

Analisis Penilaian Risiko Proses *Assembly* *Tube Bundle Heat Exchanger* dengan Metode HIRADC dan FTA

Fauziah Nadya Febrianty Tasidalle¹, Arief Subekti¹, dan Mochammad Choirul Rizal^{1*}

¹Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik
Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: mc.rizal@ppns.ac.id

Abstrak

Abstrak—*Tube Bundle Heat Exchanger* merupakan alat penukar panas dan menjadi salah satu produk dari perusahaan ini. Pekerjaan *assembly Tube Bundle Heat Exchanger* memiliki beberapa risiko bahaya yang muncul akibat adanya bahaya selama proses pekerjaan. Perusahaan belum pernah melakukan identifikasi bahaya dan penilaian risiko terkait pekerjaan tersebut. Perusahaan memiliki SOP dan matriks internal terkait pengisian form HIRADC. Hasil identifikasi bahaya dan penilaian risiko menggunakan metode *Hazard Identification Risk Assessment Determining Controls* (HIRADC) diperoleh hasil sebanyak 8 risiko Kuadran IV, 10 risiko Kuadran III, 10 risiko Kuadran II, dan 6 risiko Kuadran I. Risiko yang termasuk dalam Kuadran I yaitu kebakaran dan *fatality*. Untuk risiko Kuadran I selanjutnya dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) diperoleh sebanyak 17 *basic event* sebagai *minimal cut set* atau penyebab utama terjadinya potensi bahaya tersebut. Rekomendasi dari analisis *minimal cut set* dan berdasarkan hirarki pengendalian risiko yaitu memasang *yellow line* dan penanda batas area kerja steril dari yang tidak berkepentingan, menyusun dan menetapkan SOP sesuai pekerjaan, mengawasi pekerjaan, melakukan *toolbox meeting*, menerapkan budaya 5R, menetapkan jadwal *training safety drill*, memberikan pelatihan pesawat angkat angkut untuk operator *overhead crane*, menyediakan dan menggunakan APD *safety shoes, cattlepack, safety goggles/faceshield, safety helmet, safety gloves*.

Kata Kunci: *Assembly, FTA, Heat Exchanger, HIRADC, Identifikasi Bahaya*

Abstract

Abstract—*Tube Bundle Heat Exchanger* is heat exchanger and one of the products of this company. Assembly work *Tube Bundle Heat Exchanger* has several risks of hazards that arise due to hazards during the process. The company has never carried out a hazard identification and risk assessment related to this work. The company has an internal SOP and matrix regarding filling out the HIRADC form. The results of research on risk assessment using the Hazard Identification Risk Assessment Determining Controls (HIRADC) yielded 7 Quadrant IV risks, 10 Quadrant III risks, 11 Quadrant II risks, and 6 Quadrant I risks. There are fire and fatality as Quadrant I risks and will be analyzed using the Fault Tree Analysis (FTA). There are 17 basic events as minimum cut set of the potential hazard. Recommendations from minimal cut set analysis and based on risk control hierarchy, namely installing yellow lines and sterile work area boundary markers from unauthorized persons, compiling and establishing SOPs according to work, supervising work, conducting toolbox meetings, implementing 5S culture, setting safety drill training schedules, providing lift and lift training for overhead crane operators, providing and using PPE safety shoes, cattlepacks, safety goggles/faceshields, safety helmets, safety gloves.

