

ISSN 2597- 6052

MPPKI

Media Publikasi Promosi Kesehatan Indonesia

The Indonesian Journal of Health Promotion

Research Articles

Open Access

Identifikasi Potensi Bahaya pada Anjungan Lepas Pantai Pengolahan Minyak dan Gas (Studi Kasus: Gas Compressor PT. X)

Potential Hazard Identification of Oil and Gas Treatment Offshore Platform (Case Study: Gas Compressor at PT. X)

Yuniria Mukmin¹, Mila Tejamaya^{2*}^{1,2}Departemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok, Jawa Barat – 16424*Korespondensi Penulis : mila.tejamaya@gmail.com

Abstrak

Latar belakang: PT.X merupakan perusahaan dengan instalasi minyak dan gas yang memiliki anjungan lepas pantai pengolahan minyak dan gas di Indonesia. Bahaya (hazard) pada anjungan lepas pantai instalasi pengolahan minyak dan gas memiliki potensi risiko yang besar terhadap keselamatan, kesehatan dan lingkungan. Pada industri minyak dan gas, analisis risiko perlu dilakukan secara komprehensif dan berkala untuk mencegah kecelakaan yang dapat terjadi akibat bahaya yang ada. Anjungan lepas pantai pengolahan minyak dan gas PT.X merupakan area dengan risiko tinggi dan studi HAZOP sudah dilakukan oleh PT.X. Namun, revalidasi HAZOP adalah hal yang perlu untuk mengantisipasi perubahan yang terjadi yang dapat mempengaruhi bahaya dan risiko pada anjungan lepas pantai PT.X. Berdasarkan data insiden Holding Region PT.X tahun 2021, dari 98 insiden yang terjadi di perusahaan, 39 insiden (37%) merupakan insiden berhubungan dengan proses pengolahan minyak dan gas. Dikarenakan pengolahan minyak dan gas adalah instalasi yang sangat kompleks, peneliti secara spesifik mengambil node gas compressor di area proses dikarenakan implementasi flow dan tekanan yang besar (kapasitas 25MMSCFD dengan tekanan 960 psig) yang dapat berdampak signifikan terhadap keselamatan dan kesehatan pekerja.

Tujuan: Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi bahaya anjungan lepas pantai pengolahan minyak dan gas PT.X untuk membantu meningkatkan keselamatan dan kesehatan pekerja

Metode: Metode Penelitian ini menggunakan metode HAZOP yang dilakukan terhadap node Gas Compressor anjungan lepas pantai PT.X

Hasil: Berdasarkan studi ini didapatkan 3 variasi *guideword* dan deviasi, 10 penyebab konsekuensi dan 19 konsekuensi (2 konsekuensi sedang dan 17 konsekuensi berisiko rendah).

Kesimpulan: Berdasarkan identifikasi konsekuensi berisiko sedang, perlu ada follow-up dari perusahaan untuk melakukan peninjauan terhadap pengaturan perlindungan *overpressure* pada anjungan lepas pantai PT.X termasuk mempertimbangkan *resetting* nilai tekanan PSV pada *Gas Compressor*.

Kata Kunci: Bahaya (Hazard); Hazop; Pengolahan Minyak dan Gas; Gas Compressor; Anjungan Lepas Pantai

Abstract

Background: PT.X is an oil and company that has offshore processing platforms in Indonesia. Hazards on offshore platforms for oil and gas processing installations have a large potential risk to safety, health and the environment. In the oil and gas industry, risk analysis needs to be carried out comprehensively and periodically to prevent accidents that may occur due to existing hazards. PT.X offshore processing platform is a high risk area and a HAZOP study has been conducted previously. However, a revalidation of HAZOP is necessary to anticipate changes that occur that may affect the hazards and risks on the PT.X offshore platforms. Based on data from the PT.X Holding Region in 2021, from 98 incidents that occurred in the company, 39 incidents (37%) were incidents related to oil and gas processing. Since oil and gas processing facilities are very complex installation, the researcher specifically took gas compressor node in the process area due to its large flow and pressure implementation (25MMSCFD capacity with a pressure of 960 psig) which can have significant impact on the safety and health of workers.

Objective: To identify potential hazards of PT.X offshore oil and gas processing platform to help improve worker safety and health

Method: This research method uses HAZOP method which is carried out on the Gas Compressor node of the PT.X offshore platform

Results: Based on this study, it was found 3 variations of *guidewords* and deviations, 10 causes of consequences and 19 consequences (2 moderate risk consequences and 17 low risk consequences).

Conclusion: Based on the identification of moderate risk consequences, there are needs for the company to follow-up the findings which is to review the *overpressure* protection settings on the PT.X offshore platform including considering *resetting* the PSV pressure value for the Gas Compressor.

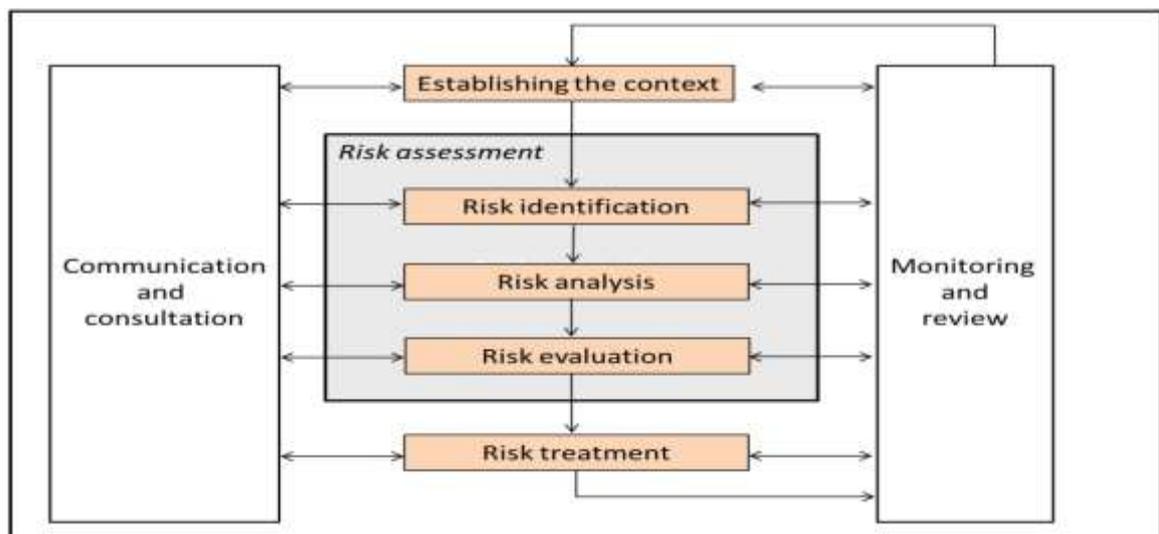
Keywords: Hazard, HAZOP, Oil and Gas Processing, Gas Compressor, Offshore Platform

