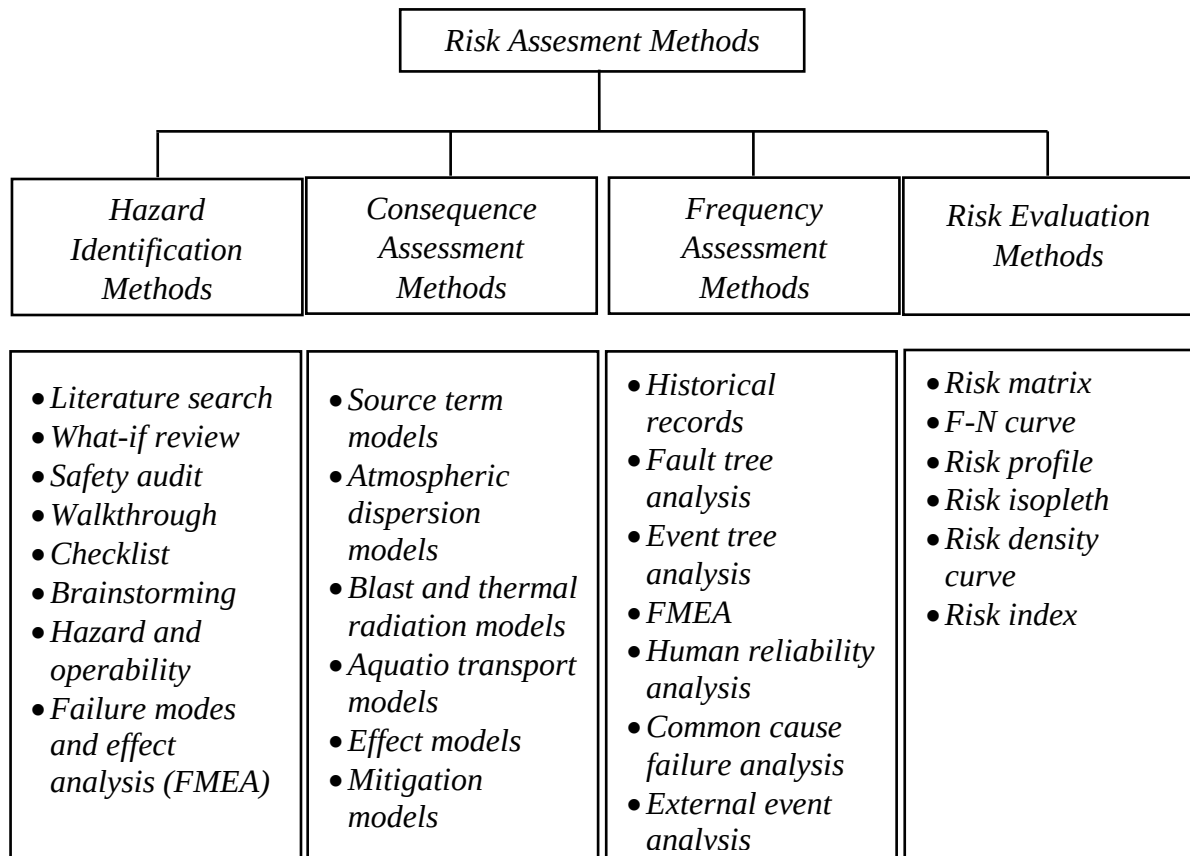


BAB VI

TROUBLESHOOTING

Industri kimia memiliki tingkat potensi bahaya yang tinggi, seperti risiko kebakaran, ledakan, paparan gas beracun, serta gabungan dari bahaya-bahaya tersebut yang bahkan bisa menyebabkan korban jiwa dan kerugian besar (Arjuna et al., 2022). Kedekatan instalasi proses dan tangki penyimpanan didalamnya dapat menimbulkan risiko efek domino, dimana satu kejadian menyebabkan rangkaian kejadian bahaya lainnya secara beruntun. Untuk mengurangi dampak dari masalah-masalah tersebut, dilakukan proses *troubleshooting*, yaitu suatu upaya dalam mengidentifikasi akar permasalahan agar risiko dan kerugian bisa ditekan seminimal mungkin (Dewi & Nugroho, 2019). Untuk menurunkan kemungkinan terjadinya bahaya fatal di industri kimia, diperlukan suatu pendekatan analisis yang mampu memberikan solusi dalam penanganannya.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk menganalisis dan menemukan solusi dari suatu permasalahan adalah *Quantitative Risk Analysis* (QRA). Metode QRA bertujuan untuk memperkirakan dan memahami tingkat risiko yang mungkin muncul dalam fasilitas atau proses operasional tertentu. QRA merupakan metode yang efektif dalam mengevaluasi desain proses berdasarkan dokumen teknis seperti P&ID atau PFD, reaksi kimia, unit operasi, serta strategi pengendalian yang sudah dirancang sebelumnya. Tujuan utama dari QRA adalah untuk mengurangi risiko besar di fasilitas pabrik dimana bahan berbahaya diproses (Rifai et al., 2021). QRA dapat memberikan dasar yang logis dan terukur untuk menilai keselamatan proses dan membandingkan berbagai alternatif perbaikan.



Gambar 6.1 Overview Step Quantitative Risk Analysis Method (Arendt & Lorenzo, 2000)

Metode untuk menganalisis dan mengidentifikasi bahaya pada sebuah plant adalah metode HAZOP (*Hazard and Operability Analysis*). HAZOP yaitu sebuah metode sistematis untuk mengidentifikasi potensi bahaya (*hazard*) dan masalah operasional (*operability issues*) dalam suatu proses industri, terutama diindustri kimia, minyak, gas, dan manufaktur. Tujuan dari penggunaan HAZOP untuk menentukan apakah proses penyimpangan dapat mendorong ke arah kejadian yang tidak