

Analisis Risiko pada Perbaikan *Single Point Mooring*: Pendekatan *Confined space Risk Analysis* dan *Bow-Tie Analysis*

Samudra Widad Prima Pratama^{1*}, Mey Rohma Dhani², dan Arief Subekti³

¹ Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl Teknik Kimia, Keputih, Surabaya, 60111, Indonesia

^{2,3} Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl Teknik Kimia, Keputih, Surabaya, 60111, Indonesia

Email: samodrawidad@student.ppn.ac.id

Abstrak

Proses pembongkaran muatan kapal tanker memerlukan struktur terapung yang disebut *Single Point Mooring* (SPM). Struktur ini berdiameter 10 meter dan tinggi 4,5 meter, serta memiliki manhole berdiameter 60 cm sebagai akses masuk untuk keperluan perbaikan. Karena tidak dilengkapi ventilasi dan memiliki akses terbatas, SPM dikategorikan sebagai ruang terbatas (*confined space*). Aktivitas perbaikan di dalam SPM mengandung risiko tinggi yang dapat membahayakan keselamatan pekerja. Risiko-risiko tersebut meliputi bahaya ergonomik, fisik, mekanik, jatuh dan tergelincir, biologis, kimia, serta atmosferik. ~~Sebelumnya~~, identifikasi bahaya telah dilakukan perusahaan menggunakan metode HIRADC dan JSA, namun pendekatannya masih bersifat umum dan belum mendalam. Terdapat insiden kecelakaan di ruang terbatas pada salah satu proyek galangan kapal, yang menyebabkan seorang pekerja terluka akibat terkena pecahan gerinda. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun telah dilakukan identifikasi awal, kecelakaan masih dapat terjadi, terutama pada area dengan kondisi khusus seperti *confined space*. Oleh karena itu, diperlukan analisis risiko yang lebih spesifik. Metode *Confined space Risk Analysis* (CSRA) mampu mengidentifikasi bahaya berdasarkan tujuh kategori risiko *confined space*. Sementara itu, *Bow-Tie Analysis* dapat digunakan untuk menggali penyebab dasar serta konsekuensi dari risiko, dan menyediakan langkah mitigasi yang lebih efektif guna meningkatkan keselamatan kerja serta mencegah kecelakaan serupa di masa mendatang. Dari hasil penelitian potensi bahaya dan tingkat risiko yang tertinggi yaitu pada tingginya kadar gas berbahaya yang melebihi nilai ambang batas dengan nilai *risk assesment* mencapai 12 dan termasuk dalam *significant risk*. Sehingga peneliti memberikan rekomendasi rekayasa teknik, administratif, dan penggunaan APD salah satunya SCBA (*Self-Contained Breathing Apparatus*).

Kata kunci: *Confined space*, *Bow-Tie Analysis*, *Single Point Mooring*

Abstract

The cargo unloading process for tanker ships requires a floating structure known as a *Single Point Mooring* (SPM). This structure has a diameter of 10 meters and a height of 4.5 meters, equipped with a 60 cm diameter manhole that serves as an entry point for maintenance work. Due to its lack of ventilation and limited access, the SPM is categorized as a *confined space*. Maintenance activities within the SPM carry high risks that may endanger worker safety. These risks include ergonomic, physical, mechanical, trip and fall, biological, chemical, and atmospheric hazards. Previously, the company conducted hazard identification using the Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control (HIRADC) and Job Safety Analysis (JSA) methods. However, these approaches were general and lacked depth. An incident once occurred in a shipyard project where a worker was injured by a grinding fragment while working in a *confined space*. This accident highlights that even with initial hazard assessments, incidents can still happen—especially in *confined spaces*, which require more detailed risk analysis. The *Confined space Risk Analysis* (CSRA) method identifies hazards based on seven *confined space* hazard categories. Additionally, the *Bow-Tie Analysis* method can be applied to explore root causes and potential consequences of risks, while also offering more effective mitigation strategies. This integrated approach aims to enhance occupational safety and reduce the likelihood of future accidents in *confined work environments* such as the SPM. The research revealed the highest potential hazard and risk level, which exceeded the threshold, with a risk assessment score of 12, considered a *significant risk*. Therefore, the researchers provided recommendations for engineering and administrative procedures, including the use of personal protective equipment (PPE), including self-contained breathing apparatus (SCBA).

Keywords: *Confined space*, *Bow-Tie Analysis*, *Single Point Mooring*

^{1*} Penulis korespondensi

1. Pendahuluan

Menurut Laporan Tahunan 2022 dari Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, tercatat sebanyak 25 kejadian *unplanned shutdown* terjadi akibat kerusakan pada sistem produksi minyak bumi di sektor hulu migas. Kerusakan ini dapat disebabkan oleh usia operasional serta beban siklik yang terus-menerus ditimbulkan oleh gelombang laut, yang dalam jangka panjang dapat menimbulkan kelelahan material atau *fatigue* (Darmadi H, dkk, 2024). Kondisi tersebut meningkatkan potensi kerusakan pada struktur *Single Point Mooring* (SPM). Oleh karena itu, tindakan inspeksi dan perbaikan menjadi langkah penting untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Oyesola (2020) menyatakan bahwa aktivitas teknis yang bertujuan mengembalikan fungsi mekanik suatu sistem dikenal sebagai MRO (*Maintenance, Repair and Overhaul*). Saat ini, kegiatan MRO pada SPM secara rutin dilaksanakan di salah satu galangan kapal yang berlokasi di Surabaya, Jawa Timur.

