

BAB VI

TROUBLESHOOTING

Troubleshooting adalah proses untuk mengidentifikasi penyebab masalah guna meminimalkan risiko dan kerugian. Proses ini perlu memahami kondisi normal sebagai dasar, serta mencatat tren data peralatan atau sistem. *Troubleshooting* menjadi semacam *predictive maintenance* setelah kegagalan terjadi (Wini Rossa Dewi, 2019). Di industri kimia, risiko tinggi muncul dari bahan yang diolah, disimpan, dan ditangani, ditambah dengan potensi kecelakaan yang lebih besar dibandingkan pabrik kimia yang berdiri sendiri. Kedekatan instalasi dan tangki penyimpanan memicu risiko *domino* yang lebih tinggi. Untuk mengurangi risiko, industri menerapkan QRA (*Quantitative Risk Analysis*) sebagai upaya mencegah kerugian bisnis, hukum, dan reputasi akibat kecelakaan kerja atau bencana industri (Rifai et al., 2021)

Quantitative Risk Analysis (QRA) adalah metode untuk mengidentifikasi dan menilai faktor risiko yang bisa menghambat pencapaian tujuan proyek atau target tertentu. Teknik ini juga membantu merumuskan langkah pencegahan dan mitigasi. Tujuan utamanya adalah mengurangi risiko di pabrik yang menangani bahan berbahaya. Salah satu metode yang sering dipakai di industri adalah HAZOP (*Hazard and Operability Analysis*), yang menilai potensi bahaya dengan mengidentifikasi deviasi dari kondisi normal. Analisis ini memastikan bahwa setiap penyimpangan proses tidak mengarah pada kejadian yang tak diinginkan (Sabrina, 2018). Selain analisis bahaya, diperlukan manajemen risiko untuk meminimalkan kerugian jika bahaya (Zulfiana & Musyafa', 2013)

Alasan penggunaan metode HAZOP karena metode ini terstruktur dan sistematis, sehingga menghasilkan analisis yang menyeluruh. Menurut Prakoso (2016), langkah-langkah HAZOP meliputi:

- a) Mengumpulkan informasi lengkap tentang proses di suatu plant.
- b) Memecah sistem menjadi subsistem yang lebih kecil sesuai kebutuhan.
- c) Menganalisis potensi penyimpangan dalam subsistem dengan bantuan kata kunci (*guide words*).
- d) Mengidentifikasi kemungkinan penyebab penyimpangan tersebut.

- e) Menentukan langkah-langkah proteksi yang sesuai untuk setiap penyimpangan yang ditemukan.

6.1 Analisa HAZOP di Tahap Penyimpanan Bahan Baku dan Penyimpanan Produk

Dalam desain proyek pabrik ini, bahan baku utama adalah sodium karbonat (Na_2CO_3) dalam bentuk padat dan karbon dioksida (CO_2) dalam bentuk gas. Bahan baku sodium karbonat disimpan dalam tangki penyimpanan (T-110) dan diumpukan ke dalam proses melalui *conveyor* dan *bucket elevator*. Sementara itu, CO_2 disimpan dalam tangki (T-140) sebelum disalurkan ke reaktor (R-210). Proses ini menghasilkan produk sodium bikarbonat (NaHCO_3) yang selanjutnya disimpan dalam *silo* (S-321). Analisa HAZOP tahap ini dirangkum dalam Tabel 6.1 berikut.

Tabel 6. 1 Analisa HAZOP di Tahap Penyimpanan Bahan Baku dan Penyimpanan Produk

Equipment/Unit: Tahap penyimpanan bahan baku dan produk							
Intention: Menyimpan bahan baku dan produk dalam tangki penyimpanan							
Component	Description	Guide Word	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation
Tangki Penyimpanan Bahan Baku (T-110)	T-110 berfungsi untuk menyimpan Na_2CO_3 padat sebelum proses pelarutan	None	Feed flow tidak ada	Conveyor atau bucket elevator mengalami kerusakan atau mati mendadak sehingga umpan padat terhenti	Proses pelarutan tidak bisa berjalan sehingga produksi sodium bikarbonat terhenti	Pemantauan kondisi conveyor dan bucket elevator secara berkala, pemasangan level indikator di tangki	Lakukan perawatan preventif dan inspeksi rutin pada sistem transportasi padatan agar tetap berfungsi
				Kesalahan pengaturan laju feed atau	Tangki bisa mengalami overflow, terjadi	Sistem flow control dilengkapi dengan alarm overflow,	Tambahkan flowmeter dan alarm overflow