diinginkan. Analisis bahaya menggunakan metode HAZOP dilakukan dengan mengkaji penyimpangan kondisi proses (Ratri et al., 2019). Selain mengidentifikasi dan mengendalikan potensi kecelakaan kerja yang berkaitan dengan sistem keselamatan di pabrik, manajemen risiko diperlukan untuk mengurangi dampak kerugian bahaya yang diprediksi terjadi. Manfaat dari manajemen risiko, yaitu mengurangi risiko kerugian finansial, menghindari kegagalan proyek, meningkatkan efisiensi operasional, meningkatkan reputasi perusahaan, meningkatkan risiko, dan menjaga kepatuhan hukum dan regulasi (Yuli Anita et al., 2023).

Dalam proyek perancangan pabrik asam format, proses troubleshooting merupakan metode pemecahan masalah untuk mengenali berbagai gejala yang muncul pada peralatan atau sistem proses. Tujuannya tidak hanya menyelesaikan gangguan yang terjadi, tetapi juga untuk menjaga umur peralatan, mengurangi biaya produksi, dan menghindari potensi bahaya keselamatan selama proses produksi. Pemilihan metode HAZOP didasarkan pada sifatnya yang terstruktur dan sistematis, sehingga mampu menghasilkan kajian yang menyeluruh. Menurut Musyafa' (2016), tahapan umum dalam penyusunan HAZOP meliputi:

1. Mengumpulkan informasi proses secara menyeluruh dari plant
2. Membagi sistem menjadi beberapa subsistem yang lebih kecil tanpa aturan khusus
3. Menganalisis kemungkinan penyimpangan pada setiap subsistem menggunakan kata kunci (guide word) untuk memudahkan identifikasi
4. Menentukan kemungkinan penyebab dari penyimpangan tersebut
5. Menilai dampak atau konsekuensi dari penyimpangan terhadap keselamatan dan efisiensi operasi normal
6. Menentukan tindakan proteksi yang tepat untuk penyimpangan

6.1. Analisa HAZOP Pada Unit Penyimpanan

Bahan baku pembuatan asam formiat ($\text{HCOOH}_{(l)}$) dalam desain prarancangan pabrik ini adalah metil formiat ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$), Air ($\text{H}_2\text{O}_{(l)}$) dan Sulfolane ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2\text{S}$). Bahan baku metil formiat dan sulfolane disimpan dalam fase cair dalam tangki penyimpanan. Analisis HAZOP pada tahap unit penyimpanan bahan baku ditabulasikan dalam Tabel 6.1 berikut ini.