Single Point Mooring (SPM) merupakan struktur terapung yang terletak di lepas pantai dan berfungsi sebagai fasilitas untuk proses tambat-lepas kapal serta kegiatan bongkar muat, khususnya bagi kapal tanker seperti FPSO, FSO, FSRU, FLNG, VLCC, dan sejenisnya (Krekel et al., 2005). SPM memiliki diameter 10 meter dan tinggi 4,5 meter, serta dilengkapi dengan manhole yang berfungsi sebagai akses untuk aktivitas pemeliharaan dan perbaikan. Kegiatan tersebut umumnya melibatkan pekerjaan dalam ruang terbatas atau *confined space* (Susatyo & Daniel, 2016). Berdasarkan definisi dari *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) (2004), *confined space* merupakan area kerja yang cukup besar untuk dimasuki oleh pekerja, namun memiliki akses keluar masuk yang terbatas dan tidak dirancang untuk dihuni secara berkelanjutan, meliputi tangki dan terowongan. Selain itu, ruang terbatas ini juga berpotensi mengandung berbagai bahaya, seperti atmosfer beracun, risiko tenggelam, desain yang berisiko menjebak, serta risiko lain seperti peralatan mekanis yang tidak terlindungi atau kabel listrik yang terbuka.

Selama pelaksanaan kegiatan *Maintenance, Repair, and Overhaul* (MRO), terdapat sejumlah pekerjaan utama yang biasanya dilakukan, seperti pembersihan, pengikisan (*scraping*), sandblasting, pekerjaan panas (*hot work*), pengecatan ulang, serta berbagai pekerjaan teknik lainnya. Setiap aktivitas tersebut memiliki potensi bahaya yang, jika tidak segera ditangani, dapat mengancam keselamatan tenaga kerja. Meskipun potensi bahaya tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, tingkat risikonya tetap dapat diminimalkan atau dikendalikan guna melindungi pekerja (Rout & Sikdar, 2017). Pekerjaan dalam ruang terbatas atau *confined space* memiliki risiko kecelakaan kerja yang tinggi. Data dari U.S. Bureau of Labor Statistics (2020) mencatat bahwa sepanjang periode 2011 hingga 2018, terdapat 1.030 kasus kematian pekerja akibat kecelakaan di *confined space*. Dari jumlah tersebut, sektor konstruksi mencatat angka tertinggi dengan 236 korban jiwa, disebabkan oleh berbagai faktor seperti paparan bahan beracun, tertimpa peralatan atau material, kebakaran, ledakan, sengatan listrik, kekurangan oksigen, dan lainnya.

Merujuk pada laporan investigasi kecelakaan yang tercantum pada Lampiran 1, diketahui bahwa pernah terjadi insiden saat pemasangan pipa air (*water supply*) di area bawah dek (*below deck*) dengan menggunakan gerinda tangan. Insiden tersebut mengakibatkan seorang pekerja kontraktor mengalami luka sepanjang 5 cm pada bagian paha. Mengingat tingginya angka kecelakaan di ruang terbatas, diperlukan regulasi yang ketat guna melindungi tenaga kerja dan aset perusahaan. Regulasi ini dapat berupa undang-undang, standar keselamatan kerja, atau prosedur operasional yang jelas untuk menjamin keamanan saat bekerja di *confined space* (Masribut & Samuel Clinton, 2016).

Menurut Septiningtias et al. (2023), *confined space* memiliki beragam potensi bahaya, terutama jika pekerjaan yang dilakukan melibatkan aktivitas berisiko tinggi seperti pengelasan atau penggunaan alat kerja tertentu yang dapat memengaruhi keselamatan pekerja. Beberapa bahaya umum yang kerap ditemukan mencakup paparan gas beracun dan berbahaya, terhirupnya debu, risiko benturan, serta bahaya 3T (terjatuh, terpeleset, tersandung). Selain itu, terdapat juga potensi ledakan, kabel yang tidak tertata atau rusak, kontak antara tangan basah dengan permukaan logam atau elektroda panas, percikan api, dan asap dari proses pengelasan. Beragam risiko ini menggarisbawahi pentingnya penerapan langkah-langkah mitigasi yang ketat untuk menjamin keselamatan selama bekerja di *confined space*.

Sebelumnya, perusahaan galangan kapal telah melakukan identifikasi potensi bahaya serta penilaian risiko pada pekerjaan *confined space* dengan menggunakan metode HIRADC (*Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control*). Namun, dokumen HIRADC yang tercantum pada Lampiran 2 masih bersifat umum dan belum mengarah secara spesifik pada pekerjaan *confined space*. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan identifikasi bahaya yang lebih mendalam dan analisis risiko yang terstruktur, multidisiplin, serta relevan dengan kondisi sebenarnya di lapangan (Firmansyah et al., 2017). *Job Safety Analysis* (JSA) yang ditampilkan pada Lampiran 3 hanya menggambarkan tahapan pekerjaan perbaikan secara umum tanpa menyertakan analisis matriks risiko. Selain itu, JSA umumnya tidak dirancang untuk meninjau aspek desain atau memahami bahaya dari proses kerja yang kompleks (Rofiq & Azhar, 2022). Maka dari itu, penelitian ini akan fokus pada analisis risiko yang lebih rinci dan menyeluruh terhadap pekerjaan di *confined space*.