Keyword: *Assembly, FTA, Heat Exchanger, Hazard Identification, HIRADC*

1. PENDAHULUAN

Keselamatan kerja merupakan keselamatan yang terkait dengan bahan dan proses pengolahan, pesawat, mesin, alat kerja, tempat kerja dan lingkungannya, dan cara-cara melakukan pekerjaan (Kani, dkk., 2013). Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) akan secara langsung berkaitan dengan risiko kegagalan atau kecelakaan kerja. *Heat Exchanger* merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan panas atau kalor dari suatu fluida ke fluida yang lain dimana fluida tersebut akan didinginkan dengan fluida lainnya, serta dapat berfungsi sebagai pemanas ataupun pendingin (Maylia, dkk., 2021). *Tube Bundle Heat Exchanger* adalah alat penukar panas yang memiliki susunan berupa *bundle* pipa yang dihubungkan secara paralel dan ditempatkan dalam suatu cangkang yang didalamnya dialiri fluida dengan aliran yang sama, berlawanan, atau bersilangan (Halim, dkk., 2022). Pekerjaan *assembly Tube Bundle Heat Exchanger* memiliki risiko kerja yang tinggi. Terdapat temperatur dan tekanan yang tinggi pada *Heat Exchanger* serta melibatkan pekerjaan *lifting* yang akan menimbulkan potensi bahaya. Perusahaan belum pernah melakukan identifikasi bahaya dan penilaian risiko terkait pekerjaan tersebut, dikarenakan pekerjaan tersebut bersifat non rutin atau insidental.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja yang dimaksud dengan Keselamatan dan Kesehatan Kerja yang selanjutnya disingkat dengan K3 yaitu segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja. Identifikasi bahaya dan penilaian risiko serta pengendalian risiko adalah salah satu bagian dari Sistem Manajemen K3 (SMK3) yaitu bagian dari sistem manajemen risiko (Supriyadi, dkk., 2015). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi bahaya dan menilai risiko pekerjaan *assembly Tube Bundle Heat Exchanger* dengan metode HIRADC (*Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Controls*) sesuai matriks internal perusahaan. Selanjutnya untuk risiko yang termasuk dalam kategori Kuadran I akan dianalisis lebih lanjut menggunakan FTA (*Fault Tree Analysis*) untuk mencari penyebab utama dari potensi bahaya tersebut. Hasil dari penelitian dapat digunakan oleh perusahaan sebagai acuan dalam proses pengambilan keputusan untuk pengendalian risiko pekerjaan *assembly Tube Bundle Heat Exchanger*.

2. METODE

Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tahap identifikasi dari perumusan masalah
2. Penetapan tujuan dan manfaat penelitian
3. Studi literatur dan studi lapangan
4. Pengumpulan data
5. Pengolahan dan analisis data menggunakan metode HIRADC dan FTA
6. Kesimpulan dan saran

Penelitian ini menggunakan metode HIRADC (*Hazard Identification Risk Assessment and Determining Controls*) yang mampu mengidentifikasi kecelakaan kerja dan menilai tingkat risikonya yang diperoleh dari hasil perkalian antara probabilitas dengan dampaknya, serta menentukan tindakan kontrol atau perbaikan yang dilakukan (Ihsan, dkk., 2020). Risiko dengan kategori Kuadran I akan dianalisis lebih lanjut menggunakan metode FTA (*Fault Tree Analysis*) dengan menggambarkan *event-event* yang dikaitkan dengan garis seperti struktur pohon yang merepresentasikan alur kesalahan sehingga dapat secara efektif menemukan inti penyebab masalah (Ferdiana dan Priadythama, 2016). Matriks penilaian risiko yang digunakan mengacu pada SOP identifikasi bahaya dan penilaian risiko milik perusahaan seperti pada Gambar 1 berikut.

		II			I	
Probability (kemungkinan)	5	$3.0 \leq P \leq 5.0$			$3.0 \leq P \leq 5.0$	
	4					
	3	IV			III	
	2					
	1	$1.0 \leq P < 3.0$			$1.0 \leq P < 3.0$	
	$1.0 \leq S < 3.0$			$3.0 \leq S \leq 5.0$		
	1	2	3	4	5	
	Severity (Keparahan)					

Gambar 1. Matriks Penilaian Risiko Perusahaan (Perusahaan, 2018)

Berdasarkan Gambar 1 di atas yaitu matriks penilaian risiko yang digunakan secara internal oleh perusahaan diketahui bahwa nilai risiko dari suatu bahaya dikelompokkan berdasarkan tingkat kemungkinan dan tingkat keparahannya. Kuadran I merupakan risiko dengan nilai kemungkinan 3,0 hingga 5,0 dan nilai keparahannya.

5,0. Kuadran II merupakan risiko dengan nilai kemungkinan 3,0 hingga 5,0 dan nilai keparahan 1,0 hingga 3,0. Kuadran III merupakan risiko dengan nilai kemungkinan 1,0 hingga kurang dari 3,0 dan nilai keparahan 3,0 hingga 5,0. Kuadran IV merupakan risiko dengan nilai kemungkinan 1,0 hingga kurang dari 3,0 dan nilai keparahan 1,0 hingga kurang dari 3,0.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil observasi saat proses kerja, wawancara, dan diskusi dengan pekerja dan *expert judgement*. Data sekunder diperoleh dari *manufacture process plan*, *drawing*, dan SOP Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko internal perusahaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pekerjaan *assembly* adalah suatu proses manufaktur dimana menambahkan bagian-bagian produk sebagai perakitan setengah jadi yang bergerak dari satu stasiun kerja ke stasiun kerja berikutnya hingga perakitan selesai (Cahyanie dan Herwanto, 2022). Pekerjaan *assembly Tube Bundle Heat Exchanger* merupakan pekerjaan untuk menambahkan dan menggabungkan beberapa komponen setengah jadi menjadi suatu produk yang siap pakai, yaitu sebuah alat penukar panas yang tersusun atas satu komponen silindris besar yang berisi sejumlah pipa-pipa kecil sebagai tempat mengalirnya cairan yang akan dipanaskan/didinginkan. Penelitian ini dimulai dengan melakukan analisis dengan metode HIRADC (*Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Controls*) kemudian dianalisis lebih lanjut dengan metode FTA (*Fault Tree Analysis*).