Tabel 6.1 Analisa HAZOP pada Unit Penyimpanan

Equipment/Unit: Tangki Penyimpanan/ Unit Penyimpanan Bahan Baku								
Intention: Menyimpan Bahan Baku dalam Tangki Penyimpanan								
No.	Component	Description	Guide	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation
			Word					
1.	Tangki penyimpanan metil formiat dan sulfolane	T-110 dan T-130 berfungsi untuk menyimpan metil formiat dalam fase cair dengan kondisi temperature sebesar	None	No feed flow	Tidak adanya umpan dalam inlet	Tidak terjadi reaksi dalam reaktor	Level Control (LC)	Menambahkan umpan sesuai dengan kebutuhan atau kapasitas pabrik

30°C dan tekanan 1 atm dan sulfolane dalam fase cair dengan kondisi temperature sebesar 30°C dan tekanan 1 atm.						
	None	Tangki tidak dapat mempertahankan volume	Dinding tangki mengalami kebocoran	Menimbulkan kebocoran yang lebih banyak pada tangki dan tidak dapat menyimpan produk dengan maksimal	Level Control (LC)	Menambal tangki yang bocor dengan mengelas

More of	More level than expected (overflow)	Sensor level rusak, pengaturan katup yang salah, kegagalan pengawas untuk mengenali masalah	Product overflow, tumpahan cairan keluar dinding tangki, jika terdapat sumber pengapian maka berpotensi risiko ledakan /kebakaran	Flow recorder, Level indicator, Pressure indicator	Pembaharuan level sensor, verifikasi keadaan semua katup, alarm level otomatis, sistem tanggul penahan tumpahan harus memiliki kapasitas lebih besar dari tangki
More of	Excessive feed flow	Malfunctioned, umpan dalam inlet terlalu banyak	Terjadi peningkatan beberapa parameter, yaitu konversi reaksi, temperature, dan tekanan, ketidaksesuaian	Level control	Memasang flow meter dan flow alarm, memonitor umpan masuk inlet

				spesifikasi produk, thermal explosion (akibat reaksi rate tinggi reaksi eksotermis)		
		High pressure	Malfunctioned	Kebocoran pada pipa	Pressure control	Melakukan pemeriksaan dan pemeliharaan valve secara berkala
		High pressure	Temperature umpan meningkat	Kerusakan pada produk dan dapat terjadi thermal explosion	Temperature control	Mengurangi temperatur pada umpan
	Less of	Low feed flow	Malfunctioned	Efisiensi rendah	Flow control, level	Melakukan pemeriksaan, pemeliharaan

					control, dan pressure control	valve secara berkala, memasang flow meter dan flow alarm
	More than	Banyak impuritas, phase	Impuritas umpan dalam inlet feed line terkorosi, dan termperature umpan berubah	Efisiensi reaksi berkurang, produk dapat terkontaminasi, risiko kebocoran dan ledakan, serta efisiensi reaksi berkurang	Temperature control dan flow control	Memastikan kualitas, analisa bahan baku, pemeriksaan dan pemeliharaan valve secara berkala, serta memonitor temperature pada umpan
	Other	Star up gagal	Power outstage, dan control system tidak berfungsi	Reactor inactive	Flow control	Memastikan sistem mulai ulang, mengecek sistem dan melakukan inspeksi serta

pemeliharaan
pada sistem
secara berkala

6.2. Analisa HAZOP Pada Unit Pemindahan

Bahan baku dari tangki penyimpanan dialirkan menuju unit proses menggunakan sistem pemindahan yang terdiri dari pompa, pipa, dan katup. Analisis HAZOP pada tahap unit pemindah ditabulasikan dalam Tabel 6.2 berikut ini.