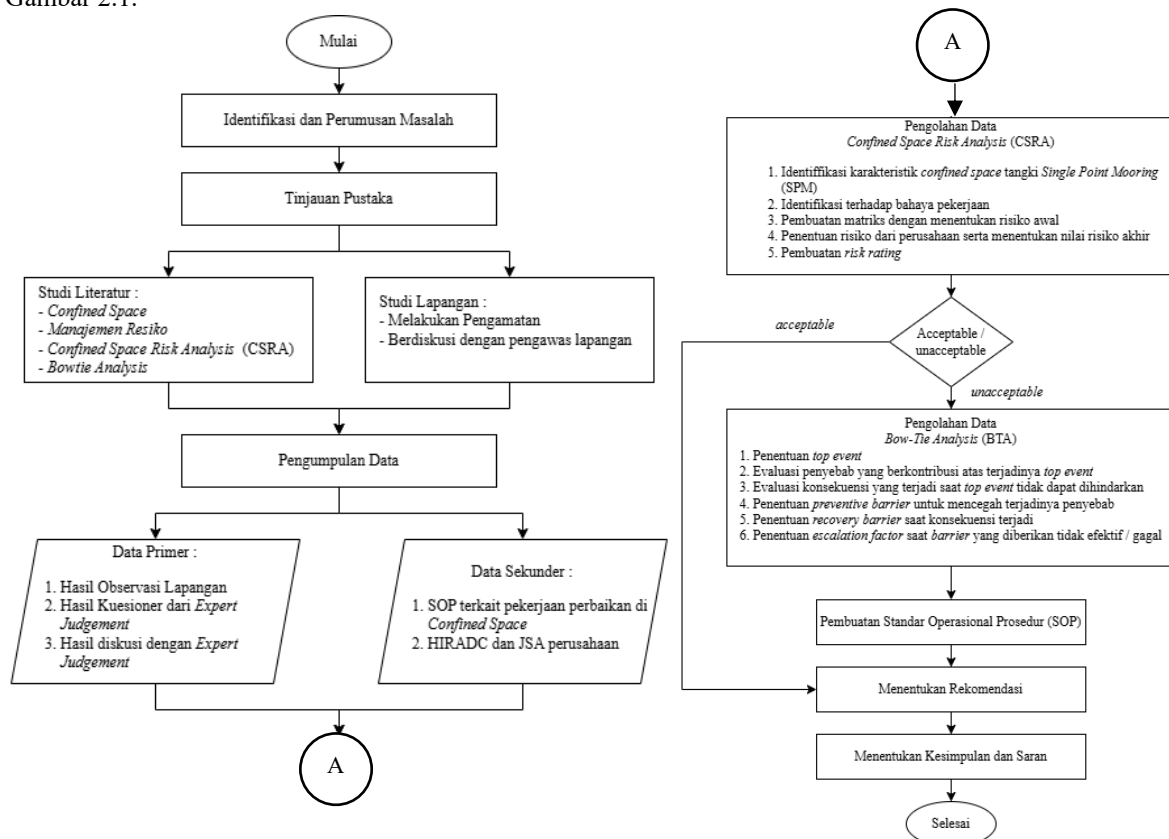
Dalam penelitian ini, metode *Confined space Risk Analysis* (CSRA) digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi potensi bahaya yang dapat terjadi pada struktur *Single Point Mooring* (SPM). Pendekatan ini dilakukan dengan menggunakan kuesioner tertutup yang dirancang secara spesifik untuk menggambarkan kondisi risiko secara menyeluruh. Hasil dari analisis CSRA disajikan dalam bentuk matriks risiko, yang menunjukkan tingkat risiko berdasarkan klasifikasi jenis bahaya. Informasi ini berguna dalam menetapkan prioritas penanganan serta memberikan rekomendasi pengendalian yang sesuai dengan prinsip hirarki pengendalian bahaya. Data yang diperoleh juga menjadi dasar dalam penyusunan langkah mitigasi yang lebih optimal, termasuk pembuatan instruksi kerja rinci untuk menjamin keselamatan tenaga kerja dan menjaga lingkungan kerja (Burlet-Vienney et al., 2014).

Namun demikian, CSRA belum mampu mengungkap akar penyebab dari suatu risiko. Oleh karena itu, penelitian ini juga mengintegrasikan metode *Bow-Tie Analysis* untuk melengkapi hasil dari CSRA. *Bow-Tie Analysis* merupakan pendekatan yang menggambarkan secara visual hubungan antara penyebab, dampak, serta langkah-langkah pengendalian preventif dan mitigatif terhadap suatu risiko dalam bentuk diagram menyerupai dasi kupu-kupu (Saud et al., 2014). Dalam konteks ini, *Bow-Tie* diterapkan untuk risiko dengan tingkat "unacceptable" yang teridentifikasi melalui CSRA, guna menganalisis penyebab utama, konsekuensi, serta menentukan penghalang (*barrier*) yang tepat untuk mencegah dan mengurangi risiko.

