



Ranah Research :

Journal of Multidisciplinary Research and Development

+62 821-7074-3613

ranahresearch@gmail.com

<https://jurnal.ranahresearch.com/>



Perancangan Sistem Pengendalian Risiko Menggunakan *Simplified Bowtie Analysis* pada Fasilitas FSO Federal II di PT XYZ

Shaula Irlandy Ramadhania Purwanto¹, Yunita Nugrahaini Safrudin², Hadi Susanto³

¹ Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom, Indonesia,

shaulairlandy@student.telkomuniversity.ac.id

² Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom, Indonesia,

yunitanugrahainis@telkomuniversity.ac.id

³ Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom, Indonesia, hadist@telkomuniversity.ac.id

Corresponding Author: shaulairlandy@student.telkomuniversity.ac.id

Abstract: *The oil and gas industry in Indonesia, including PT XYZ which manages domestic oil and gas, faces high complexity and risk. PT XYZ's operations are supported by several offshore platforms and facilities which have various potential risks. Process safety is a top priority to prevent major incidents or major accidents. PT XYZ uses Process Hazard Analysis (PHA) which needs to be revalidated every five years to ensure procedures comply with current conditions. This research focuses on the FSO Federal II facility owned by PT XYZ, a 200 thousand barrel capacity crude oil storage vessel with a high potential risk of major incidents. PT XYZ uses the HAZOP and HAZID methods in PHA to identify risks. However, PT XYZ does not yet have a direct control system for workers. This research aims to create a risk control system that can be used by Federal II FSO workers as a work guide. This work guide will help in handling undesirable events that have the potential to cause major incidents. Proposed improvements include creating a work guidance document based on risk identification using Bowtie Analysis, which produces a mapping diagram of causes, peak events, hazards and consequences. The bowtie diagram will be simplified to make things easier for workers, considering the large number of processes in FSO Federal II. This guideline will help workers prevent major incidents from occurring.*

Keyword: *Process Safety, Major Incident, Process Hazard Analysis, HAZOP, HAZID.*

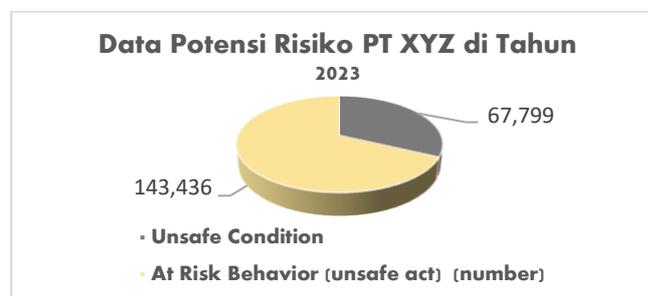
Abstrak: Industri minyak dan gas di Indonesia, termasuk PT XYZ yang mengelola minyak dan gas dalam negeri, menghadapi kompleksitas dan risiko tinggi. Operasional PT XYZ didukung oleh beberapa *platform* dan fasilitas *offshore* yang memiliki berbagai potensi risiko. Keselamatan proses menjadi prioritas utama untuk mencegah *major incident* atau kecelakaan besar. PT XYZ menggunakan *Process Hazard Analysis* (PHA) yang perlu direvalidasi setiap lima tahun untuk memastikan prosedur sesuai dengan kondisi terkini. Penelitian ini berfokus

pada fasilitas FSO Federal II milik PT XYZ, sebuah kapal penyimpanan minyak mentah berkapasitas 200 ribu barel dengan potensi risiko *major incident* yang tinggi. PT XYZ menggunakan metode HAZOP dan HAZID dalam PHA untuk mengidentifikasi risiko. Namun, PT XYZ belum memiliki sistem pengendalian langsung untuk pekerja. Penelitian ini bertujuan membuat sistem pengendalian risiko yang dapat digunakan oleh pekerja FSO Federal II sebagai pedoman kerja. Pedoman kerja ini akan membantu dalam menangani peristiwa tidak diinginkan yang berpotensi menyebabkan *major incident*. Usulan perbaikan mencakup pembuatan dokumen pedoman kerja berdasarkan identifikasi risiko menggunakan *Bowtie Analysis*, yang menghasilkan diagram pemetaan penyebab, peristiwa puncak, hazard, dan konsekuensinya. Diagram *bowtie* akan disederhanakan untuk mempermudah pekerja, mengingat banyaknya proses di FSO Federal II. Pedoman ini akan membantu pekerja dalam pencegahan agar *major incident* tidak terjadi.

Kata Kunci: Keselamatan Proses, *Major Incident*, *Process Hazard Analysis*, HAZOP, HAZID.

