Motor overload akibat fluida terlalu kental	3	FIC memantau kondisi aliran; operator wajib cek posisi valve sebelum start sesuai SOP	3	63	Cek posisi suction dan discharge valve sebelum start; periksa panel kontrol motor dan setting overload relay;
					Gangguan pada sistem kontrol pompa	3		4	84	

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
					Suction valve dalam posisi tertutup saat start	3		2	42	pastikan FIC dalam kondisi siap sebelum pompa dijalankan; sediakan pompa cadangan yang dapat dioperasikan secara manual
					Tegangan listrik tidak stabil	3		3	63	

3. Heat Exchanger

Alat penukar panas atau *heat exchanger* (HE) adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas antara dua fluida yang berbeda suhu melalui sebuah penghantar media panas dengan mengkondisikan alatnya sebaik mungkin, agar tidak mengalami kesalahan dalam proses pemindahan suhu, karena jika terjadi kesalahan dalam pemindahan akan berakibat pada hasil akhir pemanasan. *Heat exchanger* juga bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai adalah air yang dipanaskan sebagai fluida panas dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). *Heat Exchanger* dapat berfungsi sebagai *heater*, *cooler*, *condenser*, *reboiler*, maupun *chiller*. Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (*direct contact*). Beberapa masalah pada *heat exchanger* adalah naiknya *pressure drop* didalam HE, Menurunnya *output* HE (menurunnya kapasitas), kebocoran, tercampurnya media, pendinginan tidak merata diseluruh bagian HE. Penentuan skor pada analisis ini didasarkan pada artikel Haq dkk. (2021). Tabel 6.3 menyajikan analisis *troubleshooting heat exchanger*.

Tabel 6. 3 *Troubleshooting Heat Exchanger*

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
1	Tube / Shell HE	Kenaikan pressure drop di dalam HE	Energi pompa meningkat; efisiensi perpindahan panas menurun; TIC outlet menunjukkan suhu yang tidak tercapai sesuai set point	6	Fouling atau penyumbatan pada sisi shell atau tube akibat endapan deposit dan scale	5	TIC outlet memantau suhu keluaran HE; FC mengatur laju aliran fluida utilitas (steam/cooling water)	4	120	Lakukan chemical cleaning atau back-flushing secara berkala; pasang strainer pada inlet HE; verifikasi laju aliran sesuai desain; sesuaikan suhu operasi melalui TIC
					Viskositas fluida terlalu tinggi dari kondisi desain	3		4	72	
					Laju aliran melebihi kapasitas desain HE	3		3	54	
2	Permukaan Transfer Panas	Penurunan kapasitas perpindahan panas	Suhu outlet fluida proses tidak mencapai set point TIC;	7	Fouling pada permukaan tube / plate (thermal fouling)	5	TIC outlet memantau dan mengendalikan suhu keluaran; FC mengatur laju	4	140	Bersihkan tube atau plate secara mekanis atau kimiawi; pasang vent valve di titik

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
			umpan reaktor tidak mencapai suhu yang diperlukan; kualitas proses terganggu		Akumulasi non-condensable gas di sisi shell	3	aliran fluida pemanas atau pendingin	5	105	tertinggi HE untuk membuang gas terlarut; sesuaikan flowrate melalui FC; monitor TIC outlet secara kontinu sebagai indikator kinerja HE
					Laju aliran fluida terlalu rendah dari desain	3		3	63	
					Penurunan luas permukaan transfer panas akibat korosi	3		5	105	
3	Tube & Gasket HE	Kebocoran pada HE (tube leak atau gasket bocor)	Pencampuran dua fluida yang seharusnya terpisah; kontaminasi umpan proses; anomali suhu terdeteksi	8	Korosi sumuran (pitting corrosion) pada tube	3	TIC inlet dan outlet memantau anomali suhu; FIC memantau laju aliran untuk mendeteksi kehilangan fluida	5	120	Monitor TIC inlet dan outlet secara berkala untuk mendeteksi anomali suhu; ganti tube atau gasket yang rusak saat shutdown; hindari water
					Kerusakan gasket akibat thermal	3		5	120	

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
			melalui perubahan TIC dan FIC		cycling berulang					hammer dengan membuka atau menutup valve secara perlahan; lakukan hydraulic pressure test secara berkala
					Tekanan operasi melebihi rating desain HE	2		4	64	
					Water hammer akibat penutupan valve yang terlalu cepat	3		5	120	
4	Distributor & Tube Bundle	Distribusi fluida tidak merata (maldistribution)	Hot spot pada bagian tertentu HE; perpindahan panas tidak efisien; TIC outlet menunjukkan fluktuasi suhu yang tidak stabil	6	Penyumbatan parsial pada beberapa tube	4	TIC outlet memantau fluktuasi suhu keluaran sebagai indikasi maldistribution	5	120	Inspeksi tube secara menyeluruh saat planned shutdown; lakukan bundle cleaning menyeluruh; monitor TIC outlet untuk mendeteksi fluktuasi suhu
					Desain distributor yang tidak optimal	2		6	72	
					Korosi parsial menyebabkan	3		5	90	