PENDAHULUAN

Berdasarkan laporan kecelakaan minyak dan gas tahun 2019, angka kecelakaan terus menurun dari 2009 hingga 2018 menjadi 31 fatality dengan 27 Kasus fatal (1). Namun begitu, dampak yang terjadi dari kecelakaan minyak dan gas berpengaruh besar terhadap keselamatan dan kesehatan pekerja maupun lingkungan sekitar seperti kasus *Deep Water Horizon*. Kecelakaan *Deep Water Horizon* merupakan kecelakaan dari *oil rig* di anjungan lepas pantai Macondo Gulf Mexico akibat adanya semburan minyak disebabkan oleh tekanan tinggi dari sumur hidrokarbon pada saat aktifitas pengeboran yang terjadi pada tahun 2010, menyebabkan kematian 11 orang dan 17 orang lain nya terluka parah (2). Insiden tumpahan minyak terbesar dalam sejarah Amerika terjadi ketika sumur *Deepwater Horizon BP blow-out* dan menyebabkan minyak memancar ke laut selama 3 bulan. Pada 25 April 2010, tumpahan minyak meliputi 580 mil persegi (1500 km²), dan 30 April 2010, perkiraan menempatkan total penyebaran minyak di 3850 mil persegi (10.000 km²). Menurut perkiraan pemerintah, 205,8 juta galon minyak tumpah ke Teluk Meksiko dalam waktu 4 bulan (3).

Oleh karena itu, penting untuk Perusahaan, terutama yang berisiko besar seperti pengolahan minyak dan gas untuk melaksanakan identifikasi risiko sebagai bagian dari proses analisis risiko. Analisis risiko sendiri adalah keseluruhan proses identifikasi, penilaian risiko dan evaluasi risiko. Analisis risiko harus dilakukan secara sistematis dan kolaboratif yang mengacu kepada pengetahuan dan pandangan para pemangku kepentingan (4).

Untuk melakukan analisis risiko, Perusahaan harus memulai dengan identifikasi dan analisis bahaya untuk menentukan semua bahaya operasional yang dapat mengakibatkan risiko terhadap pekerja, aset dan lingkungan. Identifikasi bahaya merupakan langkah yang terstruktur dan sistematis untuk menetapkan suatu bahaya pada awal proses penilaian risiko. Proses identifikasi bahaya dilakukan melalui observasi, wawancara dan analisis data sekunder. Identifikasi bahaya mencakup dua aspek meliputi risiko terhadap fasilitas dan risiko eksternal. Hasil identifikasi bahaya tersebut akan digunakan sebagai dasar penentuan skenario untuk menentukan estimasi frekuensi dan analisis dampak/konsekuensi. Sumber data yang dapat dipergunakan dalam identifikasi bahaya untuk menentukan skenario kejadian kebakaran dan ledakan dapat diperoleh dari berbagai sumber. Data tersebut harus memenuhi syarat sebagai berikut (5): 1) Data tersedia untuk skenario-skenario yang mungkin terjadi, 2) Data dapat dianalisis, 3) Data harus divalidasi oleh pihak yang bertanggung jawab atas data tersebut, 4) Data yang dianalisis dapat diinterpretasikan, 5) Data kuat dan valid serta dapat dipergunakan untuk justifikasi dan prediksi konsekuensi yang akan terjadi.



Gambar 1. Proses Kajian Risiko ISO 31000 (4)

Berdasarkan ISO 31000, metode dan teknik dikembangkan untuk membantu mencegah kecelakaan yang biasa digunakan adalah metode PHA, *Hazard and Operability* (HAZOP), Analisis *What-If, Failure Mode & Effect Analysis* (FMEA), *Event Tree Analysis* (ETA), *Fault Tree Analysis* (FTA), BOWTIE, BAYESIAN NETWORK, Hazard Identification (HAZID), dan LOPA (Khan & Abbasi, 2001). Dibandingkan dengan metode analisis risiko lainnya seperti *Fault Tree Analysis* (FTA), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Facility Risk Review* (FRR) dan *Quantitative Risk Assessment* (QRA), metodologi HAZOP merupakan metode yang cukup baik untuk menganalisis risiko karena selain dapat mengidentifikasi dan memperkirakan risiko, metode ini juga sangat baik untuk menghasilkan rekomendasi pada proses (6).

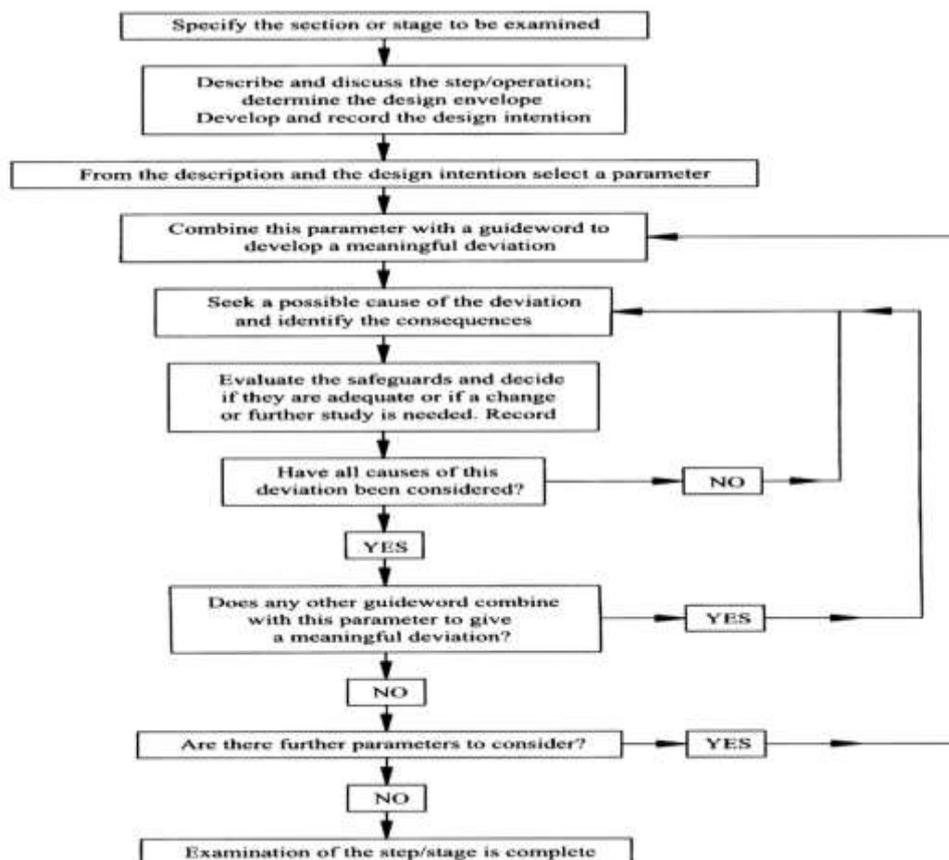
Sebuah studi *Hazard and Operability Study* (HAZOP) merupakan proses identifikasi bahaya sistematis yang dilakukan oleh sekelompok ahli (tim HAZOP) untuk mengeksplorasi bagaimana sistem dapat menyimpang dari maksud desain dan menciptakan bahaya dan masalah pengoperasian. Sistem dibagi menjadi sejumlah simpul studi (*node*) yang diperiksa satu per satu. Untuk setiap studi *node*, maksud desain dan status normal ditentukan. Kemudian *guidewords* dan parameter proses digunakan dalam sesi *brainstorming* untuk memunculkan dugaan adanya kemungkinan penyimpangan dalam sistem (7). Metodologi HAZOP dianggap salah satu teknik yang paling efektif untuk analisis risiko, dikembangkan khusus untuk menyediakan proses reguler dengan pengurangan risiko yang bertujuan untuk menjamin keamanan kegiatan dan pengoperasian produksi unit. HAZOP telah berhasil diterapkan dalam proses dan operasi keselamatan di industri produksi minyak (8).