Luaran dari studi ini berupa hasil analisis risiko berdasarkan lembar kerja CSRA dan rekomendasi *Standard Operating Procedure* (SOP) berdasarkan *Bow-Tie Analysis*. Diharapkan, hasil ini dapat menjadi pedoman dalam pelaksanaan pekerjaan perbaikan di ruang terbatas (*confined space*).

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini berupa tahapan-tahapan yang dilalui dalam penyelesaian tugas akhir yang meliputi identifikasi permasalahan, perumusan masalah dan tujuan, studi lapangan, studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, rekomendasi dan kesimpulan serta saran. Data yang didapatkan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Adapun data primer diperoleh secara langsung dari observasi lokasi penelitian dan berdiskusi dengan *expert judgement*. Sedangkan data sekunder didapatkan dari informasi pengamatan di lapangan dengan mengecek surat keterangan terkait pekerjaan, *Hazard Identification Risk Assessment And Determining Control* (HIRADC) Perusahaan, serta *Job Safety Analysis* (JSA) pekerjaan perbaikan SPM. Adapun alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.1.

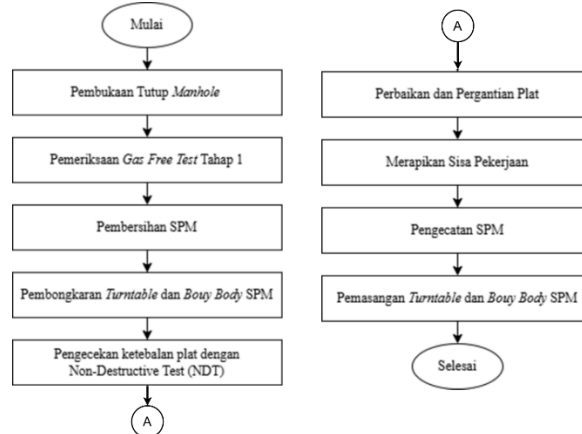


Gambar 2.1 Alur Penelitian

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Deskripsi Pekerjaan Perbaikan *Single Point Mooring* (SPM)

Berdasarkan hasil observasi di lapangan dan *Job Safety Analysis* (JSA). Adapun pekerjaan perbaikan *Single Point Mooring* dapat dilihat pada Gambar 3.1 yang akan diidentifikasi menggunakan penilaian risiko CSRA. Sehingga



Gambar 4.1 Alur Perbaikan *Single Point Mooring* (SPM)

3.2 Analisis Menggunakan *Confined space Risk Analysis* (CSRA)

Karakteristik *confined space* pada tangki *Single Point Mooring* (SPM) diidentifikasi melalui pengisian kuesioner dan diskusi bersama dua *safet officer* serta satu supervisor kontraktor. Dari 25 pertanyaan, 10 di antaranya mengindikasikan adanya potensi bahaya, sebagaimana ditunjukkan pada lampiran 6. Pertanyaan nomor 3, 4, 5, dan 6 berkaitan dengan tata letak SPM, sementara nomor 10, 11, dan 14 menggambarkan kondisi lingkungan sekitar tangki. Adapun nomor 21, 22, dan 25 membahas jenis pekerjaan serta keterlibatan pekerja. Berdasarkan hasil kuesioner CSRA yang diisi mampu mengungkap lebih banyak potensi bahaya secara rinci. Hal ini dikarenakan CSRA mempertimbangkan sejumlah faktor spesifik, seperti karakteristik fisik *confined space*, ragam jenis bahaya yang mungkin timbul, serta kondisi fisik dan psikologis para pekerja yang melakukan aktivitas di dalamnya. Dari data hasil kuesioner didapatkan 36 potensi bahaya dari identifikasi melalui CSRA, yang kemudian dikaji lebih lanjut oleh *expert judgement* dengan mempertimbangkan karakteristik tangki SPM. Sedangkan penilaian risiko dilakukan dengan menggunakan matriks risiko yang berlaku diperusahaan, disertai dengan rekomendasi pengendalian yang bertujuan untuk menurunkan risiko yang teridentifikasi. Hasil dari rekomendasi pertama dilakukan penilaian risiko ulang sehingga angka risiko dapat turun. Berikut hasil kuesioner pada Tabel 3.1 identifikasi bahaya dan penilaian resiko CSRA.

Tabel 3.1 Identifikasi Bahaya dan Penilaian Resiko CSRA

No	Hazards				Hazardous Activities				1st RA	Control	2nd RA
	Origin	Category	Type	Specifics	Hazardous Action	Who	Hazardous Event	Harm			
2	Pemeriksaan gas free tahap 1 (prosedur agar udara didalam tangki layak untuk dimasuki oleh pekerja)										