Tabel 6.2 Analisa HAZOP pada Unit Pemindahan

Equipment/Unit: Pompa Transfer/Unit Pemindahan Bahan Baku								
Intention: Memindahkan bahan baku dari tangki penyimpanan ke proses berikutnya								
No.	Component	Description	Guide Word	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation
1.	Pompa	Pompa transfer untuk mengalirkan bahan baku cair	No	Pump fails to start	Motor rusak, impeller tersumbat, arus listrik tidak masuk, dan pompa rusak	Tidak ada aliran bahanbaku ke proses berikutnya	Alarm sistem, MCC panel indicator	Periksa dan rawat motor dan pompa secara berkala, cek impeller, periksa koneksi listrik, dan pasang pompa cadangan

2.	Motor pompa	Motor penggerak pompa	Other	Motor overload	Shaft rusak, casing distorsi, arus terlalu tinggi, dan discharge head terlalu rendah	Pompa tidak berfungsi, dan risiko overheating	Overload protection relay	Lakukan pengecekan arus listrik, shaft, casing, dan ganti motor jika perlu
3.	Impeller	Mengatur aliran fluida dalam pompa	Less	Low flow	Impeller rusak karena kavitasi, erosi bahan kimia, overflow, dan penyumbatan	Aliran bahan baku tidak mencukupi kebutuhan proses	Monitoring tekanan dan flow	Pembersihan dan penggantian impeller secara berkala, periksa strainer, pressure gauge, dan head sistem
4.	Pipa sisi isap	Menyalurkan bahan baku kedalam pompa	Leak	Suction leak	Kebocoran stuffing box, sambungan longgar, dan tekanan sisi isap terlalu rendah	Fluida tidak masuk ke pompa, pompa bisa cavitate	Vacuum gauge di suction line	Tambahkan tekanan isap awal, periksa dan perbaiki sambungan dan seal

5.	Katup saluran	Mengatur aliran masuk dan keluar pompa	Closed	Blocked flow	Katup tertutup, strainer tersumbat, dan saluran terhalang	Tidak ada aliran ke downstream, dan tekanan naik	Visual valve indicator dan alarm tekanan	Periksa dan bersihkan strainer dan katup, jadwalkan pembersihan jalur pipa
----	---------------	--	--------	--------------	---	--	--	--

6.3. Analisa HAZOP Pada Unit Penukar Panas

Penukar panas difungsikan untuk memanaskan atau mendinginkan fluida yang dialiri oleh suatu media pemanas atau pendingin, pada pabrik asam format ini media yang digunakan untuk pemanas adalah steam sedangkan media pendingin yang digunakan adalah cooling water. Heater digunakan sebagai pemanas (E-112, E-122, E-132, E-222, dan E-232) dan cooler digunakan sebagai pendingin (E-212, E-416, dan E-616). Hasil analisa HAZOP pada unit penukar panas ditabulasikan pada Tabel 6.3 dibawah ini.

Tabel 6.3 Analisa HAZOP pada Unit Penukar Panas

Equipment/Unit: Cooler (E-212) / Unit Penukar Panas								
Intention: Mendinginkan asam format keluaran reaktor (R-210) dengan menggunakan cooling water sebelum masuk mixer								
No.	Component	Description	Guide Word	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation
1.	Cooler (E-212)	Mendinginkan hasil keluaran reaktor (R-210) berupa	No	Flow	Kegagalan valve inlet cooling water	Suhu fluida proses tidak turun dapat	FIC dan alarm	Memasang jalur bypass dan

asam format			untuk	terjadi		
konsentrasi			membuka	<i>overheat</i>		
rendah						
sebelum						
masuk mixer						
(M-220)						
dengan						
menggunakan						
cooling water						
	Less	Flow	Penyumbatan	Temperature	FIC dan	Redundant pump
			pipa karena	fluida tetap	alarm	system sebagai
			cooling water	tinggi		cadangan aliran
						pendingin
	More	Flow	Kegagalan	Temperature	TIC dan	Menyediakan
			valve fluida	fluida proses	alarm L	interlock system,
			pendingin	turun drastis,		melakukan
			untuk	pendinginan		pemeriksaan rutin
			menutup	tidak efisien,		pada valve
			(valve	dan		
			terbuka	pemborosan		
			penuh)	energi		

Reverse	Flow	Valve pada inlet mengalami kerusakan	Produk offspec	Check valve	Melakukan inspeksi rutin
Less	Pressure	Tekanan fluida proses (feed) dan cw berada dibawah set point, kebocoran pipa, terjadi aliran balik	Transfer panas tidak efektif	PIC dan alarm	Melakukan perawatan pada pipa dan instrumen
More	Pressure	Penyumbatan (blockage) pada saluran keluar atau tube karena kerak	Tekanan berada diatas setpoint , terjadi kerusakan alat dan ledakan, transfer panas terganggu	PIC dan alarm, relief valve	Rutin melakukan inspeksi dan perawatan pipa