Studi HAZOP bukanlah aplikasi prosedur sederhana yang memastikan sistem proses yang aman dengan sendirinya. HAZOP merupakan bagian dari desain sebuah siklus. Dengan demikian, penting untuk menetapkan terlebih dahulu lingkup studi HAZOP lingkup yang paling sedikit mencakup metodologi, kriteria risiko penerimaan dan hasil yang diharapkan (9). Oleh karena itu, penting untuk perusahaan yang ingin melakukan HAZOP untuk memiliki kriteria risiko sebagai dasar perbandingan dan evaluasi.

Instalasi pengolahan minyak dan gas merupakan instalasi yang sangat kompleks sehingga dimungkinkan mempunyai banyak *node* dan konsekuensi, oleh karena itu, peneliti memilih *node gas compressor* dengan pertimbangan bahwa terdapat implementasi pekerjaan terhadap *flow* dan tekanannya yang besar (kapasitas 25MMSCFD dengan tekanan 960 psig) yang dapat berdampak signifikan terhadap keselamatan dan kesehatan karyawan. Revalidasi HAZOP perlu dilakukan untuk mendapatkan informasi baru melalui perubahan proses, penelitian dan pengembangan hasil investigasi insiden melalui inisiatif perbaikan proses. Berbekal informasi dan asumsi baru mengenai *update* penyebab, konsekuensi dan *safeguards*, proses validasi diharapkan memberikan penyesuaian evaluasi risiko (10).

METODE

Salah satu tujuan dari studi HAZOP adalah untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi setiap bahaya tersisa dalam proses atau operasi yang direncanakan yang tidak teridentifikasi atau dirancang pada tahap sebelumnya. Di bawah dapat terlihat bagan umum pelaksanaan HAZOP dari penyusunan cakupan, *design intent* dan tahapan HAZOP hingga tahapan selesai dengan kelengkapan semua parameter HAZOP. Berikut tahapan dan parameter yang merupakan dasar utama dalam pelaksanaan langkah-langkah HAZOP (7),(11):



Gambar 2. Tahapan umum pelaksanaan HAZOP (11)

Guidewords

Berikut contoh beberapa *guidewords* khas yang menggambarkan penyimpangan proses seperti ‘*no, more, less, part of, reverse, early/late, sequence*, dll) tergantung dengan proses yang terjadi. *Guidewords* dan parameter proses harus digabungkan sedemikian rupa agar mengarah pada penyimpangan proses yang spesifik (7).

Parameter proses

Parameter proses khas untuk proses operasi yang biasa ditentukan adalah (7):

Tabel 1. Contoh parameter proses untuk tahapan operasi

<ul style="list-style-type: none"> • Flow • Pressure • Temperature • Mixing • Stirring • Transfer • Level • Viscosity • Reaction • Composition • Addition • Monitoring • Separation • Time • Aging 	<ul style="list-style-type: none"> • Phase • Speed • Particle size • Measure • Control • pH • Sequence • Signal • Start/stop • Operate • Maintain • Diagnostics • Services • Communication
---	--

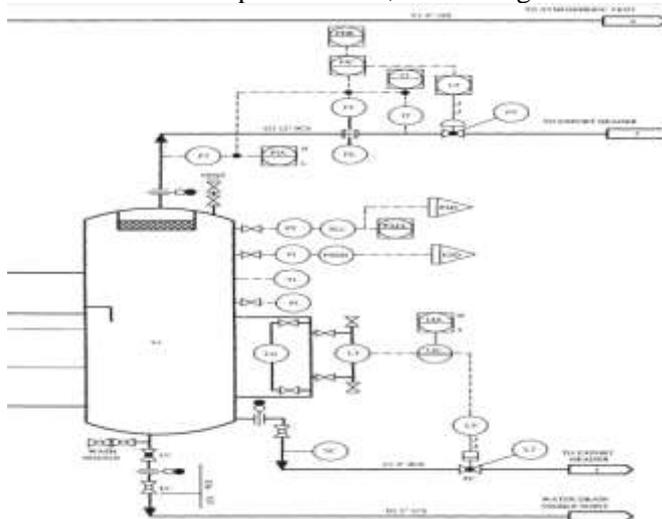
Selain *guideword* dan parameter proses, terdapat satu parameter penting yang dapat digunakan untuk membatasi pembahasan HAZOP pada masing-masing tahapan proses yaitu *node*. Pada HAZOP, *node* digambarkan sebagai satu atau sekumpulan peralatan yang merupakan *vocal point* dari studi yang dapat berupa pompa, *vessel*, *heat exchanger* dll hingga dapat menjadi seluas seluruh proses area sesuai tujuan HAZOP. Penentuan *node* cukup kritikal dalam penentuan tujuan HAZOP (12).

Analisis prosedur

Studi HAZOP yang paling umum dilakukan melibatkan delapan langkah:

Merencanakan dan mempersiapkan studi

Dalam perencanaan cakupan HAZOP, disarankan untuk mencakup aspek operasi pemeliharaan, termasuk: isolasi, persiapan, dan pemindahan untuk pemeliharaan karena ini sering menciptakan bahaya serta masalah pengoperasian. Langkah selanjutnya adalah dalam tugas perencanaan adalah pembagian P&ID menjadi beberapa bagian dan item untuk mengorganisir Studi HAZOP di mana *guidewords* diterapkan. Istilah khusus dan alternatif dapat digunakan untuk menggambarkan blok yang dipilih untuk pemeriksaan/pembagian HAZOP. Istilah "bagian" digunakan dalam panduan ini sebagai bagian dari proses berkelanjutan di mana kata panduan diterapkan; istilah lain yang sering digunakan adalah *node*. Dalam proses *batch*, istilah langkah atau tahapan umum digunakan (11).



Gambar 3. Contoh P&ID yang menjadi acuan dalam menentukan *node*, *guidewords* dan parameter proses

Mengidentifikasi kemungkinan penyimpangan yang dapat terjadi

Langkah selanjutnya adalah menghasilkan deviasi yang berarti dengan menggabungkan guidewords dan parameter untuk menggambarkan penyimpangan. Hal ini dilakukan dengan mengambil parameter dan menggabungkannya dengan setiap *guideword* secara bergantian untuk melihat apakah terdapat hasil penyimpangan yang berarti (pendekatan parameter). Pendekatan alternatif adalah dengan mengambil *guideword* dan mencocokkan dengan setiap parameter secara bergantian (pendekatan *guideword*) (11).