No	Hazards				Hazardous Activities				1st RA	Control	2nd RA
	Origin	Category	Type	Specifics	Hazardous Action	Who	Hazardous Event	Harm			
2.1	Tangki	Ergonomic	Entry/egrees	Diameter manhole <240"	pekerja memasuki manhole dengan sedikit meringkuk	Safety Officer, Pekerja	Posisi Tubuh pekerja tidak ergonomis saat memasuki manhole	Nyeri otot dan sendi,	S : 2 L : 2 = 4	Existing : 1. Pengawasan dari safety officer 2. Penggunaan APD standard perusahaan Tambahkan : 1. Memberikan jeda secara berkala 2. Melakukan peregangan sebelum melakukan pekerjaan 3. Briefing mengenai postur tubuh yang tepat	S : 1 L : 3 = 3
2.2	Tangki	Ergonomic	Inadequate lighting/ Reduced visibility	Tangki Gelap	Pekerja bekerja dengan ketersediaan penerangan terbatas	Safety Officer, Pekerja	Tidak dapat melihat dengan baik	Gangguan penglihatan, Pekerjaan terganggu	S : 1 L : 2 = 2	Existing : 1. Membawa Senter 2. Penggunaan APD standard Perusahaan 3. Membawa Alat komunikasi (HT)	S : 1 L : 2 = 2
2.3	Tangki	Falling	Fall from height	Tangga akses menuju tangki kecil dan licin	Pekerjaan mengharuskan menuruni dan menaiki tangga pada tangki	Safety Officer, Pekerja	Terjatuh, Terperosok	Retak, Patah Tulang	S : 3 L : 3 = 9	Existing : 1. Penggunaan APD standard perusahaan 2. Membawa alat komunikasi (HT) Tambahkan : 1. Pemakaian Body Harness saat menuruni tangga	S : 2 L : 2 = 4
2.5	Tangki	Atmospheric	Poisoning	kadar zat H ₂ S, CO, O ₂ , CH ₄ yang tidak sesuai dengan NAB	Safety Officer Memasuki tangki untuk mengecek kadar zat berbahaya	Safety Officer	Keracunan Gas Beracun	Pingsan (Kekurangan Oksigen)	S : 4 L : 3 = 12	Existing : 1. Memastikan kandungan gas CH ₄ <10% LEL 2. Memastikan kandungan O ₂ sebesar 19% - 23,5% 3. Memastikan kandungan CO <30 ppm 4. Memastikan kandungan H ₂ S <10 ppm 5. Memakai APD sesuai	S : 2 L : 3 = 6

No	Hazards				Hazardous Activities				1st RA	Control	2nd RA
	Origin	Category	Type	Specifics	Hazardous Action	Who	Hazardous Event	Harm			
									S : 5 L : 3 = 15	standar perusahaan 6. Menggunakan APD wajib sesuai ketentuan Perusahaan Tambahan : 1. Mengkalibrasi <i>gas detector</i> sebelum digunakan 2. Pada saat pekerjaan dilakukan membawa 1 orang untuk bersiaga diluar 3. Pekerjaan didalam tangki dirotasi setelah 15 menit	S : 4 L : 3 = 12

Analisis CSRA dilakukan pada sepuluh tahapan pekerjaan yang dilakukan saat perbaikan SPM. Adapun rincian tahapan pekerjaan dan potensi bahayanya dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Potensi Bahaya pada Tangki SPM

Tahapan Pekerjaan	Potensi Bahaya							
	A	E	P	C	B	M	F	Σ
Pembukaan Tutup Manhole	-	1	-	-	-	1	1	3
Pemeriksaan Gas Free Tahap 1	1	2	-	-	-	-	2	5
Pembersihan SPM	-	-	1	2	1	2	2	8
Pembongkaran Turntable SPM	-	2	-	-	-	2	2	6
Pengecekan ketebalan plat dengan Non-Destructive Test (NDT)	-	1	1	1	-	-	2	5
Perbaikan dan Penggantian Plat	-	3	3	2	-	2	2	12
Merapikan Sisa Pekerjaan	1	2	2	-	-	2	3	10
Pengecatan SPM	2	-	2	1	-	-	3	8
Pemasangan Turntable SPM	-	2	-	-	-	-	1	3
Jumlah Potensi bahaya	4	13	9	6	1	9	18	60
Pembukaan Tutup Manhole	-	1	-	-	-	1	1	3

Keterangan : Atmospheric (A), Ergonomic (E), Physical (P), Chemical (C), Biological (B), Mechanical (M), Falling (F), Total (Σ)

Pada Tabel 3.2 dapat diketahui bahwa terdapat 60 potensi bahaya yang dihasilkan dalam proses ini. Tahapan pekerjaan yang memiliki potensi bahaya tertinggi yaitu *replate / rewelding / ganti baru pada plat* dengan 12 potensi bahaya. Sedangkan potensi bahaya yang banyak terjadi yaitu potensi bahaya *falling* dengan jumlah 18 potensi bahaya, pekerjaan di ketinggian, akses tangga dan area kerja yang licin, kesulitan untuk bergerak serta terdapat pekerjaan lain diatas pekerjaan yang sedang dilakukan di bawah. Selain itu, potensi bahaya paling sedikit adalah potensi bahaya biological dengan 1 potensi bahaya pada pekerjaan pembersihan tangki SPM. Selanjutnya dilakukan penilaian risiko sebelum dilakukan pengendalian seperti Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Penilaian Risiko Awal

No	Kategori Risiko	Frekuensi Tingkat Risiko Awal					Jumlah Tingkat Risiko Awal
		C	S	M	Mi	I	
1	Atmospheric	2	-	2	-	-	4
2	Ergonomic	-	-	-	14	-	14
3	Physical	1	4	4	-	-	9
4	Chemical	1	-	5	1	-	7

5	Biological	-	-	-	1	-	1
6	Mechanical	-	1	8	-	-	9
7	Falling	-	8	6	4	-	18
Total		4	13	25	20	0	62

Keterangan : Catastrophic (C), Significant (S), Moderate (M), Minor (Mi), Insignificant (I)