Hazard Identification Risk Assessment and Determining Controls (HIRADC)

Dalam ISO 45001:2018 HIRADC atau *Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Controls* merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi, menilai, dan mengendalikan risiko bahaya (Widjanarko dan Khotimah, 2022). Setelah memperoleh data terkait tahapan proses pekerjaan *assembly*, selanjutnya yaitu mengidentifikasi bahaya dan menilai risiko serta menentukan pengendalian yang dapat dilakukan. Terdapat 17 tahapan pekerjaan dalam pekerjaan *assembly Tube Bundle Heat Exchanger*, yang terbagi dalam beberapa sub tahapan yaitu *marking*, *setting* dan *levelling*, memasang komponen, pengelasan, *expanding tube*, dan *cutting tube*. Hasil identifikasi bahaya dan penilaian risiko menggunakan HIRADC (*Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Controls*) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko Pekerjaan *Assembly Tube Bundle Heat Exchanger*

No.	Pekerjaan/ Proses	Bahaya	Risiko	Risk Value	Pengendalian Saat Ini	Risk Value	Pengendalian Lanjutan
1	<i>Marking</i> bagian tengah, depan, dan belakang <i>tubesheet</i>	Material tajam	Tergores	II	Sosialisasi K3 Pemakaian APD yang sesuai	II	Sosialisasi K3 Pengawasan pekerjaan
		Pencahayaan kurang	Hasil kurang presisi	II	Sosialisasi K3 Pemeriksaan pekerjaan rutin	IV	Menyalakan lampu jika diperlukan Pemeriksaan pekerjaan rutin
2	<i>Setting</i> dan <i>levelling tubesheet</i> menggunakan pendulum & <i>auto level</i>	Permukaan lantai kerja tidak rata	Tersandung	II	Pemakaian APD yang sesuai	IV	Sosialisasi K3 Menerapkan 5R
			<i>Tubesheet</i> tidak rata		I	Pengecekan menggunakan <i>auto levelling</i>	III
3	<i>Setting</i> dan memasang <i>tie-rod</i> ke <i>tubesheet</i>	Material tajam	Tergores	II	Sosialisasi K3 Pemakaian APD yang sesuai	II	Sosialisasi K3 Pengawasan pekerjaan
4	Memasang <i>spacer</i> dan <i>baffle</i>	Pekerjaan <i>lifting</i>	Benda jatuh, kerusakan material	I	Sosialisasi K3 Pemeriksaan peralatan <i>lifting</i>	III	Inspeksi rutin peralatan <i>lifting</i> Pengawasan pekerjaan
			Cidera	I	Sosialisasi K3 Pemeriksaan peralatan <i>lifting</i>	II	Inspeksi rutin peralatan <i>lifting</i> Pengawasan pekerjaan
			<i>Fatality</i>	I	Sosialisasi K3 Pemeriksaan peralatan <i>lifting</i>	I	Inspeksi rutin peralatan <i>lifting</i> Pengawasan pekerjaan
5	Memasang <i>spacer</i> dan <i>baffle</i> secara	Pekerjaan <i>lifting</i>	Benda jatuh, kerusakan material	I	Sosialisasi K3 Pemeriksaan peralatan <i>lifting</i>	III	Inspeksi rutin peralatan <i>lifting</i>