Tabel 2. Daftar padanan parameter dan *guidewords*

Flow	None; more of; less of; reverse; elsewhere; as well as
Temperature	Higher; lower
Pressure	Higher; lower; reverse
Level	Higher; lower; none
Mixing	Less; more; none
Reaction	Higher (rate of); lower (rate of); none; reverse; as well as/other than; part of
Phase	Other; reverse; as well as
Composition	Part of; as well as; other than
Communication	None; part of; more of; less of; other; as well as

Menentukan penyebab penyimpangan berdasarkan proses

Setelah penyimpangan telah diidentifikasi, tim HAZOP kemudian perlu mencari sebab. Jika ada beberapa penyebab, misal dalam identifikasi penyimpangan "tidak ada aliran" dalam pipa, sangat membantu untuk melakukan sesi *brainstorming* untuk mengidentifikasi sebanyak mungkin penyebab yang dapat terjadi. Penting untuk diingat bahwa penyebab mungkin terkait dengan faktor manusia sebagai pengontrol perangkat keras. Dalam mencari penyebab dan mengevaluasi konsekuensi, penting untuk semua anggota tim mengambil sikap positif dan sikap kritis namun tidak defensif. Ini sangat penting untuk semua anggota yang bertanggung jawab atas desain. Sangat penting untuk membuat dan menggunakan bank data penyebab yang sering terjadi untuk memastikan tidak ada penyebab umum yang diabaikan. Namun, jika hal ini dilakukan, tim HAZOP tidak boleh menghalangi kreativitas tim untuk mencari sumber penyebab lainnya (11).

Menentukan konsekuensi penyimpangan yang dapat terjadi

Sangat penting untuk mengidentifikasi semua konsekuensi tanpa kecuali, baik yang langsung dan tertunda, baik di dalam maupun di luar bagian yang dianalisis dalam HAZOP. Seringkali hal ini membantu untuk menganalisis bagaimana konsekuensi berkembang selama periode waktu, perlu untuk mencatat alarm dan perjalanan operasi serta mekanisme operator diperingatkan. Hal ini memungkinkan penilaian yang realistis tentang kemungkinan dan pengaruh intervensi operator (11).

Mengidentifikasi hambatan/pengaman (safeguards) yang ada

Barrier merupakan salah satu bentuk dari safeguards bersifat teknis atau prosedural. Manajemen hambatan adalah merupakan langkah sistematis dan berkelanjutan untuk memastikan bahwa hambatan tersebut relevan, efektif dan kuat. Persyaratan *barrier* meliputi (13): 1) Proses sistematis untuk memilih dan merancang penghalang berdasarkan kebutuhan untuk melindungi peralatan atau fungsi dan mengelola ancaman tertentu dengan cara yang dapat diterima, 2) Memilih dan mengukur *barrier* yang kuat, yang juga memperhitungkan ketidakpastian, 3) Menerapkan manajemen *barrier* sebagai proses yang berkelanjutan.

Menilai risiko

Penilaian risiko bukan merupakan hasil utama dari studi HAZOP, namun tujuan utamanya adalah identifikasi bahaya dan masalah pengoperasian. Namun HAZOP masih dapat menjadi pendekatan yang valid dengan estimasi kemungkinan dan keparahan yang bersifat kualitatif yang biasanya diukur dengan matriks risiko. Berikut contoh risk matrix dari Risk Management Standard AS/NZ 4360 (14) yang dapat digunakan sebagai acuan HAZOP.

Tabel 3. contoh risk matrix (14)

		Severity				
		Negligible (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Extreme (5)
Likely hood	Almost Certain (5)	M	H	H	E	E
	Likely (4)	M	M	H	H	E
	Possible (3)	L	M	M	H	H
	Unlikely (2)	L	M	M	M	H
	Rare (1)	L	L	L	M	M

Mengusulkan perbaikan & melaporkan hasil analisis dan follow-up temuan

Beberapa pendekatan yang umum digunakan pemberian rekomendasi dari tim HAZOP (11): 1) Setelah masalah potensial diidentifikasi, tindak-lanjut sebaiknya dirujuk untuk penyelidikan di luar studi HAZOP. 2) Pada kasus ekstrem bila memungkinkan, tim HAZOP dapat berusaha untuk memberikan rekomendasi secara khusus dan spesifik untuk temuan tersebut terutama untuk temuan *engineering* atau prosedural. 3) Normanya adalah tim HAZOP merekomendasikan solusi untuk masalah hanya jika ada pelanggaran standar atau jika tim dengan suara bulat menyetujui solusi yang diberikan. Jika tidak ada kebulatan suara, sebaiknya dilakukan kajian atau penyelidikan lebih lanjut di luar studi HAZOP.

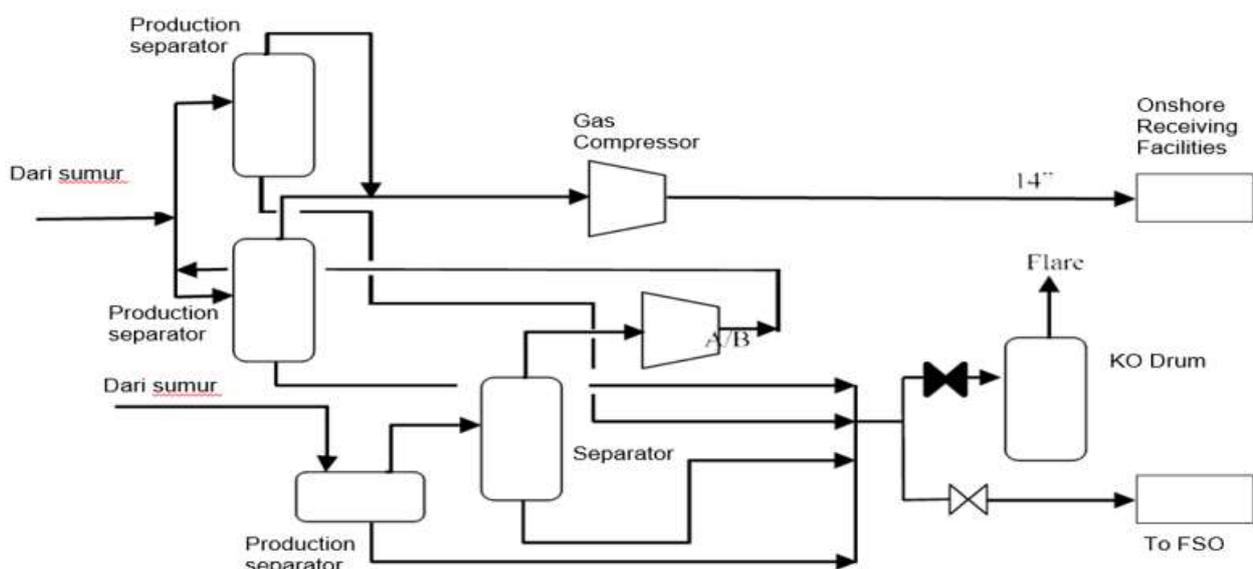
Di bawah merupakan contoh tampilan hasil pelaporan dalam bentuk tabel yang berisi ringkasan informasi penting setelah penyusunan dokumen HAZOP. Bentuk pelaporan HAZOP dapat berbeda-beda namun harus berisikan minimal keterangan penyimpangan, penyebab, konsekuensi dan rekomendasi (jika ada).