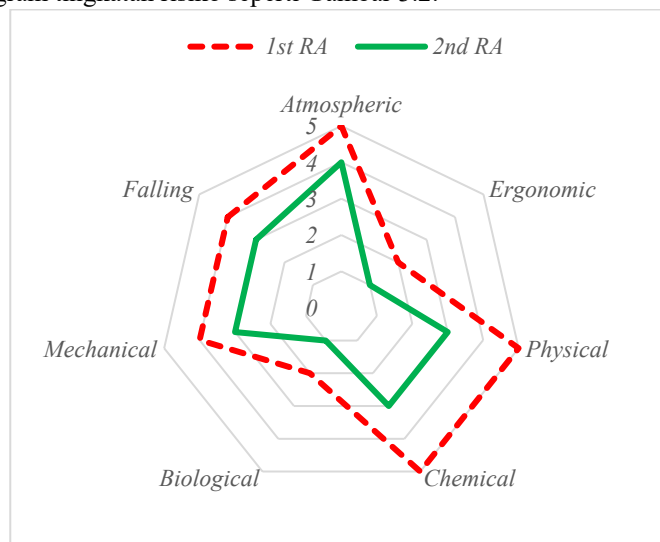
Pada Tabel 3.3 diketahui bahwa terdapat 62 potensi bahaya dengan 4 potensi bahaya *catastrophic*, 13 potensi bahaya *Significant*, 25 potensi bahaya *moderate*, 20 potensi bahaya *minor*. Potensi bahaya tertinggi masuk dalam *catastrophic* dikarenakan pekerjaan pengujian gas termasuk dalam kategori *atmospheric* dengan tipe risiko *poisoning*. Maka, pengendalian yang dapat dilakukan yaitu memastikan kandungan gas H2S < 100 ppm, memastikan kandungan LEL < 5%. Memastikan kandungan oksigen sebesar 19%-23,5% dan pekerjaan harus ada SIKa dan Sertifikat *gas free*. Selanjutnya pekerjaan lain juga dilakukan pengendalian untuk mengurangi tingkatan risiko sesuai dengan Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Penilaian Risiko Tahap 2

No	Kategori Risiko	Frekuensi Tingkat Risiko Akhir					Jumlah Tingkat Risiko Akhir
		C	S	M	Mi	I	
1	Atmospheric	-	1	1	2	1	5
2	Ergonomic	-	-	-	-	14	14
3	Physical	-	-	3	3	3	9
4	Chemical	-	-	1	4	2	7
5	Biological	-	-	-	-	1	1
6	Mechanical	-	-	1	8	-	9
7	Falling	-	-	5	6	6	17
Total		-	1	11	23	27	62

Keterangan : Catastrophic (C), Significant (S), Moderate (M), Minor (Mi), Insignificant (I)

Pada Tabel 3.4 diketahui bahwa terdapat 62 potensi bahaya dengan 1 potensi bahaya *Significant*, 11 potensi bahaya *moderate*, 23 bahaya *minor*. dan 27 potensi bahaya *Insignificant*. Potensi bahaya yang memiliki tingkatan *Significant* yaitu pada pekerjaan pengujian gas free test yang berpotensi menyebabkan kematian, selain itu potensi bahaya lainnya juga terdapat pada pekerjaan perbaikan dan penggantian plat yang beresiko menimbulkan kebakaran. Dari hasil penilaian risiko dapat digambarkan berupa diagram tingkatan risiko seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Tingkatan Risiko

3.3 Analisis Menggunakan *Bow-Tie Analysis*

Berdasarkan hasil analisis *CSRA* sebelumnya dapat diketahui apabila kategori risiko tertinggi masuk pada *Atmospheric* yang diakibatkan dari kadar H2S, CO, dan O2 yang melebihi nilai ambang batas. Hal ini dapat diketahui bahwa terdapat risiko pekerjaan yang tidak dapat ditoleransi (*unacceptable*). Sehingga diperlukan analisis tambahan untuk mengidentifikasi akar masalah dengan menggunakan *Bow-Tie Analysis*. Penyusunan analisis ini didapatkan informasinya dari observasi lapangan, *brainstroming* dengan *expert judgement*, dan kajian literatur. Adapun hasil analisis *Bow-Tie* dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.

kegagalan evakuasi mandiri (*self-rescue*), dan lambatnya respon tim tanggap darurat juga dapat memperbesar risiko kejadian berbahaya.