		gangguan pada sistem kontrol <i>conveyor</i>	debu berlebih, dan risiko tumpahan padatan ke area sekitar	indikator level tangki	agar operator bisa segera mengatasi kondisi berlebih
<i>Less of</i>	<i>Feed flow</i> rendah	<i>Conveyor</i> macet atau jalur padat tersumbat	Suplai padatan ke proses pelarutan tidak stabil sehingga produksi menjadi tidak optimal	<i>Monitoring conveyor</i> secara berkala, level indicator untuk memantau isi tangki	Periksa sistem <i>conveyor</i> secara teratur dan lakukan pembersihan jika ada potensi sumbatan
<i>More than</i>	Impuritas	Bahan baku dari supplier tidak sesuai spesifikasi atau tercampur kotoran	Kualitas produk menurun, risiko kontaminasi dalam proses karbonasi di reaktor	<i>Quality control</i> bahan baku melalui sampling dan analisis laboratorium	Pastikan <i>supplier</i> menyediakan bahan baku sesuai spesifikasi, lakukan audit secara rutin
<i>Other than</i>	<i>Power outage</i>	Pemadaman listrik secara tiba-tiba atau kegagalan suplai listrik	<i>Conveyor</i> dan <i>bucket elevator</i> berhenti bekerja sehingga suplai padatan terganggu	<i>Backup power</i> (genset) untuk alat transportasi padatan dan UPS	Pasang genset untuk sistem transportasi padatan dan UPS

						untuk kontrol instrumen	pada panel kontrol kritikal
Tangki Penyimpanan CO ₂ (T-140)	T-140 menyimpan CO ₂ yang digunakan dalam reaktor.	<i>None</i>	<i>Feed flow</i> tidak ada	Valve tersumbat, tekanan terlalu rendah, atau pipeline terputus	Suplai gas CO ₂ ke reaktor (R-210) terhenti sehingga proses karbonasi terganggu	Sistem kontrol tekanan dan level dilengkapi dengan alarm	Periksa valve dan jalur pipeline secara rutin, pastikan tekanan mencukupi
		<i>More of</i>	<i>Feed flow</i> berlebihan	Malfungsi katup kontrol atau kesalahan pengaturan <i>flow rate</i>	Tekanan di reaktor bisa naik drastis, risiko <i>overpressure</i> pada <i>equipment downstream</i>	Sistem kontrol flow dan <i>pressure relief valve</i> (PRV)	Pasang <i>flowmeter</i> dan alarm, lakukan inspeksi PRV secara berkala
		<i>Less of</i>	<i>Feed flow</i> rendah	Katup kontrol tersumbat atau malfungsi, <i>pipeline</i> bocor	Produksi sodium bikarbonat terganggu karena suplai CO ₂ tidak stabil	<i>Flow control system</i> dan indikator tekanan	Periksa katup kontrol, pipeline, dan pastikan tidak ada kebocoran
		<i>Other than</i>	<i>Power outage</i>	Genset atau UPS tidak tersedia	Suplai CO ₂ terhenti sehingga proses karbonasi terhenti	<i>Backup power</i> (genset) untuk	Pasang genset dan UPS untuk sistem

kompresor dan
sistem kontrol

kritikal agar proses
tetap berjalan

6.2 Analisa HAZOP di Tahap Preparasi Bahan Baku

Pada tahap preparasi, sodium karbonat dari tangki penyimpanan (T-110) ditransfer menggunakan *belt conveyor* (J-111) dan *bucket elevator* (J-112) ke bin (D-113), lalu dilarutkan dalam pelarut (M-120) menggunakan pompa (P-121). Sementara itu, gas CO₂ dari tangki penyimpanan (T-140) dialirkan melewati *expander* (G-141) dan *heater* (E-142) sebelum masuk ke reaktor karbonasi (R-210) untuk bereaksi dengan larutan sodium karbonat. Analisa HAZOP tahap ini dirangkum dalam Tabel 6.2 berikut.