PENDAHULUAN

PT XYZ merupakan perusahaan yang berfokus pada kegiatan eksplorasi dan pertambangan minyak dan gas dalam negeri. Selain itu, PT XYZ juga melakukan kegiatan penggalian sumur untuk mendapatkan gas dan minyak bumi yang kemudian diolah menjadi berbagai produk. Industri minyak dan gas, selalu menghadapi risiko *major incident* atau kecelakaan besar yang dapat mengakibatkan konsekuensi bencana, termasuk banyaknya korban jiwa, tumpahan minyak dalam jumlah besar, dan kerusakan aset. Berikut merupakan data potensi risiko yang terdapat di PT XYZ untuk tahun 2023.

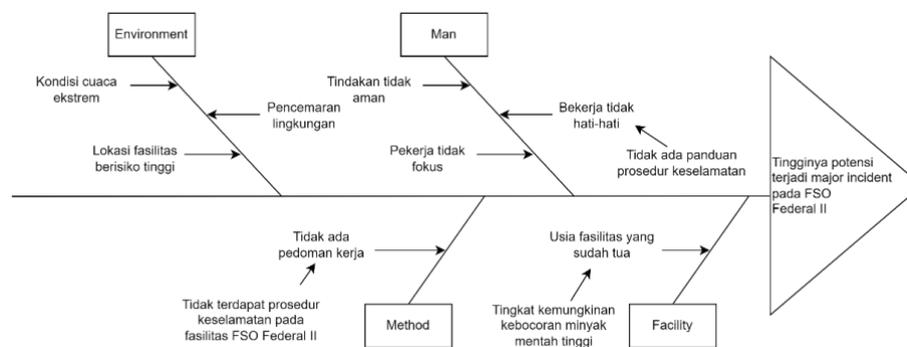


Gambar 1. Jumlah Potensi Risiko pada PT XYZ di tahun 2023

Eksplorasi minyak mentah yang dilakukan oleh PT XYZ dilaksanakan dengan bantuan dari *platform* yang digunakan sebagai penunjang kegiatan eksplorasi. *Platform* merupakan tempat yang berlokasi di lepas pantai dan berfungsi untuk melakukan pengambilan minyak, kemudian minyak tersebut akan ditransfer ke *processing platform* untuk dilakukan pemisahan minyak mentah dengan gas, air, dan zat-zat lainnya. PT XYZ menempati wilayah kerja di area blok *Southeast Sumatra*. Blok tersebut merupakan salah satu blok tertua yang ada di Indonesia. Usia blok berpengaruh dengan tingginya potensi terjadinya *major incident*. Selain *platform*, PT XYZ juga memiliki beberapa fasilitas *offshore* yang berfungsi sebagai penunjang aktivitas eksplorasi. PT XYZ berusaha untuk mengelola *platform* dan fasilitas *offshore* yang memiliki potensi terjadi *major incident* yang diakibatkan dari kegagalan operasi dan kebocoran minyak mentah yang dapat menyebabkan terjadinya kebakaran, ledakan, kecelakaan, pencemaran lingkungan, dan dampak lain terhadap lingkungan sekitar kegiatan operasi. Hal tersebut memerlukan adanya *Process Hazard Analysis* (PHA) yang bertujuan untuk mengidentifikasi potensi bahaya, menentukan penyebab bahaya,

memperkirakan konsekuensi dan kemungkinan terjadinya peristiwa berbahaya, serta menentukan langkah-langkah pengurangan risiko yang tepat untuk meminimasi risiko hingga tingkat yang paling rendah.

Penelitian ini berfokus pada *processing platform* dan fasilitas *offshore* FSO Federal II yang disebabkan oleh berbagai pertimbangan mengenai bahaya yang terdapat pada *platform* dan fasilitas tersebut. Fasilitas FSO Federal II merupakan sebuah tangki penyimpanan yang dapat memuat hingga 200 ribu barel minyak mentah. Dibandingkan dengan FSO Federal I, daya tampung minyak mentah pada satu *platform* jauh lebih sedikit, yaitu maksimal hanya 20 ribu barel. Oleh karena itu, dengan banyaknya daya tampung pada FSO Federal II yang lebih banyak, maka risiko-risiko yang terdapat pada FSO Federal II juga lebih banyak. Selain itu, potensi risiko juga bersumber dari kondisi dan tindakan tidak aman yang dilakukan oleh para pekerja, lingkungan fasilitas yang memiliki banyak risiko dalam kerusakan aset, serta faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi seperti arus laut yang tinggi, angin kencang, dan lain sebagainya. Untuk menganalisis akar permasalahan pada fasilitas FSO Federal II, digunakan diagram *fishbone* yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Fishbone Permasalahan pada PT XYZ

Metode terpilih yang akan digunakan untuk mengatasi tingginya potensi terjadinya *major incident* adalah HAZOP (*Hazard and Operability Study*) dan HAZID (*Hazard Identification*). Serta *Bowtie Analysis* yang digunakan untuk menunjukkan gambaran mengenai suatu risiko untuk kemudian dilakukan analisis mengenai pencegahan yang dapat dilakukan untuk mengurangi risiko. Keluaran yang dihasilkan dari penelitian ini berupa panduan mengenai rencana tanggap darurat, melindungi pekerja dan aset yang dimiliki oleh PT XYZ dari terjadinya *major incident*.