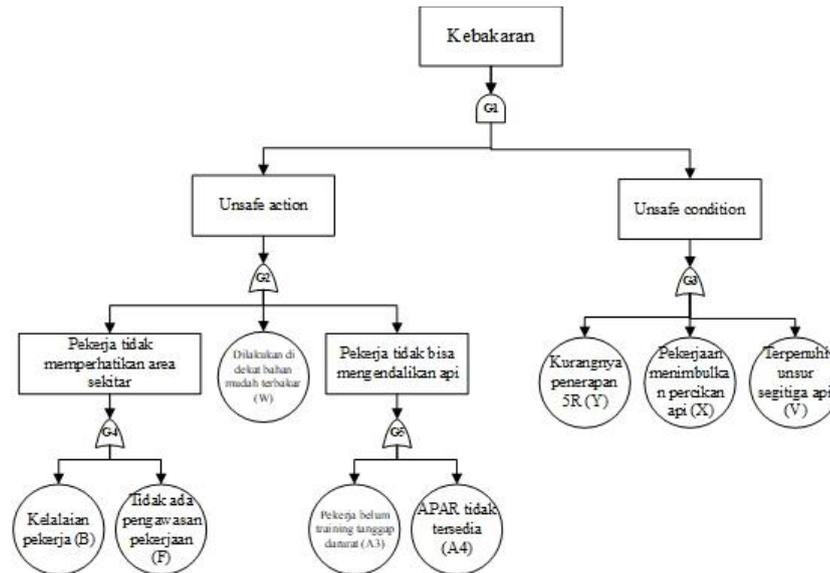
No.	Pekerjaan/ Proses	Bahaya	Risiko	Risk Value	Pengendalian Saat Ini	Risk Value	Pengendalian Lanjutan
	bergantian hingga selesai						Pengawasan pekerjaan
			Cidera	I	Sosialisasi K3 Pemeriksaan peralatan <i>lifting</i>	II	Inspeksi rutin peralatan <i>lifting</i> Pengawasan pekerjaan
			Fatality	I	Sosialisasi K3 Pemeriksaan peralatan <i>lifting</i>	I	Inspeksi rutin peralatan <i>lifting</i> Pengawasan pekerjaan
6	Meluruskan, meratakan, dan memusatkan lubang <i>tube</i> pada setiap <i>baffle</i>	Permukaan lantai kerja tidak rata	Tersandung	II	Pemakaian APD yang sesuai	IV	Sosialisasi K3 Menerapkan 5R
			<i>Baffle</i> tidak rata	I	Pengecekan menggunakan <i>auto levelling</i>	III	Pengawasan pekerjaan
		Pencahayaan kurang	Sakit mata	II	Sosialisasi K3 Pemeriksaan pekerjaan rutin	IV	Menyalakan lampu jika diperlukan Pemeriksaan pekerjaan rutin
7	<i>Setting floating tubesheet</i>	Pekerjaan <i>lifting</i>	Benda jatuh, kerusakan material	I	Sosialisasi K3 Pemeriksaan peralatan <i>lifting</i>	III	Inspeksi rutin peralatan <i>lifting</i> Pengawasan pekerjaan
			Cidera	I	Sosialisasi K3 Pemeriksaan peralatan <i>lifting</i>	II	Inspeksi rutin peralatan <i>lifting</i> Pengawasan pekerjaan
			Fatality	I	Sosialisasi K3 Pemeriksaan peralatan <i>lifting</i>	I	Inspeksi rutin peralatan <i>lifting</i> Pengawasan pekerjaan
8	Meluruskan, meratakan, dan memusatkan lubang <i>tube</i> pada setiap <i>baffle</i>	Permukaan lantai kerja tidak rata	Tersandung	II	Pemakaian APD yang sesuai	IV	Sosialisasi K3 Menerapkan 5R
			<i>Baffle</i> tidak rata	I	Pengecekan menggunakan <i>auto levelling</i>	III	Pengawasan pekerjaan
		Pencahayaan kurang	Hasil kurang presisi	II	Sosialisasi K3 Pemeriksaan pekerjaan rutin	IV	Menyalakan lampu jika diperlukan Pemeriksaan pekerjaan rutin
9	<i>Settingsupport plate, sealing plate, & impingement plate</i>	Material berat	Tertimpa material	II	Sosialisasi K3 Pemakaian APD yang sesuai	II	Pengawasan pekerjaan
10	Memasukkan <i>straight tube</i> dan menyisakan 200mm sebelum <i>tubesheet</i> belakang	Beban kerja berat	Hilang fokus	II	Sosialisasi K3	II	Penambahan <i>man power</i>
		Material tajam	Tergores	II	Sosialisasi K3 Pemakaian APD yang sesuai	II	Sosialisasi K3 Pengawasan pekerjaan
11	Mengatur proyeksi <i>tube</i> dari <i>tubesheet</i>	Permukaan lantai kerja tidak rata	<i>Tube</i> tidak bisa dimasukkan	I	Pengecekan menggunakan <i>auto levelling</i>	III	Pengecekan menggunakan <i>auto level</i> dan <i>tape</i> Inspeksi rutin
12	Pemeriksaan dimensi menggunakan <i>measurement tape</i> & <i>total station</i>	Permukaan lantai kerja tidak rata	<i>Tube bundle</i> tidak rata	I	Pemeriksaan menggunakan <i>total station</i> dan <i>tape</i>	III	Pengecekan secara berkala
13	Mengelas <i>shell</i> ke <i>tubesheet</i> depan dan belakang	Pekerjaan <i>hotwork</i>	Kebakaran	I	Penerapan 5R Menyediakan APAR di sekitar area kerja	I	Pelatihan pengendalian kebakaran <i>Safety drill</i> rutin