Tabel 6. 2 Analisa HAZOP di Tahap Preparasi Bahan Baku

Equipment/Unit: Tahap Preparasi Bahan Baku							
Intention: Mengubah kondisi bahan baku secara fisik agar sesuai dengan kondisi yang diinginkan (<i>pre-treatment</i>)							
Component	Description	Guide Word	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation
<i>Belt Conveyor & Elevator</i> (J-111 & J-112)	J-111 & J-112 berfungsi untuk memindahkan bahan baku secara kontinu ke tahap berikutnya.	<i>Flow</i>	Tidak ada aliran	<i>Motor conveyor</i> rusak, sabuk putus, atau kemacetan material	Transportasi bahan terhenti, menyebabkan keterlambatan produksi.	Pemeriksaan rutin, sensor getaran	Pemeriksaan rutin, sensor getaran, dan prosedur perawatan preventif.

Tangki Pelarut (M-120)	Tangki untuk melarutkan Na ₂ CO ₃ agar siap diproses lebih lanjut.	M-120	Konsentrasi	Tidak homogen	<i>Mixer</i> tidak bekerja, agitator rusak	tidak homogen, tidak optimal	Larutan tidak optimal	Indikator kecepatan mixer, alarm kegagalan agitator	Perawatan dan pemantauan performa agitator	<i>mixer</i>
Pompa (P-121)	P-121 untuk memompa larutan ke reaktor untuk proses reaksi.	untuk	<i>Flow</i>	Aliran terlalu cepat	<i>Valve</i> terbuka penuh, pompa berlebih	Tekanan berlebih di reaktor, potensi <i>overpressure</i>	<i>Flow meter</i> , potensi <i>pressure relief valve</i> di R-210	Kontrol otomatis aliran dengan <i>flow control loop</i>		
<i>Expander</i> (G-141)	<i>Expander</i> berfungsi untuk menurunkan tekanan gas CO ₂ sebelum masuk ke proses.	G-141	Tekanan	Tekanan terlalu rendah	Over-ekspansi, kontrol tekanan gagal	Laju alir CO ₂ ke reaktor menurun, reaksi terganggu	<i>Pressure sensor</i> , valve kontrol tekanan	Periksa sistem kontrol tekanan CO ₂ dan rutin kalibrasi sensor		
			Tekanan	Tekanan terlalu tinggi	<i>Valve</i> tersumbat atau tertutup, ekspansi gagal	Potensi <i>overpressure</i> di jalur CO ₂	<i>Pressure relief valve</i>	Sistem alarm tekanan tinggi		

<i>Heater</i> (E-142)	<i>Heater</i> berfungsi untuk memanaskan gas CO ₂ sesuai suhu proses.	E-142	Suhu	Suhu terlalu tinggi	Sensor suhu rusak, kontrol gagal, <i>overheat</i>	Risiko degradasi CO ₂ atau bahaya kebakaran	<i>Thermostat, temperature interlock</i>	Inspeksi berkala sistem pemanas dan kontrol otomatis
			Suhu	Suhu terlalu rendah	<i>Heater</i> tidak bekerja, suplai energi terputus	CO ₂ tidak cukup aktif untuk reaksi, reaksi tidak efisien	<i>Temperature indicator, alarm suhu rendah</i>	Pemeliharaan sistem pemanas, backup <i>heater</i> jika diperlukan

6.3 Analisa HAZOP di Tahap Reaksi

Reaksi dalam desain proyek pabrik ini terjadi dalam Reaktor (R-210) yang berjenis *bubble column*. Reaksi ini adalah reaksi pembentukan *sodium bicarbonate* (NaHCO₃). Analisa HAZOP dalam tahap ini ditabulasikan dalam Tabel 6.3 berikut.

Tabel 6. 3 Analisa HAZOP di Tahap Reaksi

Equipment/Unit: Tahap terjadinya reaksi								
Intention: Reaksi pembentukan sodium bikarbonat dalam reaktor								
<i>Component</i>	<i>Description</i>	<i>Guide Word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguard</i>	<i>Recommendation</i>	
Reaktor (R – 210)	R – 210 berfungsi untuk mereaksikan	<i>No</i>	<i>Flow</i>	<i>Valve</i> tertutup, pompa mati, <i>heater</i> rusak	Tidak terjadi reaksi	Alarm, tekanan, <i>flowmeter</i>	Jadwal <i>maintenance</i> rutin	

larutan Na_2CO_3											
yang berasal dari <i>mixer</i> dengan gas CO_2 menghasilkan NaHCO_3	<i>More</i>	<i>Pressure</i>	Reaksi terkendali, injeksi berlebihan	tak CO_2	Potensi atau bocor	ledakan	<i>Pressure valve</i> (PRV)	<i>relief</i>	Tambahkan kontrol otomatis		
	<i>Less</i>	<i>Temperature</i>	<i>Heater supply</i> gagal, <i>steam</i> tidak stabil	Reaksi optimal	tidak	<i>Thermocouple alarm</i>	+	Periksa pemanas	sistem		
	<i>Wrong</i>	<i>Composition</i>	Salah <i>feed</i> dari tangki atau <i>dosing error</i>	Reaksi kualitas jelek	gagal, produk	QC sebelum reaktor	<i>Interlock system</i>	<i>feed</i>			