Dalam mencegah terjadinya top event, berbagai tindakan pengendalian preventif telah dirancang. Langkah-langkah tersebut meliputi kalibrasi rutin alat ukur gas yang disertai label dan form kalibrasi, penyusunan jadwal pemeliharaan alat, keterlibatan personel bersertifikasi dalam pengukuran gas, serta penggunaan checklist untuk pemasangan ventilasi dan inspeksi APD sebelum digunakan. Di samping itu, pelatihan *self-rescue*, sosialisasi keselamatan kerja di ruang terbatas, dan pemeriksaan menyeluruh terhadap ventilasi serta ducting juga menjadi bagian dari upaya pencegahan. Namun, apabila *top event* tetap terjadi, maka terdapat sejumlah konsekuensi serius seperti terhirupnya gas melebihi nilai ambang batas (NAB), kekurangan oksigen yang dapat menyebabkan kehilangan kesadaran hingga kematian, potensi ledakan akibat akumulasi gas metana, serta kegagalan proses evakuasi. Untuk meminimalkan dampak tersebut, telah disiapkan berbagai langkah mitigasi, termasuk pelatihan penggunaan SCBA (*Self-Contained Breathing Apparatus*), penyediaan alat bantu pernapasan darurat, pelatihan tanggap darurat bagi pekerja, implementasi rencana tanggap darurat, serta sertifikasi tim tanggap darurat. Melalui pendekatan diagram *bow-tie* ini, hubungan antara ancaman dan konsekuensi dapat dipetakan secara sistematis, sehingga membantu dalam mengidentifikasi titik-titik kritis dalam sistem keselamatan. Konsistensi dalam penerapan semua pengendalian, baik preventif maupun mitigatif, menjadi kunci dalam menjaga keselamatan kerja di ruang terbatas. Oleh karena itu, sangat penting bagi seluruh pihak terkait di dalam organisasi untuk memastikan seluruh prosedur keselamatan diterapkan dengan benar, peralatan selalu dalam kondisi baik, dan pekerja memiliki kompetensi yang memadai.

3.4 Rekomendasi

1. Eliminasi
Pengendalian eliminasi pada pekerjaan pemeriksaan gas tidak dapat sepenuhnya diterapkan, karena proses pengukuran justru bertujuan untuk mendeteksi keberadaan gas berbahaya yang masih ada di dalam ruang terbatas.
2. Substitusi
Pengendalian substitusi yang dapat dilakukan adalah penggantian sistem ventilasi manual menjadi sistem ventilasi otomatis berbasis sensor.
3. Rekayasa Teknis
 - a. Pasang ventilasi mekanik permanen atau *blower* yang sesuai kapasitas ruang untuk memastikan sirkulasi udara.
 - b. Gunakan sistem deteksi gas tetap (*fixed gas detectors*) dengan alarm otomatis.
 - c. Periksa dan pastikan tidak ada kebocoran pada ducting ventilasi.
 - d. Siapkan sistem komunikasi darurat dan jalur evakuasi yang terstruktur.
4. Administratif
 - a. Terapkan dan tegakkan prosedur operasi standar (SOP) yang ketat untuk pekerjaan di ruang terbatas.
 - b. Jadwalkan kalibrasi alat ukur gas secara rutin dan terdokumentasi.
 - c. Lakukan pelatihan berkala tentang *self-rescue*, penggunaan APD, dan prosedur tanggap darurat.
 - d. Gunakan checklist untuk pemeriksaan peralatan, ventilasi, dan kesiapan personel sebelum masuk ruang terbatas.
 - e. Libatkan pekerja bersertifikasi untuk pengujian gas dan pengawasan kerja di ruang terbatas.
5. Alat Pelindung Diri (APD)
 - a. Gunakan APD yang sesuai seperti SCBA (*Self-Contained Breathing Apparatus*), masker gas, dan pakaian pelindung.
 - b. Lakukan inspeksi dan pemeliharaan APD secara berkala.
 - c. Pastikan setiap pekerja terlatih dalam penggunaan APD secara benar dan efisien.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang ada dapat disimpulkan meliputi.

1. Sebanyak 62 potensi bahaya telah diidentifikasi dalam pekerjaan perbaikan Single Point Mooring (SPM) dengan menggunakan metode Confined Space Risk Analysis (CSRA). Potensi bahaya tersebut diklasifikasikan ke dalam enam kategori risiko, yaitu atmosferik, ergonomik, fisik, kimia, mekanik, dan jatuh. Hasil penilaian risiko awal (1st Risk Assessment) menunjukkan bahwa 6% berada pada tingkat risiko katastrofik, 21% signifikan, 40% moderat, dan 32% minor. Setelah diterapkannya rekomendasi tambahan untuk pengendalian risiko, dilakukan penilaian ulang (2nd Risk Assessment) yang menunjukkan perbaikan signifikan: hanya 1% risiko signifikan, 18% moderat, 37% minor, dan 44% tidak signifikan. Meskipun demikian, hasil penilaian ulang masih menunjukkan adanya risiko yang tidak dapat diterima (*unacceptable*), khususnya pada aktivitas

pemeriksaan dan pengujian gas, karena masih terdapat potensi paparan gas berbahaya di dalam tangki yang melebihi nilai ambang batas.

2. Risiko yang tidak dapat diterima pada pekerjaan pemeriksaan dan pengujian gas dianalisis lebih lanjut menggunakan metode bow-tie. Analisis ini menyoroti potensi bahaya paparan gas beracun di ruang terbatas (confined space), seperti H₂S, CO, CH₄, dan kekurangan oksigen. Ancaman utama meliputi alat ukur gas yang rusak atau tidak dikalibrasi, SOP yang tidak dijalankan, ventilasi tidak memadai, dan APD yang rusak. Pengendalian preventif meliputi kalibrasi alat, pelatihan, inspeksi, dan penggunaan checklist. Jika paparan terjadi, dampaknya bisa berupa keracunan, kehilangan kesadaran, kematian, hingga ledakan. Untuk mitigasi, disiapkan pelatihan SCBA, alat napas darurat, dan rencana tanggap darurat.
3. Berdasarkan analisis risiko dengan metode CSRA dan bow-tie, disusun rekomendasi pengendalian sesuai hierarki pengendalian untuk mengatasi potensi paparan gas beracun saat pemeriksaan gas free di confined space. Eliminasi dilakukan terbatas dengan menghilangkan sumber kontaminan eksternal. Substitusi disarankan melalui penggantian ventilasi manual menjadi sistem otomatis berbasis sensor gas. Pengendalian teknik meliputi pemasangan blower dengan deteksi kebocoran, fixed gas detector, dan sensor detak jantung pada pekerja. Pengendalian administratif diperkuat dengan SOP, pelatihan, sertifikasi, serta inspeksi dan pemeliharaan berkala. APD seperti SCBA dan full body harness dengan tripod winch menjadi lapisan terakhir. Pendekatan ini bertujuan membentuk sistem keselamatan yang menyeluruh dan tanggap terhadap kondisi darurat..