METODE

Sebelum melakukan penelitian, hal pertama yang dilakukan adalah melakukan pengumpulan data yang diperlukan, seperti data primer dan data sekunder. Data primer terdiri dari daftar aktivitas pada FSO Federal II dan hasil wawancara terhadap *stakeholder* yang bersangkutan. Data sekunder terdiri dari data kriteria penilaian risiko, gambar revalidasi FSO Federal II, dan proses bisnis eksisting untuk fasilitas FSO Federal II.

Pada penelitian ini menggunakan beberapa metode, yaitu metode HAZOP (*Hazard and Operability Study*) dan HAZID (*Hazard Identification*) yang menjadi *tools* dalam mengolah data primer dan data sekunder. Metode HAZOP digunakan untuk mengidentifikasi risiko-risiko yang terdapat pada proses-proses yang ada pada fasilitas FSO Federal II. Langkah-langkah yang dilakukan pada metode HAZOP adalah penentuan node, penentuan parameter, penentuan deviasi, penentuan daftar risiko, serta penentuan *safeguard* untuk masing-masing risiko. Sedangkan pada metode HAZID, langkah-langkah yang dilakukan adalah penentuan node, penentuan parameter, penentuan daftar risiko, serta penentuan *safeguard* untuk masing-masing risiko.

Penilaian risiko dilakukan pada masing-masing item risiko yang telah teridentifikasi pada HAZOP dan HAZID. Penilaian dilakukan dengan cara mengalikan nilai *likelihood* dan *severity* pada masing-masing item risiko. Hasil dari penilaian risiko kemudian dipetakan pada matriks risiko untuk mengetahui risiko tertinggi hingga risiko terkecil. Dari hasil pemetaan ini, didaatkan 10 level risiko tertinggi. Selanjutnya, dari seluruh item risiko yang terpilih, dilakukan pemberian *safeguard* yang bertujuan untuk mencegah terjadinya *top event* yang menjadi pemicu *major incident*. Setelah melakukan pengolahan data sampai penentuan *safeguard*, langkah selanjutnya adalah membuat perancangan pedoman kerja berupa diagram *bowtie* beserta simplifikasinya menggunakan metode *Bowtie Analysis*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Keselamatan kerja adalah sebuah disiplin ilmu yang berhubungan dengan aktivitas pekerjaan manusia yang bertujuan untuk melindungi pekerja dari bahaya yang dapat timbul dalam pelaksanaan kegiatan operasional pada suatu pekerjaan (Wahyuni et al., 2018). Contohnya pada bidang industri, manufaktur, konstruksi yang melibatkan aktivitas dengan mesin, peralatan, serta penanganan material, landasan tempat kerja dan lingkungannya.

Process Safety

Keselamatan proses atau *process safety* adalah sebuah kerangka kerja disiplin yang digunakan untuk mengelola integritas sistem operasi dan proses yang menangani zat berbahaya (IOGP Report 415). Keselamatan proses melibatkan berbagai aspek seperti identifikasi dan analisis bahaya, analisis risiko dan langkah-langkah mitigasi, pemodelan insiden, analisis dampak, serta banyak area lainnya. Tujuan dari keselamatan proses dan adalah untuk mencegah pelepasan tak terduga yang dapat mengakibatkan insiden besar. Pada industri minyak dan gas, keselamatan sistem yang rumit dan berisiko tinggi sangat bergantung pada sejumlah faktor manusia, teknologi, dan organisasi yang berperan (Gao et al., 2019).

Major Accident Hazard (MAH)

Major Accident Hazard adalah setiap bahaya yang berpotensi menyebabkan kerugian besar, yaitu kejadian yang menghasilkan konsekuensi atau dampak dengan kriteria tertinggi menurut matriks risiko yang digunakan perusahaan. MAH dapat berupa emisi besar, kebakaran, atau ledakan yang menyebabkan bahaya serius bagi kesehatan manusia dan/atau lingkungan, baik segera maupun tertunda, baik di dalam maupun di luar fasilitas, yang melibatkan satu atau lebih bahan berbahaya (Qaeem M et al., 2019).