6.4 Analisa HAZOP di Tahap Separasi dan Purifikasi Produk

Tahap ini bertujuan untuk memisahkan dan memurnikan produk sodium bikarbonat dari komponen hasil reaksi agar diperoleh kemurnian sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Produk hasil reaktor (R – 210) diumpankan ke RDVF (H – 310) untuk memisahkan *mother liquor* dalam produk. Hasil H – 310 yang masih mengandung sedikit *mother liquor* akan dikeringkan lagi di dalam *rotary dryer* (H – 320). Analisa HAZOP dalam tahap ini ditabulasikan dalam Tabel 6.4 berikut.

Tabel 6. 4 Analisa HAZOP di Tahap Separasi dan Purifikasi Produk

Equipment/Unit: Tahap Separasi dan Purifikasi Produk									
Intention: Memisahkan dan memurnikan produk <i>sodium bicarbonate</i> dari komponen hasil reaksi agar diperoleh kemurnian yang sesuai dengan spesifikasi									
Component	Description	Guide Word	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation		
Rotary Drum Vacuum Filter (H – 310)	H – 310 berfungsi untuk memisahkan kristal sodium bikarbonat yang terbentuk dengan <i>mother liquor</i> -nya	No	Vacuum	Pompa vakum mati, kebocoran, filter kotor	Filtrasi produk basah	Sensor vakum, alarm tekanan	Maintenance rutin & pengecekan seal		
		No	Drum Rotation	Motor rusak, transmisi putus	Proses berhenti, <i>slurry</i> menumpuk	Alarm kecepatan, sistem <i>shutdown</i> otomatis	Periksa motor & <i>gearbox</i> rutin		
		Less	Slurry Flow	Motor rusak, transmisi putus		Flowmeter, <i>control</i>	level <i>Interlock</i> saat aliran tidak cukup		

							Operasi tidak efisien, keausan drum			
<i>Rotary Dryer</i> (H – 320)	H – 320 berfungsi untuk mengurangi kadar air produk NaHCO ₃	<i>More</i>	<i>Temperature</i>	<i>Heater</i> over, kontrol suhu gagal	Produk terbakar, risiko kebakaran	<i>Thermocouple, temperature controller</i>	Alarm suhu tinggi & auto cut-off			
		<i>No</i>	<i>Solid Flow</i>	<i>Screw hopper</i> macet, tersumbat	<i>Dryer</i> kosong, boros energi	<i>Level sensor, interlock feed system</i>	<i>Maintenance feeder</i>			
		<i>Less</i>	<i>Drum Rotation</i>	Motor lemah, sabuk lepas	Pengeringan tidak merata	Alarm kecepatan drum	Jadwal perawatan mekanik			
<i>Cyclone</i> (S – 321)	S – 321 berfungsi untuk mengembalikan produk yang <i>carry over</i> oleh keluaran udara pengering	<i>More</i>	<i>Gas Pressure</i>	Outlet tersumbat, <i>exhaust</i> tertutup	Potensi kerusakan struktur, <i>backflow</i> ke <i>dryer</i>	<i>Relief valve, pressure monitor</i>	Jadwal pembersihan sistem gas buang			
		<i>Less</i>	<i>Solid separation</i>	Aliran gas lambat, desain	Partikel halus terbuang ke udara	<i>Secondary filter, dust collector</i>	Evaluasi desain <i>cyclone</i>			

			<i>cyclone</i>	tidak			
			tepat				
	<i>More</i>	<i>Gas</i>			Kerusakan <i>ducting</i>	<i>Temperature</i>	Tambahkan
		<i>Temperature</i>	Proses		<i>downstream</i>	<i>monitoring</i>	pendingin atau <i>heat</i>
			pengeringan				<i>sink</i>
			berlebih				