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
					blockage lokal pada tube					yang mengindikasikan maldistribution
5	Tube / Plate HE	Tercampurnya media (cross-contamination)	Kontaminasi produk atau umpan proses; potensi reaksi kimia yang tidak diinginkan; kegagalan proses	9	Retak atau pecahnya tube akibat korosi atau thermal fatigue	2	TIC inlet dan outlet dimonitor untuk mendeteksi anomali suhu yang dapat mengindikasikan pencampuran fluida	5	90	Kalibrasi sensor TIC secara berkala; sesuaikan laju aliran fluida pemanas atau pendingin melalui FC; lakukan hydraulic pressure test setelah setiap maintenance untuk memastikan integritas tube
					Plate tidak terpasang dengan benar saat maintenance	2		4	72	

4. Menara Distilasi

Alat industri proses yang digunakan untuk memisahkan suatu campuran *liquid* atau *vapour* yang mengandung dua atau lebih komponen zat menjadi beberapa komponen berdasarkan perbedaan volatilitas (kemudahan menguap) dari masing-masing komponen tersebut. Risiko utama untuk unit distilasi adalah pelepasan atau campuran produk. Risikonya meningkat jika produk itu panas (pada titik didihnya), uap panas beracun, tetapi

ancaman yang jauh lebih besar adalah pengapian, yang bisa menyebabkan ledakan tipe *deflagration* dan api. Resiko potensial tambahan di pabrik adalah tekanan berlebih, yang dapat menyebabkan ledakan pecahnya kolom. Ancaman utama dari pabrik adalah kerugian modal dan produksi jika terjadi kebakaran. Unit produksi yang berdekatan dapat rusak. Ada kemungkinan merugikan operator pabrik, jika kebakaran berikutnya, harus terjadi saat operator berada dilapangan. Resiko bahaya yang paling mungkin untuk terjadi ini adalah pada saat operator dekat dengan kolom distilasi ketika operator berada tepat di bawah unit distilasi, ada risiko bahwa operator dapat terciprat produk panas. Penentuan skor pada analisis ini didasarkan pada artikel Haq dkk. (2021). Tabel 6.4 menyajikan analisis *troubleshooting* menara distilasi.

Tabel 6. 4 *Troubleshooting* Menara Distilasi

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
1	Tray Kolom Distilasi	Flooding (banjir kolom)	Cairan terbawa bersama uap ke atas kolom (liquid entrainment); kemurnian produk atas menurun; PIC menunjukkan kenaikan tekanan yang signifikan	8	Laju uap melebihi kapasitas desain tray sehingga terjadi entrainment berlebih	4	PIC memantau tekanan operasi kolom; LIC memantau level sump dan reflux drum (AC-301/AC-302); TIC memantau suhu kondenser dan reboiler	4	128	Turunkan reboiler duty secara bertahap; kurangi feed rate yang dikontrol melalui FIC; monitor PIC kolom untuk deteksi dini flooding; tambahkan antifoam agent jika penyebabnya foaming
					Laju cairan melebihi kapasitas downcomer (downcomer backup)	4		4	128	

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
					Foaming pada cairan di tray yang meningkatkan apparent liquid holdup	3		5	120	
2	Tray Kolom Distilasi	Weeping / dumping (fluida jatuh melalui lubang tray)	Efisiensi tray menurun; cairan bypass tray tanpa kontak cukup dengan uap; kemurnian produk bawah menurun; TIC reboiler menunjukkan suhu terlalu rendah	7	Laju uap terlalu rendah sehingga tidak mampu menahan cairan di atas tray	4	TIC reboiler memantau suhu dan mengendalikan duty; LIC sump kolom memantau level cairan di dasar kolom	5	140	Naikkan reboiler duty secara bertahap dan monitor melalui TIC; pastikan LIC sump kolom terjaga pada level yang memadai; review kondisi operasi jika masalah berulang pada kondisi operasi normal
					Reboiler duty terlalu rendah dari set point TIC	4		3	84	
3	Sistem Pemisahan Kolom	Penurunan kemurnian	Produk styrene tidak memenuhi	8	Reflux ratio terlalu rendah dari nilai desain	4	TIC condenser dan reboiler memantau suhu	4	128	Naikkan reflux ratio; cek dan sesuaikan