Penilaian Risiko

Penilaian risiko atau *risk assessment* merupakan kegiatan yang bertujuan untuk mengevaluasi besarnya risiko dan dampak yang kemungkinan akan ditimbulkan dari suatu bahaya. Penilaian risiko digunakan sebagai langkah yang digunakan untuk menentukan tingkat risiko ditinjau dari kemungkinan kejadian dan keparahan yang dapat ditimbulkan. Tingkat risiko dapat ditentukan berdasarkan hasil analisis, yang memungkinkan pengelompokan risiko menjadi risiko dengan dampak signifikan terhadap suatu pekerjaan dan risiko dengan dampak rendah atau tidak berdampak sama sekali. Penilaian risiko dapat dianalisis berdasarkan skala kemungkinan (*likelihood*) dan tingkat keparahan (*severity*). Kemungkinan (*likelihood*) atau nilai probabilitas suatu peristiwa adalah nilai yang menunjukkan seberapa besar kemungkinan peristiwa akan terjadi (Aprilla & Yulhendra, 2023). Berikut merupakan tabel kriteria *likelihood*.

Tabel 1. Kriteria Likelihood

Tingkat	Kriteria	Keterangan
A	Almost certain	Dapat terjadi setiap saat
B	Likely	Sering terjadi
C	Possible	Dapat terjadi namun tidak sering
D	Unlikely	Kadang-kadang terjadi
E	Rare	Dapat terjadi dalam keadaan tertentu

Tingkat keparahan (*severity*) adalah nilai yang menunjukkan pertimbangan dampak yang akan terjadi jika paparan bahaya tersebut benar-benar terjadi (Aprilla & Yulhendra, 2023). Berikut merupakan tabel kriteria *severity*.

Tabel 2. Kriteria Severity

Tingkat	Kriteria	Keterangan
5	Catastrophic	Fatal \geq 1 orang, kerugian sangat besar dan dampak sangat luas, terhentinya seluruh kegiatan
4	Major	Cidera berat \geq 1 orang, kerugian besar, gangguan produksi
3	Moderate	Cidera sedang, perlu penanganan medis, kerugian finansial besar
2	Minor	Cidera ringan, kerugian finansial sedang
1	Insignifant	Tidak terjadi cidera, kerugian finansial sedikit

Perhitungan penilaian risiko dilakukan dengan menggunakan rumus seperti yang ditampilkan pada gambar di bawah

$$\text{Risk} = \text{Likelihood (L)} \times \text{Severity (S)}$$

Gambar 3. Persamaan Penilaian Risiko

Berikut merupakan matriks yang menunjukkan hasil penilaian risiko setelah dilakukan penilaian *likelihood* dan *severity*.

	Insignificant 1	Minor 2	Significant 3	Major 4	Severe 5
5 Almost Certain	Medium 5	High 10	Very high 15	Extreme 20	Extreme 25
4 Likely	Medium 4	Medium 8	High 12	Very high 16	Extreme 20
3 Moderate	Low 3	Medium 6	Medium 9	High 12	Very high 15
2 Unlikely	Very low 2	Low 4	Medium 6	Medium 8	High 10
1 Rare	Very low 1	Very low 2	Low 3	Medium 4	Medium 5

Gambar 4. Matriks Risiko

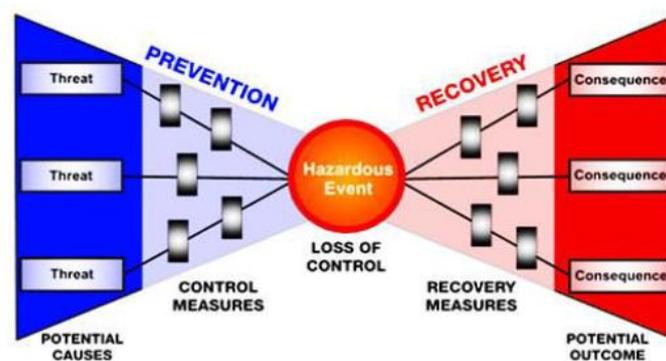
Process Hazard Analysis (PHA)

Process Hazard Analysis (PHA) adalah suatu metode sistematis untuk mengenali, menilai, dan mengendalikan bahaya di fasilitas yang memproses atau menangani bahan berbahaya (Aloqaily, 2019). PHA mencakup proses identifikasi bahaya, penilaian risiko, dan evaluasi tindakan mitigasi untuk menangani bahaya tersebut. Pada penelitian ini, PHA mencakup metode HAZOP (*Hazard and Operability Study*) dan HAZID (*Hazard Identification*). HAZOP adalah salah satu metodologi proses analisis yang digunakan untuk menilai risiko yang memiliki keterkaitan dengan proses operasi untuk melakukan mitigasi terhadap konsekuensinya. Metode HAZOP merupakan salah satu teknik yang paling terstruktur dalam mempelajari bahaya dan masalah mengenai pengoperasian, mengeksplorasi

dampak dari setiap penyimpangan dari suatu desain dan pengoperasian kondisi (Mocellin et al., 2022). HAZID adalah sebuah analisis sistematis untuk mengidentifikasi risiko yang akan terjadi secara kritis sehingga potensi bahaya yang ada dan konsekuensi yang muncul dapat diketahui secara menyeluruh (Mukti & Zabadi, 2023).