More of	Pressure	Valve proses mengalami kegagalan atau tidak tertutup	Tube pecah karena tekanan berlebih	Pressure relief vlave (PRV), pressure transmitter dilengkapi alarm	Melakukan inspeksi secara berkala dan memberikan perlindungan darurat berupa <i>rupture disk</i>
Less	Temperature	Penumpukan kerak dan menurunnya flowrate dari cooling water	Suhu keluaran lebih rendah dari setpoint	TI dan FIC	Membersihkan HE untuk menghindari fouling, memantau TI, meningkatkan laju alir fluida panas
More	Temperature	Kegagalan membuka valve pendingin sehingga	Suhu keluaran lebih tinggi dari set point	TIC dan alarm	Melakukan kalibras sensor dan melakukan perawatan rutin HE

aliran cooling
 water
 terhambat
 atau terhenti,
 terjadi
 fouling atau
 scaling,
 kegagalan
 sensor suhu
 mendeteksi

6.4. Analisa HAZOP Pada Unit Reaksi

Unit reaksi pada pabrik asam format berupa *continuous stirred tank reactor* (CSTR) (R-210 dan R-230) yang difungsikan untuk mereaksikan air dan metil format. Hasil analisa HAZOP pada unit reaksi ditabulasikan pada Tabel 6.4 dibawah ini.

Tabel 6.4 Analisa HAZOP pada Unit Reaksi

Equipment/Unit: Reaktor (R-210)/Unit Reaksi

Intention: Tempat untuk mereaksikan metil format dan air untuk mendapatkan konsentrasi rendah yang digunakan sebagai katalis untuk reaktor selanjutnya

No.	Component	Description	Guide Word	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation
-----	-----------	-------------	------------	-----------	-------	--------------	-----------	----------------

1.	Reaktor	Untuk mereaksikan metil format dan air untuk mendapatkan konsentrasi rendah yang digunakan sebagai katalis untuk reaktor selanjutnya	No	Flow	Kegagalan valve pemanas untuk membuka	Temperatur reaktor mengalami peningkatan	FIC, TIC disertai alarm	Melakukan inspeksi secara rutin supaya valve dan pompa tidak terjadi penyumbatan
					Valve feed reaktor tertutup atau pompa tersumbat	Tidak adanya reaktan yang dapat mengalir dan tidak akan terjadi reaksi	FIC	
			Reverse	Flow	Kegagalan sistem suplai steam	Pemanasan tidak efektif sehingga berisiko	Check valve	Melakukan inspeksi jalur steam

				runaway karena suhu tidak terkendali		
	More	Flow	Kegagalan valve menutup	Pemanasan berlebih sehingga dapat menyebabkan perubahan komposisi pelarut	FIC dan alarm TAL	Melakukan inspeksi valve secara rutin
	Low	Temperature	Steam supply terganggu	Menghambat laju reaksi sehingga produk tidak terbentuk	TIC	Membuat jalur bypass
	More	Temperature	Terjadi kegagalan control suhu	Reaksi berlebih dapat menyebabkan degradasi produk	TIC	Melakukan inspeksi pada alat instrument dan menyediakan cooling backup

More	Pressure	Steam masuk berlebih dan reaksi ruaaway	Overpressure dapat terjadi ledakan	PRV dan alarm	Memonitoring tekanan dan redundant instrument, serta ESD, lakukan kalibrasi sensor melakukan pembersihan dan pengecekan valve
------	----------	---	--	------------------	---

6.5. Analisa HAZOP Pada Unit Pemisah

Pemurnian produk asam format setelah keluar dari reaktor (R-230) dilakukan dengan menggunakan kolom distilasi 1 (D-310), kolom distilasi 2 (D-410), kolom distilasi ekstraktif (D-510), kolom distilasi regenerasi (D-610). Hasil analisa HAZOP pada unit pemisah ditabulasikan pada Tabel 6.5 dibawah ini.