Tabel 4. Tabel contoh pelaporan HAZOP berbentuk tabel summary

Ref.	Parameter	Deviation	Possible Cause	Consequence	Safeguard/Protection	No	Action
1	Quantity/step	No B is added—step omitted	Operator error, for example, at shift handover. MV307 closed after maintenance	Spoilt batch	Detected at sampling and can easily be corrected. Batch sheet requires analysis to be signed off by supervisor	1.1	Start-up check to confirm that MV307 is open
						1.2	Operating procedure to include a sight glass check that flow is established
2	Quantity	Excess of B is added	F2 not fully emptied from last batch	Excess of B in product: batch will be out of specification	Detected at sampling but a special procedure will then be required	2.1	Operating procedure to include a check on vessel F2 before B is measured out

HASIL

Gambaran proses



Gambar 4. Flow diagram proses yang telah disederhanakan dari anjungan pemrosesan PT.X

Anjungan lepas pantai pengolahan minyak dan gas PT.X memiliki gambaran fasilitas sebagai berikut:

Deskripsi Unit produksi

PT.X merupakan operator dengan produksi yang saat ini mencapai sekitar 9000 BPD minyak dan 130 MMSCFD gas yang dipelihara melalui fasilitas pemrosesan lepas pantai dan didukung oleh fasilitas penerimaan gas dasar darat di Jawa Timur.

Operasi Saat Ini

Saat ini PT.X memiliki 3 (tiga) platform produksi dan 1 (satu) platform pemrosesan sementara. Produksi dari masing-masing sumur dikirim ke platform pemrosesan untuk pemisahan gas dan cairan. Gas yang dipisahkan dari anjungan ini diekspor melalui pipa bawah laut ke *Onshore Receiving Facilities* di darat. Minyak mentah yang distabilkan dan diekspor melalui FSO.

Anjungan pemrosesan gas

Platform pemrosesan adalah anjungan fasilitas proses yang terdiri dari 3 tahap *oil stabilization train*, *vapor recovery unit*, *2 gas booster compression train*, pengolahan air terproduksi, *gas lift compression system*, dan utilitas pendukung lainnya.

Platform menerima produksi dari sumur minyak dan gas yang diterima di HP maupun MP Separator. Gas dari HP Separator di-*scrub* sebelum dikirim ke kompresor dan diekspor ke fasilitas penerima di darat melalui pipa bawah laut. Gas dari MP Separator dicampur dengan aliran dari *Vapor Recovery Compressor Suction Scrubber* yang kemudian dikompresi dengan *Vapor Recovery Compressor* untuk dikirim ke darat.

Minyak dari HP dan MP Separator distabilisasi. Minyak yang telah distabilkan lalu dipompa ke FSO. Sebagian gas dialirkan ke Flare KO Drum dan dibakar di unit flare.

Secara spesifik, tujuan dari studi HAZOP yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: 1) Validasi ulang studi HAZOP untuk anjungan lepas pantai, secara spesifik *gas compressor*. 2) Mengidentifikasi penyimpangan dari kondisi operasi normal fasilitas. 3) Menentukan konsekuensi dan dampak bahaya terhadap keselamatan personel, pencemaran lingkungan dan kerusakan aset. Pada penulisan kali ini, penelitian ini akan berfokus pada keselamatan personel. 4) Mengidentifikasi upaya perlindungan dan mitigasi untuk mengendalikan dan mengurangi dampak dari kecelakaan. 5) Mengevaluasi kemungkinan dan tingkat keparahan setiap ancaman/bahaya untuk menentukan tingkat risiko serta mengidentifikasi *issue* risiko atau menentukan langkah untuk mengurangi risiko yang terkait dengan pengoperasian fasilitas. Dari hasil studi HAZOP, didapatkan intisari sebagai berikut:

Tabel 5. intisari HAZOP Node Gas Compressor

No.	Konsekuensi	Safeguards	C	L	R
A.Guideword & Deviation : Flow - No					
1	Jika Pressure Valve kompresor driven closed : -potensi untuk less flow pada compressor suction -potensi untuk surging -potensi untuk severe vibration leading ke compressor damage - potensi untuk leaking/rupture -potensi untuk fire/explosion.	-Anti-surge controller: recycle flowrate ke suction → mencegah surging effect - PALL set pada 140 psig : Shutdown compressor dengan closing fuel gas valve -Vibration sensor: shutdown compressor dengan closing fuel gas valve.	4	1	4
2	Jika Shut-Down Valve fails closed, - potensi untuk less flow pada compressor suction -potensi untuk surging -potensi untuk severe vibration → compressor damage - potensi untuk leaking/rupture -potensi untuk fire/explosion.	-Anti-surge controller: recycle flowrate ke suction → mencegah surging effect - PALL set pada 140 psig : Shutdown compressor dengan closing fuel gas valve -Vibration sensor: shutdown compressor dengan closing fuel gas valve.	4	1	4

3a	<p>Jika <i>Demister plugged</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> -potensi untuk <i>overpressure</i> pada <i>well</i> -potensi untuk <i>subsea leak/rupture</i> -potensi untuk <i>sea surface gas dispersion/liquid pool</i> -potensi untuk <i>seasurface fire</i> 	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Inherently safer design of pipeline (1440 psig)</i> -<i>PSHH</i> is set pada <i>600 psig</i> → <i>close SDV</i> -<i>PSV</i> set pada <i>960 psig</i> → <i>blocked discharge & relieve pressure</i> ke <i>Relief line</i> - <i>Pressure Valve</i> set pada <i>675 psig</i> → <i>relieve pressure</i> ke <i>flare</i> 	5	2	10
3b	<p>Jika <i>demister plugged</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> -potensi untuk <i>less flow</i> pada <i>Compressor suction</i> -potensi untuk <i>surging</i> -potensi untuk <i>severe vibration leading</i> ke <i>compressor damage</i> - potensi untuk <i>leaking/rupture</i> -potensi untuk <i>fire/explosion</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Anti-surge controller</i>: <i>recycle flowrate</i> ke <i>suction</i> → mencegah <i>surging effect</i> -<i>PALL</i> set pada <i>140 psig</i> : <i>Shutdown compressor</i> dengan <i>closing fuel gas valve</i> -<i>Vibration sensor</i>: <i>shutdown compressor</i> dengan <i>closing fuel gas valve</i>. 	4	1	4
4	<p>Jika <i>Level Valve driven closed</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> - potensi untuk <i>liquid carry over</i> ke <i>compressor (C101A/B)</i> -potensi untuk <i>compressor blades failure</i> - potensi untuk <i>leaking/rupture</i> -potensi untuk <i>fire/explosion</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> -<i>LAHH</i> : <i>USD</i> termasuk <i>closure SDV</i> -<i>Vibration sensor</i>: <i>Shutdown compressor</i> dengan <i>closing fuel gas valve</i> - <i>F&G detection system</i> : <i>Shutdown compressor</i> dengan <i>closing fuel gas valve</i> 	4	1	4
5	<p>Jika <i>Shut-Down Valve</i> is driven closed:</p> <ul style="list-style-type: none"> - potensi untuk <i>liquid carry over</i> ke <i>compressor</i> -potensi untuk <i>compressor blades failure</i> - potensi untuk <i>leaking/rupture</i> -potensi untuk <i>fire/explosion</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> -<i>LAHH</i> : <i>USD</i> termasuk <i>closure SDV</i> -<i>Vibration sensor</i>: <i>Shutdown compressor</i> dengan <i>closing fuel gas valve</i> - <i>F&G detection system</i> : <i>Shutdown compressor</i> dengan <i>closing fuel gas valve</i> -<i>LAH-113</i> : <i>alarm in control room</i> dan <i>alert operaker</i> ke <i>investigate the problem</i> dan <i>reopen SDV</i> 	4	1	4
6	<p>Jika <i>Compressor stop</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> -potensi untuk <i>increasing backpressure</i> ke <i>sumur</i> - potensi untuk <i>decreasing oil production</i>. -Potensi untuk <i>loss of production opportunity</i> 	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Operator routine Surveillance</i> untuk <i>monitor pressure</i> pada <i>well</i> dan <i>further decrease choke opening</i> ke <i>menormalkan pressure</i>. 	4	1	4
	<p>Jika <i>Compressor stop</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> -potensi untuk <i>less flow</i> pada <i>compressor suction</i> -potensi untuk <i>surging</i> -potensi untuk <i>severe vibration leading</i> ke <i>compressor damage</i> - potensi untuk <i>leaking/rupture</i> -potensi untuk <i>fire/explosion</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Anti-surge controller</i>: <i>recycle flowrate</i> ke <i>suction</i> → mencegah <i>surging effect</i> -<i>PALL</i> set pada <i>250 psig</i> : <i>Shutdown kompresor</i> dengan <i>closing fuel gas valve</i> -<i>Vibration sensor</i>: <i>shutdown compressor</i> dengan <i>closing fuel gas valve</i>. 	4	1	4