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
		produk (off-spec product)	spesifikasi kemurnian yang ditetapkan; kerugian ekonomi; produk harus di-recycle ke dalam proses		Perubahan komposisi umpan yang tidak terpantau	4	operasi; LIC reflux drum (AC-301/AC-302) memantau level; PIC memantau tekanan kolom	5	160	komposisi feed; pastikan TIC condenser dan reboiler bekerja pada set point yang benar; pastikan LIC reflux drum terjaga stabil; lakukan inspeksi tray saat shutdown jika masalah berulang
					Flooding atau weeping yang mengganggu efisiensi pemisahan	3		4	96	
					Fouling pada tray yang menurunkan efisiensi kontak uap-cair	3		5	120	
4	Sistem Tekanan Kolom	Lonjakan tekanan (pressure surge) dalam kolom	Risiko keretakan nozzle atau manhole kolom; PIC menunjukkan kenaikan tekanan mendadak;	9	Masuknya fluida dingin secara tiba-tiba ke kolom yang panas (thermal shock)	3	PIC memantau tekanan operasi kolom; PSV (Pressure Safety Valve) terpasang sebagai pengaman	4	108	Hindari perubahan operasi yang mendadak; gunakan slow-opening valve; monitor PIC secara kontinu; pastikan PSV dalam kondisi
					Kegagalan sistem kondenser	3		4	108	

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
			aktivasi PSV jika tekanan melebihi MAWP		sehingga uap tidak terkondensasi		tekanan berlebih sesuai MAWP			baik dan terkalibrasi sesuai MAWP kolom; turunkan reboiler duty jika PIC menunjukkan tekanan mendekati batas atas
					Penutupan valve discharge secara mendadak	3		3	81	
5	Tray / Packing Kolom	Fouling dan polimerisasi styrene pada tray	Penurunan efisiensi tray; pressure drop kolom meningkat yang terdeteksi melalui PIC; kolom harus dihentikan untuk dibersihkan	7	Styrene berpolimerisasi pada suhu tinggi jika konsentrasi inhibitor habis atau tidak mencukupi	4	TIC memantau suhu operasi kolom; PIC memantau tekanan sebagai indikasi kenaikan pressure drop akibat fouling	5	140	Injeksikan inhibitor polimerisasi (TBC) secara kontinu dan pantau konsentrasinya; monitor PIC kolom untuk mendeteksi kenaikan pressure drop sebagai indikasi fouling; jadwalkan pembersihan tray
					Akumulasi deposit organik dari komponen umpan	3		5	105	

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
										secara berkala pada saat planned shutdown
6	Reboiler (RE-301 / RE-302)	Kegagalan reboiler	Kolom kekurangan panas; laju penguapan turun; TIC reboiler menunjukkan suhu yang turun signifikan; pemisahan komponen tidak optimal	8	Fouling berlebih pada sisi tube reboiler menurunkan koefisien perpindahan panas	4	LIC sump kolom memantau dan mengendalikan level cairan di dasar kolom; TIC reboiler memantau suhu operasi reboiler	4	128	Monitor LIC sump kolom dan jaga level pada set point yang aman; periksa pasokan dan tekanan steam; bersihkan reboiler secara terjadwal; jika LIC menunjukkan level terlalu rendah segera kurangi reboiler duty untuk mencegah dry boiling
					Kegagalan pasokan steam ke reboiler	3		3	72	
					Level cairan di sump kolom terlalu rendah (dry boiling) akibat kegagalan LIC	3		4	96	

5. Reaktor

Reaktor adalah alat proses tempat berlangsungnya reaksi kimia utama, yaitu reaksi dehidrogenasi *ethylbenzene* menjadi *styrene monomer* yang bersifat endotermis dan reversibel. Reaktor beroperasi pada suhu tinggi dan tekanan rendah dengan menggunakan katalis *shell 105*. Permasalahan yang paling sering terjadi pada reaktor adalah deaktivasi katalis, terbentuknya *hot spot*, serta kenaikan *pressure drop* yang mengganggu aliran umpan. Penentuan skor pada analisis ini didasarkan pada artikel Haq dkk. (2021). Tabel 6.5 menyajikan analisis *troubleshooting* reaktor.