Bowtie Analysis

Diagram *bowtie* adalah teknik yang digunakan untuk melakukan identifikasi risiko dan analisis risiko di berbagai industri, seperti petrokimia, penerbangan, pembangunan kapal, dan bahkan di bidang keuangan (Shamseddin Alizadeh et al., 2015). Metode analisis *bowtie* secara jelas menggambarkan hubungan antara penyebab kegagalan atau risiko, kejadian atau risiko itu sendiri, serta pengendalian preventif dan langkah-langkah pemulihan terhadap risiko tersebut. Analisis *bowtie* adalah metode analisis yang menggunakan diagram berbentuk dasi kupu-kupu untuk menggambarkan hubungan antara skenario bahaya, ancaman, pengendalian, dan dampak.



Gambar 5. Diagram Bowtie

Pembahasan

HAZOP (Hazard and Operability Study)

Langkah pertama pada penerapan metode HAZOP adalah menentukan node dari proses yang terdapat pada fasilitas FSO Federal II.

Tabel 3 Node HAZOP

No	Node	Komponen
1	Sistem muatan minyak mentah	Pipeline, manual valve, tank, deck
2	Sistem pembongkaran minyak mentah	manual valve, pump, cargo oil pump, cargo oil tank,
3	Bahan bakar KO drum dan pipa gas	KO drum, cargo oil tank, boiler, ballast pump, surface safety valve, slop tank
4	Sistem perpipaan uap	Boiler, cargo oil tank, slop tank, manual valve, tank cleaning heater

Langkah selanjutnya adalah menentukan *guidewords* yang akan digunakan dalam melakukan analisis HAZOP. *Guidewords* merupakan kata-kata spesifik yang digunakan pada metode HAZOP untuk mendeskripsikan deviasi.

Tabel 4. HAZOP Guidewords

Guideword	Deskripsi
No	None of the objectives is achieved
Less	Quantitative decrease in a parameter
More	Quantitative increase in a parameter
Reverse	Occurs the opposite of what one expects
Other	Full replacement

Selanjutnya dilakukan identifikasi terhadap penyimpangan atau kondisi tidak sesuai yang terjadi selama kegiatan operasi yang dilakukan pada FSO Federal II.

Tabel 5. HAZOP Parameter

Parameter	Deviation
Flow	No flow ; high flow ; low flow ; reverse flow ; misdirected flow
Pressure	More pressure ; less pressure
Level	More level ; less level
Temperature	More temperature ; less temperature
Others	Composition or Phase Changes
	Corrosion / erosion
	Contaminant
	Testing / sampling
	Maintenance / inspection
	Start up
	Shutdown
	Utility Failure
	Leak or rupture
Design Concern	
Drawings	

HAZID (*Hazard Identification*)

Langkah pertama yang dilakukan pada penerapan metode HAZID adalah menentukan node dari proses yang terdapat pada fasilitas FSO Federal II.

Tabel 6. HAZID Node

Node	Fasilitas	Area	Kategori
1	FSO Federal II dan pipa hulu dan hilir yang terkait	Unit FSO Federal II	Area utama

Berikut merupakan *guidewords* yang digunakan dalam analisis menggunakan metode HAZID.

Tabel 7. HAZID Guidewords

Hazard Type	Guideword Category	Guidewords
Eksternal dan Lingkungan	1.1 Hazard Alam dan Lingkungan	1. Iklim ekstrem
		2. Petir
		3. Gempa bumi
		4. Penurunan tanah
		5. Erosi
		6. Serangan hewan buas
		7. Kabut / asap
	1.2 Hazard Manusia	1. Ancaman keamanan internal & eksternal
		2. Kerusuhan sosial / politik
	1.3 Pengaruh Fasilitas terhadap Lingkungan	1. Kedekatan dengan kawasan industri
		2. Kedekatan dengan aktivitas publik
		3. Kedekatan dengan koridor transportasi publik
		4. Pipa atau jalur aliran
	1.4 Emisi dan Pembuangan Lingkungan	1. Pembuangan limbah ke udara
		2. Pembuangan limbah ke saluran air umum
		3. Pembuangan limbah ke tanah