	Jika Compressor C-101A/B stop : -potensi untuk overpressure pada Test Separator - potensi untuk leaking/rupture -potensi untuk fire/explosion.	-PAHH set pada 500 psig : Shutdown SDV -PAHH set pada 960 psig → menutup SDV	4	1	4
7	Jika Anti-surge controller fails low (normal : high) , -potensi untuk further surging -potensi untuk severe vibration → compressor damage	-PALL set pada 140 psig : Shutdown compressor dengan closing fuel gas valve -Vibration sensor: shutdown compressor dengan closing fuel gas valve.	4	1	4
8	1. Jika SDV fails closed: -potensi untuk overpressure/overheating pada Cooler Compressor discharge piping - potensi untuk leaking/rupture -potensi untuk fire/explosion. 2. Jika SDV fails closed: -potensi untuk decreasing production hingga maximum 50 MMscfd. -Potensi untuk production loss	-PAH set alarm pada 750 psig : alarm in control room dan alert operaker ke investigate the problem dan reopen SDV -PAHH set 800 psig → shut off Compressor dengan closing fuel gas valve. -TAHH set pada 240 F → shut off compressor dengan closing fuel gas valve. - PSV set pada 1100 psig → blocked discharge & relieve pressure ke Relief line -TAH alarm control room dan alert operator untuk investigate dan reopen SDV	5	1	5
B.Guideword & Deviation : Flow - More					
9a	Jika Level Valve driven open: -potensi untuk low level - potensi gas blowby ke Export Line -potensi untuk overpressure - potensi untuk leaking/rupture -potensi untuk fire/explosion.	-Inherently safer design of pipeline (1440 psig) -PSHH set pada 600 psig → close SDV -LALL 103B akan shutdown SDV V103	4	1	4
9b	Jika Level Valve driven open : -potensi untuk less flow pada compressor suction -potensi untuk surging -potensi untuk severe vibration leading ke compressor damage - potensi untuk leaking/rupture -potensi untuk fire/explosion.	-Anti-surge controller: recycle flowrate ke suction → mencegah surging effect -PALL set pada 140 psig : Shutdown compressor dengan closing fuel gas valve -Vibration sensor: shutdown compressor dengan closing fuel gas valve. -Operaker routine surveillance ke check level	4	1	4
9c	Jika Anti-surge controller fails high (normal : low): -potensi untuk further surging -potensi untuk severe vibration → compressor damage - potensi untuk leaking/rupture -potensi untuk fire/explosion.	-Operator routine surveillance check suhu, action bila perlu -Shutdown compressor dengan closing fuel gas valve	4	1	4

9d	Jika <i>BDV fails open</i> : -potensi <i>compressor overspeed</i> -potensi untuk <i>severe vibration leading ke compressor damage</i> - potensi untuk <i>leaking/rupture</i> -potensi untuk <i>fire/explosion</i> .	-Switch <i>BDV: fast stop compressor</i> dengan <i>closing fuel gas valve</i> - <i>Overspeed switch : shutdown compressor</i> dengan <i>closing fuel gas valve</i> - <i>Vibration sensor: shutdown compressor</i> dengan <i>closing fuel gas valve</i>	4	1	4
	Jika <i>BDV fails open</i> : -potensi <i>unnecessary gas flaring</i> -potensi untuk <i>severe vibration & production loss</i> -Potensi <i>Environment pollution</i> - potensi untuk <i>leaking/rupture</i> -potensi untuk <i>fire/explosion</i> .	-Switch <i>BDV: fast stop compressor</i> dengan <i>closing fuel gas valve</i> - <i>PALL set</i> pada 200 psig : <i>Shutdown compressor</i> dengan <i>closing fuel gas valve</i>	1	3	3
C.Guideword & Deviation : Temperature Higher					
10a	Jika <i>Cooler fails</i> ketika <i>anti-surge valve opened</i> : -potensi <i>high temperature in Compressor suction</i> - potensi untuk <i>further overheating in Compressor discharge</i> - potensi untuk <i>leaking/rupture</i>	-Operaker <i>routine surveillance</i> untuk <i>check suhu, action</i> bila perlu - <i>Corrosion inhibitor injection</i> pada <i>departing line</i> untuk <i>control corrosion</i> pada <i>subsea pipeline</i> .	4	1	4
10b	Jika <i>Cooler fails</i> : - potensi untuk <i>occupational accident</i> trigger dengan <i>fan blade impact/fan belt broken impact</i> . -Potensi untuk <i>personnel exposure</i> .	- <i>Predictive maintenance</i> untuk analisis <i>vibration data/ temperature data</i> dengan <i>thermograph</i> untuk mencegah <i>fan blade/fan belt deterioration</i> - <i>Vibration switch</i> → <i>shut off fan motor</i>	4	1	4
10c	Jika <i>Cooler fails</i> ketika <i>anti-surge valve</i> terbuka: - Potensi suhu tinggi di <i>suction kompresor</i> -Potensi untuk <i>further overheating</i> pada <i>compressor discharge</i> - potensi untuk <i>leaking/rupture</i> -potensi untuk <i>fire/explosion</i> .	- <i>TAH alarm control room</i> dan <i>alert operator</i> untuk <i>investigate</i> dan <i>repair anti-surge controller</i> - <i>TAHH</i> pada 240 F will <i>shut off compressor</i> dengan <i>closing fuel gas valve</i> . - <i>Operator routine surveillance</i> untuk <i>check suhu, action</i> bila perlu - <i>Vibration switch</i> → <i>shut off fan motor</i> .	4	1	4