Tabel 6.5 Analisa HAZOP Pada Unit Pemisah

Equipment/Unit: Kolom Distilasi/ Unit Pemisah								
Intention: Memisahkan campuran metil format, air, asam format, dan metanol								
No.	Component	Description	Guide Word	Deviation	Cause	Consequences	Safeguard	Recommendation
1.	Kolom Distilasi	Untuk memisahkan	No	Flow	Pipa tersumbat,	Kolom distilasi	FIC dan alarm	Melakukan pengecekan

		campuran metil format, air, asam format, dan metanol	valve tidak dapat terbuka, pompa mengalami kegagalan mengalirkan fluida.	mengering sehingga pemurnian produk terganggu	secara berkala baik kolom distilasi, piping, valve, maupun pompa. Memasang pompa cadangan untuk menghindari kegagalan pemindahan fluida.
Less	Flow	Aliran fluida yang akan masuk kolom terlalu rendah, tekanan inlet feed kurang dari kolom, pipa	Terjadi penurunan level pada kolom distilasi sehingga kolom tidak bekerja optimal.	Check valve	Melakukan inspeksi rutin

		tersumbat atau mengalami kebocoran	Dapat terjadi aliran balik (fluida tidak dapat masuk ke kolom distilasi)		
		Laju alir reboil terlalu sedikit	Terjadi perubahan komposisi produk	TIC	Mengatur ulang panas reboiler
		Memodifikasi laju alir pendingin	Sedikit produk atas yang akan <i>di-recovery</i>	TIC	Mengatur ulang laju alir sesuai dengan semestinya
More	Flow	Laju alir reboil terlalu tinggi	Terjadi perubahan komposisi produk	TIC	Mengatur ulang panas reboiler
Less	Level	Level control mengalami kegagalan	Kolom mongering sehingga	LIC dan alarm	Monitoring fluida yang keluar dari kolom,

		fungsi, pipa bocor atau pipa input tersumbat	kesetimbangan fasa terganggu, reboiler mengalami pemanasan berlebih karena tidak ada bahan yang dipanaskan		melakukan inspeksi rutin, menambah laju alir feed
More	Level	Pipa output mengalami penyumbatan	Terjadi tekanan berlebih pada kolom bagian atas (condenser), kesetimbangan fasa terganggu	LIC dan alaarm	Monitoring fluida yang keluar dari kolom, melakukan inspeksi rutin, mengurangi laju alir umpan

Less	Temperature	Beban panas reboiler terlalu rendah	Pemurnian bahan tidak berjalan dengan sempurna karena light key masih dalam fasa cair	Thermocouple pada tiap stage kolom distilasi dan alarm	Menaikkan beban panas reboiler
More	Temperature	Beban panas reboiler terlalu tinggi	Pemisahan bahan terganggu, kemurnian dari bahan yang ingin dipisahkan menurun	Thermocouple pada tiap stage kolom distilasi dan alarm	Menurunkan beban panas reboiler
		Kegagalan sistem pendingin	Sedikit produk yang akan di- <i>recovery</i>	TIC yang dilengkapi alarm	Mengatur ulang sistem pendingin

		pada kolom atas distilasi			
Less	Pressure	Terjadi kondensasi uap berlebih	Menyebabkan openurunan volume gas dan menghasilkan tekanan yang rendah bahkan vakum penuh atau parsial, jika terjadi vakum maka akan terjadi kolaps atau kerusakan pada kolom dan menurunkan efisiensi proses distilasi	Breather system (vacuum relief valve)	Menginstal instrumentasi berupa tekanan differensial untuk memantau dan memberikan alarm tekanan jika tekanan mendekati vakum, optimasi sistem pendingin, inspeksi secara berkala

More	Pressure	Terjadi pembentukan uap berlebih	Mengalami kenaikan tekanan yang berpotensi menyebabkan kegagalan mekanis	SV (<i>safety valve</i>)	Mengkalibrasi safety valve, evaluasi set point reboiler, memeriksa desain kolom distilasi
		Tekanan pada kolom atas tinggi	Mengubah kemurnian produk atas atau efisiensi pemisahan	TC dilengkapi alarm, tiap tray diberi TI	Memasang sistem venting atau purging