Hazard Type	Guideword Category	Guidewords
		4. Pembuangan limbah darurat
		5. Pembuangan limbah kantor
Hazard Fasilitas	2.1 Hazard Proses	1. Kehilangan gas atau cairan dalam wadah
		2. Kebakaran dan ledakan
	2.2 Hazards Non Proses	1. Kegagalan struktur
		2. Aktivitas pengangkatan oleh crane
		3. Kebakaran non proses
		4. Komunikasi selama kegiatan operasi
	2.3 Hazard Pemeliharaan	1. Persyaratan akses
		2. Persyaratan bypass
3. Persyaratan isolasi		
4. Pelepasan gas dan pengeringan cairan		
2.4 Tata letak dan penempatan	1. Umum	
	2. Perlindungan kebakaran	
	3. Area berkumpul dan jalan evakuasi	
Kesehatan	3.1 Kesehatan dan Keselamatan Pekerja	1. Kontak langsung dengan bahan kimia
		2. Bahaya penyakit
		3. Bahaya sesak napas
		4. Zat beracun
		5. Asap
		6. Kebisingan
		7. Permukaan panas
		8. Permukaan dingin
		9. Listrik
		10. Zat radioaktif
		11. Risiko ergonomis
		12. Bahaya terkait ketinggian
		13. Personel jatuh ke laut
		14. Tanggap darurat

Penilaian Risiko

Penilaian risiko bertujuan untuk menghitung besarnya suatu risiko. Terdapat dua indikator yang mempengaruhi penilaian risiko, yaitu kemungkinan (*likelihood*) dan keparahan (*severity*). Penilaian risiko dilakukan pada hasil identifikasi studi HAZOP dan HAZID. Berikut merupakan hasil penilaian risiko yang dilakukan melalui metode HAZOP dan HAZID.

Tabel 8. Contoh HAZOP Worksheet

Konsekuensi	Severity				Likelihood
	Pe	Ast	Env	Rpt	
Pengendapan minyak mentah di pipa	1	1	1	2	2
Tidak dapat mengalirkan lebih banyak minyak mentah ke FSO	1	2	2	2	
Pengiriman minyak mentah terganggu	1	2	1	2	
Average	1	2	1	2	
Initial Risk	2	4	2	4	

Setelah melakukan pemetaan level risiko untuk setiap item pada studi HAZOP dan HAZID, langkah selanjutnya adalah memilih risiko dengan level yang paling tinggi.

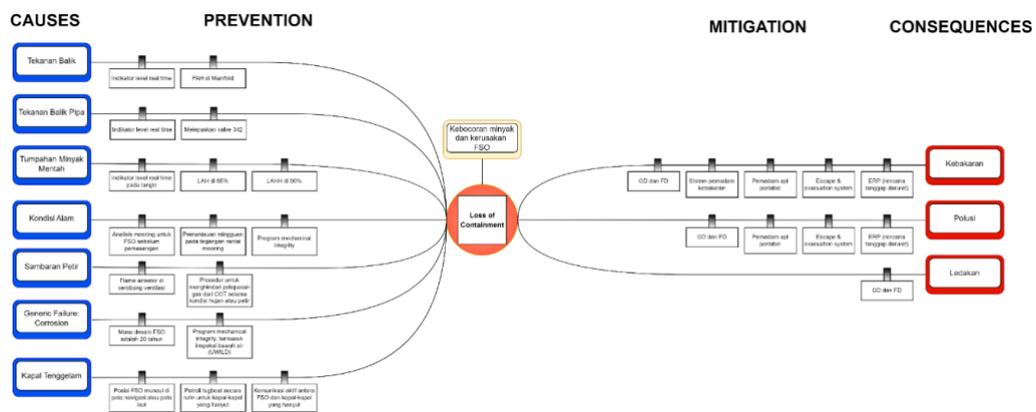
Pemilihan level risiko didasarkan pada pedoman *Major Hazard Analysis* (MAH). Berikut merupakan daftar 10 level risiko tertinggi.