Keterangan: 1) HAZOP di atas merupakan hasil studi revalidasi dengan mempertimbangkan perubahan yang terjadi di dalam proses dan perusahaan yang berdampak pada studi sebelumnya, 2) Dampak ke pekerja (*people*) tidak termasuk dampak ke lingkungan dan aset/reputasi, 3) Faktor Penilaian risiko: C=*Consequences*, L=*Likelihood* & R=*Risk*, 4) Lambang huruf parameter node dan parameter proses:

- S=*Safety*
- U=*Unit*, V=*Valve*, C=*Compressor*,
- P=*Pressure*, T=*Suhu*, L=*Level*
- A=*Alarm*, SD=*Shut-down*, BD=*Blow-down*
- H=*High*, HH = *High High*
- L=*Low*, LL = *Low low*

Semua potensi terhadap *fire/explosion*, berpotensi untuk berdampak pada *personnel exposure/ environmental pollution/asset loss/ production loss/reputation damage*.

PEMBAHASAN

Memilih *node*

Node dalam konteks review HAZOP merupakan potongan bagian-bagian dari proses yang dianggap memiliki ukuran desain umum yang biasanya memiliki kesamaan tekanan, suhu atau parameter lain yang sama. Selama persiapan, *node* HAZOP harus ditentukan berdasarkan gambar (P&ID dan/atau PFD). Harus dapat dipastikan bahwa maksud desain setiap node dapat dengan jelas dipahami oleh tim pelaksana HAZOP. Masing-masing *guideword* yang diterapkan pada setiap parameter proses harus relevan untuk setiap *node* dari proses. Node yang diangkat pada penelitian ini adalah kompressor yang akan dikaji berdasarkan P&ID dan PFD *existing* pada *gas compressor*. Node ini hanya merupakan bagian kecil dari proses keseluruhan anjungan lepas pantai PT.X namun menggambarkan salah satu instalasi yang memiliki dampak risiko yang cukup besar.

Parameter Proses

Penerapan parameter akan tergantung pada jenis proses, peralatan dan maksud proses yang terjadi di dalam Gas Compressor. Parameter untuk digunakan dalam studi HAZOP dapat diklasifikasikan ke dalam kategori berikut: 1) Kondisi proses fisik yang berhubungan dengan sifat media input, kondisi atau dinamika sistem; 2) Parameter berwujud non-fisik yang terkait dengan proses tipe batch; 3) Parameter yang terkait dengan operasi sistem.

Pada *gas compressor*, parameter proses yang ditentukan dalam studi ini adalah suhu dan flow. Perlu dicatat dikarenakan studi ini merupakan revalidasi HAZOP, maka tidak semua parameter proses yang berubah yang dikaji kembali di dalam revalidasi HAZOP ini. Parameter penting lainnya seperti tekanan, level dan parameter lainnya tidak menjadi bagian karena sudah masuk dalam kategori risiko kecil dan telah difollow-up pada studi HAZOP pertama dan selanjutnya.

Guidewords

Kajian HAZOP dilakukan dalam sesi kelompok yang melibatkan sejumlah pakar dengan pengetahuan dan pengalaman proses, peralatan dan operasi dengan melakukan *brainstorming* setiap node dengan menerapkan sejumlah parameter proses dasar dan *Guidewords*. Semua parameter proses dan *guidewords* (untuk menentukan jenis deviasi) harus diterapkan pada setiap node proses. Parameter dan *guidewords* berikut yang biasa digunakan dalam HAZOP. *Guideword* yang digunakan dalam studi ini adalah *higher*, *more* dan *no*. Perlu dicatat dikarenakan studi ini merupakan revalidasi HAZOP, maka tidak semua *guidewords* dikaji kembali di dalam revalidasi HAZOP ini. *Guidewords* penting lainnya seperti *less*, *batch* dan *guidewords* lainnya tidak menjadi bagian HAZOP karena sudah masuk dalam kategori risiko kecil dan telah difollow-up pada studi HAZOP pertama dan selanjutnya.

Penyebab konsekuensi

Penyebab konsekuensi dalam studi ini menyebutkan beberapa peralatan pendukung seperti *Pressure Safety Valve*, *Shut-Down Valve*, *demister*, *Level Valve* maupun peralatan utama seperti *Cooler* dan *Compressor*. Peralatan ini diberikan aksi yang berpotensi menimbulkan kegagalan/konsekuensi seperti *plugged*, *driven closed/open*, *failed closed/open*, *stop* atau *fails*. Kesemua padanan tersebut menjelaskan daftar penyebab yang dapat terjadi pada operasi *Gas Compressor*.

Konsekuensi

Semua konsekuensi harus diangkat pada saat workshop pembahasan HAZOP terutama kebocoran hidrokarbon dan kecelakaan personel di area terdampak pada pengolahan minyak dan gas. Perkiraan konsekuensi dibuat sesuai dengan matriks risiko serta mengukur tingkat dampak konsekuensi yang terkait dengan keselamatan, lingkungan, dan ekonomi (15). Contoh konsekuensi yang teridentifikasi pada studi HAZOP ini adalah : 1) Potensi untuk *fire/explosion*, 2) Potensi untuk *less flow* pada *compressor suction*, 3) Potensi untuk *surgings*, 4) Potensi untuk *severe vibration & compressor damage*, 5) Potensi untuk *leaking/rupture*, 6) Potensi *high temperature Compressor suction*, 7) Potensi untuk *further overheating in Compressor discharge*, 8) Potensi untuk *increasing backpressure* ke sumur, 9) Potensi untuk *decreasing oil production*, 10) Potensi untuk *loss of production opportunity*, 11) Potensi untuk *overpressure* pada *well*, 12) Potensi untuk *sea surface gas dispersion/liquid pool*, 13) Potensi untuk *seasurface fire* 14) dll.