No.	Pekerjaan/ Proses	Bahaya	Risiko	Risk Value	Pengendalian Saat Ini	Risk Value	Pengendalian Lanjutan
14	<i>Expanding straight tube</i>	<i>Overexpand</i>	Kerusakan material	I	Berhati-hati saat melakukan <i>expanding</i>	III	Pengecekan secara berkala
			Cidera	I	Sosialisasi K3 Pemakaian APD yang sesuai	IV	Pengecekan secara berkala Pengawasan pekerjaan
15	<i>Cutting straight tube</i>	Material tajam	Tergores	II	Sosialisasi K3 Pemakaian APD yang sesuai	II	Sosialisasi K3 Pengawasan pekerjaan
		Pekerjaan <i>hotwork</i>	Kebakaran	I	Penerapan 5R Menyediakan APAR di sekitar area kerja	I	Pelatihan pengendalian kebakaran <i>Safety drill</i> rutin
16	Menyiapkan dan memeriksa permukaan	Pencahayaannya kurang	Hasil kurang teliti	II	Sosialisasi K3 Pemeriksaan pekerjaan rutin	IV	Menyalakan lampu jika diperlukan Pemeriksaan pekerjaan rutin
17	Memasang <i>floating head</i> ke <i>floating tubesheet</i>	Pekerjaan <i>lifting</i>	Benda jatuh, kerusakan material	I	Sosialisasi K3 Pemeriksaan peralatan <i>lifting</i>	III	Inspeksi rutin peralatan <i>lifting</i> Pengawasan pekerjaan
			Cidera	I	Sosialisasi K3 Pemeriksaan peralatan <i>lifting</i>	II	Inspeksi rutin peralatan <i>lifting</i> Pengawasan pekerjaan
			<i>Fatality</i>	I	Sosialisasi K3 Pemeriksaan peralatan <i>lifting</i>	I	Inspeksi rutin peralatan <i>lifting</i> Pengawasan pekerjaan

Berdasarkan hasil identifikasi bahaya dan penilaian risiko dari Tabel 1 di atas yang telah dilakukan pada pekerjaan *assembly Tube Bundle Heat Exchanger* diperoleh hasil terdapat 22 potensi bahaya dan 34 risiko yang mungkin terjadi. Sebanyak 13 risiko termasuk dalam kategori Kuadran II dan 21 risiko merupakan kategori Kuadran I. Selanjutnya adalah pengendalian risiko dan kembali menilai risiko sisa yang masih ada. Setelah melakukan pengendalian risiko dan menilai risiko kembali diperoleh hasil sebanyak 8 risiko Kuadran IV, 10 risiko Kuadran III, 10 risiko Kuadran II, dan 6 risiko Kuadran I. Tahapan yang paling banyak memiliki potensi bahaya dan risiko tinggi yaitu pekerjaan *lifting*. Penilaian *severity* dan *likelihood* yang dilakukan mengacu pada SOP identifikasi bahaya dan penilaian risiko milik perusahaan. Risiko yang termasuk dalam kategori Kuadran I yaitu risiko kebakaran dan *fatality* akan dianalisis lebih lanjut untuk menemukan penyebab utama terjadinya potensi bahaya tersebut menggunakan FTA (*Fault Tree Analysis*).