Tabel 6. 5 *Troubleshooting* Reaktor

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
1	Bed Katalis (R-201)	Deaktivasi katalis	Konversi reaksi dehidrogenasi menurun; kemurnian styrene yang dihasilkan turun; diperlukan regenerasi atau penggantian katalis	8	Pembentukan coke pada permukaan katalis akibat suhu reaktor terlalu rendah dari set point TIC	4	TIC memantau dan mengendalikan suhu inlet dan outlet reaktor; FIC memantau laju aliran umpan ke reaktor	5	160	Monitor dan kendalikan suhu inlet reaktor menggunakan TIC; pastikan umpan EB memenuhi spesifikasi bebas kontaminan; lakukan regenerasi katalis dengan steam pada interval yang ditentukan;
					Racun katalis (sulfur, nitrogen, atau logam) dalam umpan EB	3		5	120	

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
					Sintering katalis akibat suhu reaktor sangat tinggi melebihi batas aman TIC	2		5	80	program penggantian katalis sesuai rekomendasi vendor
2	Bed Katalis (R-201)	Hot spot (titik panas lokal) dalam reaktor	Sintering katalis di area hot spot; penurunan selektivitas produk; kerusakan dinding reaktor secara lokal	8	Distribusi aliran feed tidak merata melalui bed katalis; TIC di titik tertentu jauh di atas rata-rata	3	TIC multi-point terpasang di berbagai posisi aksial reaktor untuk memantau distribusi suhu; FIC memantau laju aliran umpan	5	120	Pasang multi-point TIC di berbagai posisi aksial reaktor untuk mendeteksi hot spot secara dini; kurangi feed rate melalui FIC jika hot spot terdeteksi; pastikan distribusi feed merata masuk ke bed katalis
					Aktivitas katalis tidak seragam akibat pengisian yang tidak merata	3		6	144	
3			Throughput reaktor menurun;	7	Akumulasi scale atau fines katalis yang	4	PI (Pressure Indicator) memantau	4	112	Monitor PI reaktor secara kontinu untuk

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
	Bed Katalis & Casing Reaktor	Kenaikan pressure drop reaktor	distribusi aliran terganggu; FIC menunjukkan penurunan flowrate umpan		menyumbat bed secara progresif		tekanan operasi reaktor; FIC memantau laju aliran umpan sebagai indikasi tidak langsung pressure drop			mendeteksi kenaikan pressure drop; bersihkan bed katalis atau ganti katalis yang sudah hancur saat planned shutdown; gunakan guard bed di upstream untuk menangkap kontaminan dari umpan
					Partikel katalis yang hancur (attrition) dan menyumbat celah antar partikel	4		4	112	
					Korosi pada internal reaktor menghasilkan debris yang menyumbat bed	2		5	70	
4	Sistem Pemanas Reaktor	Penurunan suhu reaktor	Konversi reaksi menurun; produk off-spec; katalis dapat mengalami coking lebih cepat akibat	7	Kegagalan furnace F-201 yang memasok panas ke feed reaktor	3	TIC memantau suhu inlet dan outlet reaktor; FIC memantau laju aliran umpan masuk reaktor	3	63	Monitor TIC inlet reaktor secara ketat; periksa dan stabilkan operasi furnace F-201; cek komposisi feed; naikan suhu feed secara bertahap melalui
					Perubahan komposisi feed menjadi lebih	3		5	105	

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
5	Sistem Reaktor (R-201)	Kenaikan suhu reaktor berlebih (menuju thermal runaway)	Kerusakan katalis permanen; kerusakan struktural reaktor; PSV-01 teraktivasi; risiko ledakan jika tidak segera ditangani	10	suhu yang terlalu rendah					kontrol furnace dalam batas aman yang diizinkan
					Laju feed berkurang sehingga heat duty tidak mencukupi; terdeteksi oleh FIC	3		3	63	
5	Sistem Reaktor (R-201)	Kenaikan suhu reaktor berlebih (menuju thermal runaway)	Kerusakan katalis permanen; kerusakan struktural reaktor; PSV-01 teraktivasi; risiko ledakan jika tidak segera ditangani	10	Feed mengandung banyak kotoran yang bereaksi secara eksotermik di dalam reaktor	2	TIC memantau suhu inlet dan outlet reaktor secara kontinu; PSV-01 terpasang sebagai pengaman tekanan berlebih akibat kenaikan suhu; FIC memantau laju aliran umpan	5	100	Monitor TIC inlet dan outlet reaktor secara kontinu; kurangi feed secara bertahap melalui FIC jika TIC menunjukkan suhu mendekati batas atas; stabilkan operasi furnace F-201; jika suhu tidak terkendali aktifkan prosedur emergency
					Operasi furnace F-201 tidak stabil sehingga suhu inlet reaktor naik	2		4	80	

No.	Komponen	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Causes	OCC	Current Process Controls	DET	RPN	Action Recommended
					melebihi set point TIC					shutdown dan biarkan PSV-01 membuang tekanan berlebih