Sedangkan saran penelitian ini untuk kedepannya meliputi.

1. Pihak Perusahaan dapat mempertimbangkan hasil pengendalian risiko yang telah diberikan, terutama tentang keselamatan pekerjaan khususnya di confined space dan dari segi efektifitas pengendalian
2. Penelitian ini dapat dikaji dan dikembangkan dengan menambahkan metode lain yang sesuai dengan kebutuhan yang lebih spesifik

3. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada [nama lembaga/instansi/perusahaan] atas izin dan fasilitas yang diberikan selama proses pengumpulan data. Penulis juga menghargai bantuan dan kerja sama dari rekan-rekan teknis serta petugas lapangan yang telah membantu dalam kegiatan observasi dan pengujian.

Tidak lupa, apresiasi diberikan kepada dosen pembimbing serta rekan sejawat atas masukan dan saran yang sangat berharga dalam penyusunan dan penyempurnaan penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif dalam peningkatan keselamatan kerja di lingkungan kerja ruang terbatas.

4. Daftar Pustaka

- Burlet-Vienney, D., Chinniah, Y., Bahloul, A., & Roberge, B. (2015). *Design And Application Of A 5 Step Risk Assessment Tool For Confined space Entries*. Safety Science, 80, 144–155. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.07.022>
- Darmadi H, dkk, (2024). Kekuatan Lelah (*Fatigue*) Pada Pegas Ulir Tekan Di Unit *Vibrating Screen* Akibat Adanya Beban Siklik (Berulang) Menggunakan Uji Fatik (*Fatigue Test*). Jurnal Mekanikal, Inovasi dan Teknologi. Vol 10 No.1.
- Firmansyah, F., Rohma Dhani, M., & Eka Mayangsari, N. (2017). *Identifikasi Bahaya Confined space Pada Proses Perawatan Tangki Kondensat T-0701 B Pada Perusahaan Minyak Dan Gas Dengan Pendekatan Hazard Identification Risk Assessment And Risk Control (HIRARC) Dan Job Safety Analysis (JSA)*.
- Krekel, M. H., Leeuwenburgh, R., Bishop, W. M., & Davis, J. F. (2005). *Single-Point Mooring System For An Offshore LNG Import Terminal*. SPE Production & Facilities, 20(04), 340–348. <https://doi.org/10.2118/100156-PA>
- Masribut, & Samuel Clinton. (2016). *Analisis Prosedur Pelaksanaan Pada Pekerjaan Di Ruang Terbatas (Confined spaces) Pada Perbaikan Tangki Cpo Di Pt. Tunggal Perkasa Plantations Air Molek*.
- Occupational Safety And Health Administration. (2004). *Confined space*.
- Oyesola, M. O. , Mpofu, K. , Mathe, N. R. , & Daniyan, I. A. . (2020). *Engineering Support For Maintenance Repair Overhaul In The Aerospace*. 199–205.

- Rofiq, M. A., & Azhar, A. (2022). *Hazards Identification And Risk Assessment In Welding Confined space Ship Reparation PT. X With Job Safety Analysis Method*. BERKALA SAINSTEK, 10(4), 175. <https://doi.org/10.19184/Bst.V10i4.32669>
- Rout, B. K. , S. B. K. (2 C.E.). *Hazard Identification, Risk Assessment, And Control Measures As An Effective Tool Of Occupational Health Assessment Of Hazardous Process In An Iron Ore Pelletizing Industry*. Medication, 21, 56–76.
- Saud, Y. E., Israni, K. (Chris), & Goddard, J. (2014). *Bow-Tie Diagrams In Downstream Hazard Identification And Risk Assessment*. Process Safety Progress, 33(1), 26–35. <https://doi.org/10.1002/Prs.11576>
- Septiningtias, A., Rakhmadi, T., Subekti, A. T., Kesehatan, F. I., Bhamada, U., & Korespondensi, S. (2023). *Comperhensive Review: Identifikasi Bahaya Dan Penilaian Risiko (IBPR) Di Ruang Terbatas Dengan Pendekatan Literature Study*. In BHAMADA Bhamada Occupational Health Safety Environment Journal (Vol. 1, Issue 2). <https://ejournal.bhamada.ac.id/index.php/bohsej>
- Susatyo, B., & Daniel Rosyid, I. M. (2016). *Risk Analysis Of Damaged Mooring System Spm (Single Point Mooring) 035 Pertamina Tbbm Tuban*.
- U.S. Bureau Of Labor Statistic. (2020). *Fact Sheet | Fatal Occupational Injuries Involving Confined Spaces*.