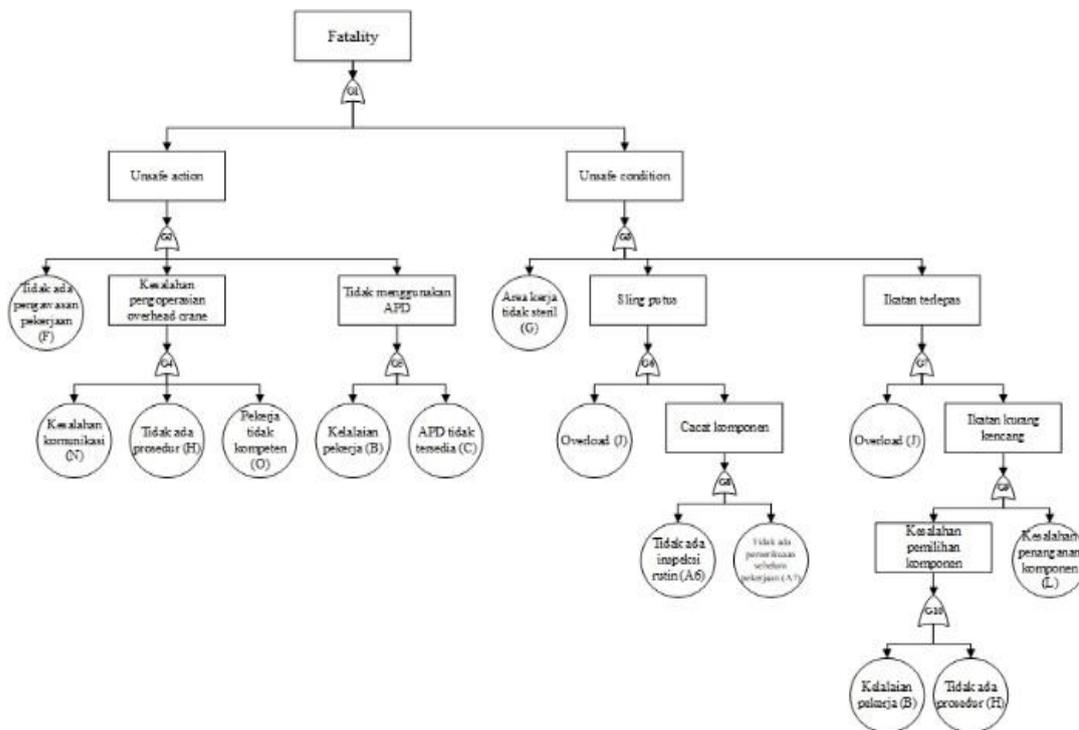
Fault Tree Analysis (FTA)

Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah salah satu teknik dalam mengidentifikasi risiko yang terlibat dalam terjadinya suatu kegagalan atau kecelakaan (Hanif, dkk., 2015). Analisis FTA dilakukan dengan menggunakan risiko Kuadran I pada HIRADC sebagai kejadian puncak (*top event*) kemudian mencari sebab-sebab dari *top event* hingga ditemukan sebab kegagalan dasar (*basic event*). *Cut set* adalah kombinasi dari pembentuk *fault tree* atau pohon kesalahan yang akan menyebabkan terjadinya peristiwa puncak ketika semuanya terjadi (Analysa, dkk., 2019). Sedangkan *minimal cut set* adalah set minimal yang dapat menyebabkan kegagalan sistem (Djamal dan Azizi, 2015). FTA untuk risiko kebakaran dan *fatality* dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 berikut.



Gambar 2. FTA pada Risiko Kebakaran

Berdasarkan Gambar 2 di atas yaitu *Fault Tree Analysis* pada terjadinya risiko kebakaran akibat pekerjaan *hotwork*, diperoleh hasil terdapat 8 *basic cause* yang berbeda-beda. Semua *basic cause* dilakukan analisis untuk menentukan *minimal cut set* dari *Fault Tree Analysis* tersebut.



Gambar 3. FTA pada Risiko Fatality

Berdasarkan Gambar 3 di atas yaitu *Fault Tree Analysis* pada terjadinya risiko *fatality* akibat pekerjaan *lifting*, diperoleh hasil terdapat 11 *basic cause* yang berbeda-beda. Semua *basic cause* dilakukan analisis untuk menentukan *minimal cut set* dari *Fault Tree Analysis* tersebut.

Berdasarkan FTA pada risiko kebakaran dan risiko *fatality* pada Gambar 2 dan Gambar 3 di atas, penentuan *minimal cut set* dilakukan dengan memberi penamaan pada *basic cause* dan *gate* yang ada pada FTA untuk mempermudah pengerjaan. Penentuan *minimal cut set* bertujuan untuk mengetahui *basic event* atau penyebab dasar terjadinya *top event*. Hasil analisis *minimal cut set* berdasarkan *basic event* pada Gambar 2 dan Gambar 3 di atas ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Basic Event Fault Tree Analysis

<i>Basic Event</i> Risiko Kebakaran	<i>Basic Event</i> Risiko <i>Fatality</i>
Kelalaian pekerja, tidak ada pengawasan pekerjaan, terpenuhi unsur segitiga api, dilakukan di dekat bahan mudah terbakar, pekerjaan menimbulkan percikan api, kurangnya penerapan 5R, pekerja belum <i>training</i> tanggap darurat, APAR tidak tersedia.	Kelalaian pekerja, APD tidak tersedia, tidak ada pengawasan pekerjaan, area kerja tidak steril, tidak ada prosedur, <i>overload</i> , kesalahan penanganan komponen, kesalahan komunikasi, pekerja tidak kompeten, tidak ada inspeksi rutin, tidak ada pemeriksaan sebelum digunakan.