Tabel 9. Level Risiko Tertinggi

Node	Hazard	Kategori	Level Risiko
1.1.2	Manual valve 302 di metering skid tertutup secara tidak sengaja	Hazard proses	5
1.5.2	Tekanan balik tinggi yang disebabkan oleh minyak mentah memasuki tangki yang salah	Hazard proses	5
1.8.1	Tumpahnya minyak mentah akibat pengisian minyak mentah ke FSO dilakukan tanpa adanya pengawasan	Hazard proses	10
3.1.4	Tekanan tinggi akibat katup pengaman di PRS mengalami kerusakan dan manual valve di hilir drum KO tertutup secara tidak sengaja	Hazard proses	10
3.9.1	SSV-11061 mengalami malfungsi	Hazard proses	10
1.EE.3.3.1	Kapal tenggelam bersama FSO, kemungkinan kerusakan, minyak mentah tumpah, ledakan dan kebakaran jika tersulut, cedera pekerja, dan masalah lingkungan	Dampak eksternal	10
1.FA.1.1.1	Pelepasan hidrokarbon melalui kebocoran pipa atau peralatan menyebabkan kebakaran	Hazard proses	10
1.FA.2.1.1	Kehilangan integritas struktural FSO akibat korosi	Kegagalan struktural	10
1.EE.1.1.3	Kondisi angin kencang, pasang surut tinggi, dan arus kuat menyebabkan putusnya mooring chains	Fenomena alam	15
1.EE.1.2.1	Sambaran petir bertepatan dengan pelepasan gas dari COT dapat menyebabkan kebakaran	Fenomena alam	15

Bowtie Analysis

Setelah melakukan identifikasi pada variabel risiko yang ekstrem dari penilaian tingkat risiko, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis menggunakan metode *bowtie* untuk menguraikan penyebab, dampak, dan kontrol dari risiko tersebut. Berikut merupakan contoh hasil dari diagram *bowtie* untuk node 1.

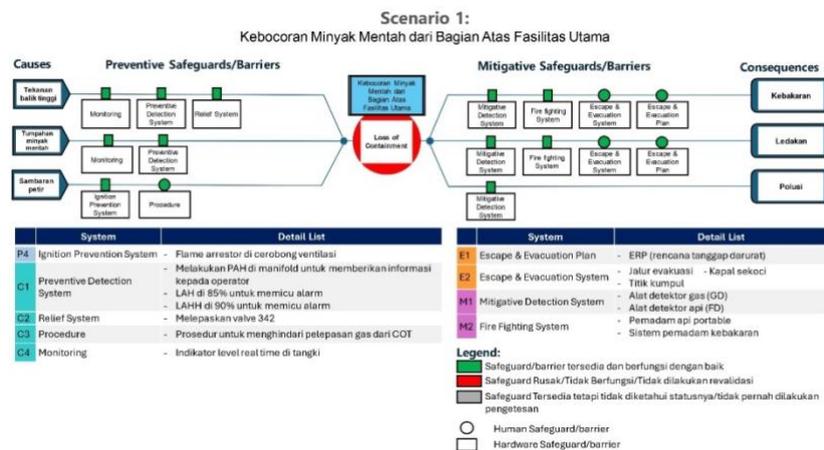


Gambar 6. Diagram Bowtie Node 1

Peristiwa puncak pada diagram *bowtie* di atas adalah *loss of containment*. *Loss of containment* adalah kejadian ketika zat berbahaya tidak lagi tertahan dalam tampungan tangki penyimpanan, pipa, atau peralatan proses. Kejadian tersebut dapat menyebabkan kebocoran yang berpotensi menimbulkan risiko keselamatan, kesehatan, serta berdampak pada lingkungan sekitar.

Simplifikasi Diagram Bowtie

Pada tahap ini, diagram *bowtie* yang sudah dibuat akan dilakukan simplifikasi. Tujuan utama simplifikasi diagram *bowtie* dibuat adalah untuk memberikan visualisasi yang lebih jelas dan mudah dipahami tentang hubungan antara penyebab, peristiwa puncak, dan konsekuensi dari suatu *hazard*. Simplifikasi diagram *bowtie* dilakukan dengan mengelompokkan beberapa peristiwa puncak yang identik. Hasil pengelompokan tersebut akan menghasilkan beberapa skenario dari masing-masing diagram *bowtie*. Berikut merupakan salah satu contoh hasil simplifikasi diagram *bowtie*.



Gambar 7. Simplifikasi Diagram Bowtie

Penggunaan diagram simplifikasi *bowtie* oleh para pekerja di FSO Federal II harus dilakukan secara efektif. Usulan penggunaan diagram simplifikasi *bowtie* yang diberikan penulis adalah PT XYZ dapat mencetak menjadi poster dan diletakkan pada area *control room* dan menyediakan map atau folder sebagai arsip. Selain diletakkan pada *control room*, PT XYZ dapat menempel poster simplifikasi diagram *bowtie* tersebut pada peralatan atau area yang sesuai dengan penyebab-penyebab yang berpotensi menimbulkan terjadinya *major incident*. Hal ini dilakukan agar para pekerja dapat lebih mudah untuk melihat rencana tanggap darurat yang harus dilakukan ketika terjadi kejadian yang tidak diinginkan.