Tabel 6. Risk Tolerance Criteria (Risk Matrix)

HAZARD EFFECT (SEVERITY)					Level	PROBABILITY (LIKELIHOOD)					
						The consequence is almost impossible to occur	The consequence is unlikely to occur	The consequence is moderately to occur	The consequence is likely to occur	The consequence is almost certain to occur	The consequence is definitely to occur
People	Environment	Asset (Cost)	Reputation	Legal		1 Almost impossible	2 Very Low	3 Low	4 Medium	5 High	6 Very High
> 2 Fatality	Major impact to the environment, total Loss of Containment (≥ 500 bbls)	Major Loss ≥ US\$ 100 M	National impact	License to operate revoked	5 Catastrophic	5	10	15	20	25	30
1-2 Fatality	Significant impact to the environment, significant Loss ≥ 100 - 500 bbls	Significant Loss ≥ US\$ 10 M - 100 M	Regional impact	Significant penalty from regulator	4 Major	4	8	12	16	20	24
Permanent Disability, Lost Time Injury	Moderate impact to the environment, significant Loss ≥ 15 - 100 bbls	Moderate Loss ≥ US\$ 1 M - 10 M	Local impact	Moderate penalty from regulator	3 Moderate	3	6	9	12	15	18
Restricted Work, Medical Treatment	Slight impact to the environment, minor Loss ≥ 1 - 15 bbls	Minor Loss ≥ US\$ 100 k - 1 M	Internal impact	Warning from regulator	2 Minor	2	4	6	8	10	12
First Aid Injury	Minimum impact to the environment, not significant Loss < 1 bbls	Not significant Loss < US\$ 100k	Not significant impact	Not significant reaction from regulator	1 Slight	1	2	3	4	5	6

Safeguards

Langkah penting berikutnya adalah mengidentifikasi apakah sistem rekayasa (sebagaimana didefinisikan dalam P&ID dan informasi teknik lainnya) dan kontrol administratif dapat mengatasi keselamatan dan kesehatan pekerja berdasarkan konsekuensi dari semua penyimpangan. Penelitian juga mempertimbangkan jika operasional/produksi terganggu ketika salah satu penyimpangan terjadi. Semua *safeguards* (pengendalian teknis dan administratif) harus dicatat dalam lembar *log* HAZOP. Berikut adalah jenis *safeguards* yang teridentifikasi pada studi ini yaitu PSHH, LAHH, PALL, LALL, TAH, TAHH, BDV, *switch* dll. Semua *safeguards* tersebut merupakan hasil kajian dokumen teknis seperti P&ID, lay-out, PFD maupun desain instalasi dan *safeguards* yang melibatkan manusia seperti surveillance control room dan operator.

Dari tabel di atas disimpulkan hasil kajian dari penjabaran parameter pada *node* kompresor anjungan lepas pantai PT.X, sebagai berikut : 1) Terdapat 3 variasi *guideword* dan deviasi yang teridentifikasi pada studi revalidasi HAZOP ini menggunakan *guideword* ‘flow dan suhu’ serta deviasi ‘no, more dan higher’. 2) Bahwa terdapat 10 penyebab deviasi yang dapat terjadi pada *node* kompresor anjungan lepas pantai PT.X dengan variasi *guideword* dan deviasi yang melibatkan berbagai peralatan seperti *cooler*, BDV, kompresor dll. 3) *Safeguard* yang digunakan untuk mencegah konsekuensi terdiri atas berbagai instrumen seperti PSHH, LAHH, PALL, LALL, TAH, TAHH, BDV, *switch* dll termasuk di dalamnya prosedur operator untuk surveillance dan desain instalasi. 4) Pada *node* kompresor ini, teridentifikasi 19 konsekuensi yang dapat terjadi dengan rincian sebagai berikut: a) Teridentifikasi 2 konsekuensi dengan nilai rating kategori risiko sedang, b) Teridentifikasi 17 konsekuensi dengan nilai rating kategori risiko rendah, 5) Setelah dilakukan analisis terhadap potensi bahaya yang teridentifikasi, berikut temuan yang perlu mendapat *follow-up* terhadap *node* kompresor anjungan lepas pantai PT.X: a) Perlunya klarifikasi dan kajian terhadap pengaturan perlindungan tekanan berlebih pada anjungan dikarenakan potensi dampak yang besar (kemungkinan *sea surface gas dispersion/liquid pool* yang dapat menjadi *sea surface fire*). b) Sehubungan dengan hal tersebut, perlu dipertimbangkan *resetting* PSV gas compressor dengan *setting* nilai tekanan le besaran yang lebih tinggi.

Kriteria Toleransi Risiko (*Risk matrix*)

Besarnya konsekuensi dan frekuensinya ditinjau menggunakan matriks risiko untuk menentukan apakah risiko tersebut dapat diterima atau tidak. Matriks risiko yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada Matriks Risiko PT.X seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 di bawah.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa studi ini mempunyai 3 variasi *guideword* dan deviasi, 10 penyebab konsekuensi dengan 2 konsekuensi berisiko sedang dan 17 konsekuensi berisiko rendah.

SARAN

Rekomendasi saran, perlu adanya *follow-up* dari perusahaan untuk melakukan pertimbangan terhadap pengaturan perlindungan *overpressure* pada anjungan termasuk *resetting* nilai tekanan PSV pada *Gas Compressor*.

DAFTAR PUSTAKA

1. IOGP. Latest safety report shows reduction in fatal accidents [Internet]. 2019 [cited 2022 Jun 19]. Available from: <https://www.iogp.org/blog/oil-and-gas-safety/latest-safety-report-shows-reduction-in-fatal-accidents/>
2. Summerhayes C. Deep Water – The Gulf Oil Disaster and the Future of Offshore Drilling. Vol. 30, Underwater Technology. 2011. 113–115 p.
3. Keramea P, Spanoudaki K, Zodiatis G, Gikas G, Sylaios G. Oil spill modeling: A critical review on current trends, perspectives, and challenges. *J Mar Sci Eng*. 2021;9(2):1–41.
4. ISO 31000. ISO 31000 Risk management. British Standard. 2018.
5. Lestari, F., Laksita R. H., Ike, P.,, Rinaldi Y. Keselamatan Kebakaran (Fire Safety). 2021. 325 p.
6. Manikandan K. Analysis on Preventing Unforeseen Process Safety Events in Chemical industries Analysis on Preventing Unforeseen Process Safety Events in Chemical Process Industries. 2022;(May).
7. Rausand;Haugen. Risk Assessment: Theory, Methods and applications. Vol. 3, Johns Wiley & Sons, Inc. 2020. 103–111 p.
8. Penelas A de J, Pires JCM. Hazop analysis in terms of safety operations processes for oil production units: A case study. *Appl Sci*. 2021 Nov 1;11(21).
9. Pérez-Marín M, Rodríguez-Toral MA. HAZOP - Local approach in the Mexican oil & gas industry. *J Loss Prev Process Ind* [Internet]. 2013;26(5):936–40. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jlp.2013.03.008>
10. Bridges WG, Tew R, Massello MA. Best practices for PHA revalidations. *Glob Congr Process Saf* 2018, GCPS 2018 - Top Conf 2018 AIChE Spring Meet 14th Glob Congr Process Saf. 2018;2:785–99.
11. Reich S. HAZOP Guide. 2009. 9 p.
12. Hyatt N. Guidelines for Process Hazards Analysis (PHA, HAZOP) : Hazards Identification, and Risk Analysis [Internet]. 2018 [cited 2022 Jun 19].
13. Johansen IL, Rausand M. Barrier management in the offshore oil and gas industry. *J Loss Prev Process Ind* [Internet]. 2015;34:49–55. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jlp.2015.01.023>
14. Sydney SA of A. Risk Management Standard AS/NZS 4360. Stand Assoc Aust Sydney [Internet]. 1999;52. Available from: http://www.epsonet.eu/mediapool/72/723588/data/2017/AS_NZS_4360-1999_Risk_management.pdf
15. Trevor Kletz. Learning from events. Vol. 59. 2001.