Berdasarkan Tabel 2 di atas yaitu *Basic Event Fault Tree Analysis* pada Gambar 2 risiko kebakaran dan Gambar 3 risiko *fatality* dapat diketahui bahwa *hotwork* memiliki 8 *basic cause* antara lain kelalaian pekerja, tidak ada pengawasan pekerjaan, terpenuhi unsur segitiga api, dilakukan di dekat bahan mudah terbakar, pekerjaan menimbulkan percikan api, kurangnya penerapan 5R, pekerja belum *training* tanggap darurat, dan APAR tidak tersedia. Sedangkan pada pekerjaan *lifting* memiliki 11 *basic cause* antara lain kelalaian pekerja, APD tidak tersedia, tidak ada pengawasan pekerjaan, area kerja tidak steril, tidak ada prosedur, *overload*, kesalahan penanganan komponen, kesalahan komunikasi, pekerja tidak kompeten, tidak ada inspeksi rutin, dan tidak ada pemeriksaan sebelum digunakan. Untuk mengurangi dan menghindari terjadinya suatu *top event* maka harus dilakukan pemutusan atau penghilangan dari *basic event* dan *minimal cut set*. Hal ini dapat dilakukan dengan cara melakukan pengendalian sesuai hirarki pengendalian risiko dari masing-masing *basic cause*.

Rekomendasi pengendalian sesuai hirarki pengendalian yang dapat dilakukan untuk menghindari terjadinya *basic cause* risiko kebakaran dan *fatality* pada pekerjaan *assembly Tube Bundle Heat Exchanger* di atas sesuai hasil analisis HIRADC dan FTA yaitu sebagai berikut:

1. Kelalaian pekerja: mengadakan *toolbox meeting* setiap pagi, meningkatkan *safety awareness* kepada pekerja untuk berhati-hati saat bekerja, APD harus disediakan dan digunakan ketika berada di area produksi.
2. Tidak ada pengawasan pekerjaan: mengawasi pekerjaan yang sedang dilakukan, diawasi oleh rekan kerja lain ataupun supervisor, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.
3. Terpenuhi unsur segitiga api: meletakkan bahan dan material lain ke tempat yang aman, memberikan *safety awareness* mengenai pencegahan kebakaran, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.
4. Dilakukan di dekat bahan mudah terbakar: membuat tempat penyimpanan bahan mudah terbakar, meletakkan bahan mudah terbakar di tempat yang aman, memberikan *safety awareness* mengenai penanggulangan kebakaran, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.
5. Pekerjaan menimbulkan percikan api: memasang *barrier* atau pelindung untuk mencegah percikan api meluas, memberikan *safety awareness* mengenai penanggulangan kebakaran, mengawasi pekerjaan, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.
6. Kurangnya penerapan 5R: sosialisasi penerapan 5R secara langsung maupun tak langsung dengan *safety poster* dan *safety banner*, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.
7. Pekerja belum *training* tanggap darurat: memberikan pelatihan tanggap darurat dan penanggulangan kebakaran, menyusun dan menetapkan jadwal pelatihan tanggap darurat dan *emergency drill*, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.
8. APAR tidak tersedia: menyediakan APAR dan *hydrant* di sekitar area produksi, *monitoring* dan inspeksi jumlah dan kondisi APAR dan *hydrant*, rutin mengganti APAR yang tidak tidak berfungsi, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.
9. APD tidak tersedia: *monitoring* jumlah APD yang dibutuhkan dan digunakan, secara rutin membeli APD yang dibutuhkan, APD harus disediakan dan digunakan sesuai pekerjaan yang dilakukan.
10. Area kerja tidak steril: memasang *yellow line* di sekeliling area kerja untuk mensterilkan area, mengawasi pekerjaan dan membatasi orang yang masuk, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.
11. Tidak ada prosedur: menyusun dan menetapkan standar operasional prosedur terkait pekerjaan *lifting*, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.
12. *Overload*: memperhitungkan beban material yang akan diangkat dan menggunakan komponen *lifting* yang sesuai dengan kapasitasnya, menyusun dan menetapkan prosedur *lifting* dan mengawasi pekerjaan, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.
13. Kesalahan penanganan komponen: pelatihan pesawat angkat angkut kepada pekerja yang mengoperasikan *overhead crane*, mengawasi pekerjaan, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.
14. Kesalahan komunikasi: menyediakan dan menggunakan alat bantu komunikasi seperti HT, mengawasi pekerjaan, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.
15. Pekerja tidak kompeten: sertifikasi pesawat angkat angkut kepada pekerja yang mengoperasikan *overhead crane*, menyusun dan menetapkan prosedur pekerjaan *lifting*, mengawasi pekerjaan, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.
16. Tidak ada inspeksi rutin: inspeksi rutin terkait komponen *lifting* serta rekomendasi perbaikan atau penggantian komponen *lifting*, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.
17. Tidak ada pemeriksaan sebelum digunakan: menetapkan prosedur untuk melakukan pemeriksaan komponen *lifting* sebelum, saat, dan sesudah digunakan dan mengawasi pekerjaan, APD digunakan sesuai kebutuhan pekerjaan yang dilakukan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Hasil dari identifikasi bahaya dan penilaian risiko pekerjaan *assembly Tube Bundle Heat Exchanger* menggunakan metode HIRADC (*Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Controls*) diperoleh hasil terdapat 22 potensi bahaya dan sebanyak 7 risiko Kuadran IV, 10 risiko Kuadran III, 11 risiko Kuadran II, dan 6 risiko Kuadran I.
2. Rekomendasi yang dapat diberikan berdasarkan analisis penyebab utama menggunakan FTA (*Fault Tree Analysis*) yaitu memasang *yellow line* dan penanda batas area kerja steril dari yang tidak berkepentingan, menyusun dan menetapkan SOP sesuai pekerjaan, mengawasi pekerjaan, melakukan *toolbox meeting*, menerapkan budaya 5R, menetapkan jadwal *training safety drill*, memberikan pelatihan pesawat angkat angkut untuk operator *overhead crane*, menyediakan dan menggunakan APD *safety shoes, cattlepack, safety goggles/faceshield, safety helmet, safety gloves*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Analysa, D., Suhudi, S. dan Rahma, P.D., 2019. Evaluasi Keterlambatan Proyek Pembangunan Graha Mojokerto Service City (GMSC) dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA), *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 4(2), pp. 36.
- Cahyanie, R.A.P. dan Herwanto, D., 2022. Analisis Penilaian Beban Kerja Mental pada Pekerja Assembly di PT. XYZ dengan Menggunakan Metode NASA-TLX, *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(3).
- Djamil, N. dan Azizi, R., 2015. Identifikasi dan Rencana Perbaikan Penyebab Delay Produksi Melting Proses dengan Konsep Fault Tree Analysis (FTA) di PT. XYZ, *Jurnal Intech Teknik Industri*, 1(1), pp. 34–45.
- Ferdiana, T. dan Priadythama, I., 2016. Analisis Defect Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA) Berdasarkan Data Ground Finding Sheet (GFS) PT. GMF AEROASIA, *Prosiding Seminar Nasional Industrial Engineering Conference (IDEC) 2016*.
- Halim, A., Arumsari, A.G. dan Sulistianingrum, E.A., 2022. EVALUASI FOULING FACTOR PADA HEAT EXCHANGER DALAM PROSES PENGOLAHAN MINYAK GAS DAN BUMI, *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*, 4(1), pp. 83–88.
- Hanif, R.Y., Rukmi, H.S. dan Susanty, S., 2015. Perbaikan Kualitas Produk Keraton Luxury di PT.X dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA), *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Juli*, 03(03), pp. 137–147.
- Ihsan, T., Safitri, A. dan Dharossa, D.P., 2020. Analisis Risiko Potensi Bahaya dan Pengendaliannya Dengan Metode HIRADC pada PT. IGASAR Kota Padang Sumatera Barat, *Jurnal Serambi Engineering*, 5(2), pp. 1063–1069.
- Kani, B. R., 2013. Work and Organizational Psychology, *Jurnal Sipil Statik*, 1(6), pp. 476–496.
- Maylia, A. et al., 2021. Evaluasi Performa Heat Exchanger (E-3101) Pada Proses Pembuatan Aluminium Florida Pt Petrokimia Gresik, *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), pp. 246–254.
- Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012, 2012. *Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*.
- Perusahaan, 2018. Standar Operasional Prosedur (SOP), *Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko*.
- Supriyadi, Ahmad Nalhadi dan Abu Rizaal, 2015. Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko K3 Pada Tindakan Perawatan dan Perbaikan Menggunakan Metode HIRARC pada PT. X, *Seminar Nasional Riset Terapan*.
- Widjanarko, W. dan Khotimah, K., 2022. Konsep Penerapan ISO 45001:2018 dalam Manajemen Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Tahap Survei Tapak pada Lokasi Pembangunan PLTN di Kalimantan Barat, *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Standardisasi*, 2021, pp. 141–150.