Simplifikasi diagram *bowtie* juga harus diperhatikan masa berlakunya. Karena di dalam diagram tersebut terdapat daftar *safeguard* yang dimiliki oleh PT XYZ untuk membantu mencegah terjadinya *major incident*, maka perlu adanya pemantauan. Pemantauan dapat dilakukan selama satu bulan sekali untuk memastikan *safeguard* yang terdapat di FSO Federal II masih berfungsi dengan baik. Pemantauan dapat dilakukan melalui komunikasi dengan pekerja pada FSO Federal II dengan cara mengirimkan formulir mengenai status *safeguard* yang saat itu sedang digunakan.

Tabel 10. Pemantauan Safeguard

No	Safeguard	Intention	Monitoring Status	Action Item/ Tindak Lanjut	Concern	PIC	Due Date
4	Analisis <i>mooring</i> untuk FSO sebelum pemasangan	Preventive Maintenance					
	Program mechanical integrity	Preventive Maintenance					
5	Flame arrestor di cerobong ventilasi	Ignition Prevention System					
6	Masa desain FSO adalah 20 tahun	Inherently Safer Design					
7	Posisi FSO muncul di peta navigasi atau peta laut	Navigation Aid					

KESIMPULAN

Berdasarkan identifikasi risiko dengan metode HAZOP dan HAZID, hasil analisis mencakup deviasi, konsekuensi, dan tindakan mitigasi. Analisis HAZOP mengidentifikasi empat node dengan total 31 risiko, dan lima risiko tertinggi berasal dari node 1 dan 3, yang didokumentasikan dalam kertas kerja HAZOP. Analisis HAZID mengidentifikasi potensi bahaya secara umum, menilai risiko, mengklasifikasikan risiko, dan menentukan tindakan mitigasi, dengan lima risiko tertinggi yang didokumentasikan dalam kertas kerja HAZID. Hasil identifikasi ini membantu PT XYZ memahami potensi risiko dan bahaya di FSO Federal II.

Tahap pertama perancangan pengendalian risiko adalah memetakan item risiko tertinggi, kemudian dilakukan pembuatan diagram *bowtie*. Diagram ini kemudian disimplifikasi menjadi pedoman kerja bagi pekerja di FSO Federal II, dengan pemantauan untuk memastikan relevansinya melalui tabel *safeguard*.

REFERENSI

- Aloqaily, A. (2019). Effective Implementation of Process Hazard Analysis in Challenging Working Environments. In *SYMPOSIUM SERIES NO* (Vol. 166).
- Aprilla, B. F., & Yulhendra, D. (2023). Penerapan Metode HIRARC dalam Menganalisis Risiko Bahaya dan Upaya Pengendalian Kecelakaan Kerja di Area Crusher dan Belt Conveyor PT. Semen Padang. *Jurnal Bina Tambang*, 8(1).
- Gao, Y., Fan, Y., Wang, J., Li, X., & Pei, J. (2019). The mediating role of safety management practices in process safety culture in the Chinese oil industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 57, 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.11.017>.
- Mocellin, P., De Tommaso, J., Vianello, C., Maschio, G., Saulnier-Bellemare, T., Virla, L. D., & Patience, G. S. (2022). Experimental methods in chemical engineering: Hazard and operability analysis—HAZOP. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 100(12), 3450–3469. <https://doi.org/10.1002/cjce.24520>.
- Mukti, H., & Zabadi, F. (2023). *ANALYSIS OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (K3) RISK IN THE CONSTRUCTION OF SAMPANG SOUTH RING ROAD (JLS) USING HAZID HIRA AND HAZOP METHODS* (Vol. 4, Issue 2).
- Qaeem M, Rashid, Z. A., Babamale H F, Busari Y O, & Alizada A M. (2019). Development and Evaluation of Land Use Planning Framework Based on Major Accident Hazard Facility. *Adeleke University Journal of Engineering and Technology*, 2(3), 49–60.
- Shamseddin Alizadeh, S., Alizadeh, S., & Moshashaei, P. (2015). The Bowtie method in safety management system: A literature review. *Scientific Journal of Review*, 4(9), 133–138. <https://doi.org/10.14196/sjr.v4i9.1933>.
- Satriawan, N. (2022). Pengertian Metode Penelitian Eksperimen dan Cara Menggunakannya. Retrieved November, 22, 2022.
- Wahyuni, N., Suyadi, B., & Hartanto, W. (2018). PENGARUH KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3) TERHADAP PRODUKTIVITAS KERJA KARYAWAN PADA PT. KUTAI TIMBER INDONESIA. *JURNAL PENDIDIKAN EKONOMI: Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan, Ilmu Ekonomi Dan Ilmu Sosial*, 12(1), 99. <https://doi.org/10.19184/jpe.v12i1.7593>.