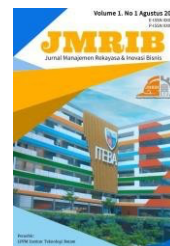




Tersedia secara online di <https://journal.iteba.ac.id/index.php/jmrib>

JMRIB

Jurnal Manajemen Rekayasa dan Inovasi Bisnis



PENERAPAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS* DAN *FAULT TREE ANALYSIS* BERBASIS ERGONOMI UNTUK MENGANALISIS KECELAKAAN KERJA DI PT. SELOKO BATAM SHIPYARD

Siti Maisarah^{*1}, Annisa Purbasari S.T, MT², Edi Sumarya S.T,MM³
[-¹sitimaisarah2100@gmail.com](mailto:sitimaisarah2100@gmail.com), [-²annisapurbasari.ti@gmail.com](mailto:annisapurbasari.ti@gmail.com), [-³edisumarya@gmail.com](mailto:edisumarya@gmail.com)

^{1,2,3}Program Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan, Jalan Pahalawan No 99 Batu Aji
29438 Batam Riau Islands Province

Informasi Artikel

Riwayat Artikel :

Received : 24 – Februari – 2026

Revised : 30 – Agustus – 2026

Accepted : Tangg– Bulan – 2026

Keywords:

FMEA, FTA, *Ergonomics*,
Work Accident, *Hot Work*,
Shipyards, *Cargo on Tank*,
RPN

Abstract

Work accidents during hot work activities in confined spaces are a serious problem in the shipbuilding industry. PT. Seloko Batam Shipyards recorded 21 occupational accidents during the period of July 2024 to June 2025 in the Cargo On Tank (C.O.T) area. This research aims to: (1) measure the level of work accident risk using ergonomics-based Failure Mode and Effect Analysis (FMEA); (2) identify root causes of priority risks using Fault Tree Analysis (FTA); and (3) provide structured risk control recommendations. Data were collected through questionnaires to 17 respondents, field observations, and accident documentation. FMEA results produced the highest Risk Priority Numbers (RPN) for: falling from height (RPN = 186.5), fire (RPN = 179.4), and ergonomic fatigue (RPN = 178.7), all categorized as critical based on an average RPN of 178.38. FTA analysis produced 12 basic events and 10 minimal cut sets for the highest-priority risk. Recommendations were developed using the 5W+1H framework aligned with the ISO 45001 control hierarchy, including daily scaffolding inspections, gas measurement before hot work, periodic ergonomics training, and strengthened work permit systems.

Abstrak

Kecelakaan kerja pada aktivitas *hot work* di area ruang terbatas (*confined space*) merupakan permasalahan serius dalam industri galangan kapal. PT. Seloko Batam Shipyards mencatat 21 kasus kecelakaan kerja selama periode Juli 2024 – Juni 2025 di area *Cargo on Tank* (C.O.T). Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengukur tingkat risiko kecelakaan kerja menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) berbasis ergonomi; (2) mengidentifikasi penyebab akar risiko prioritas menggunakan

Fault Tree Analysis (FTA); dan (3) memberikan rekomendasi pengendalian risiko yang terstruktur. Data dikumpulkan melalui kuesioner kepada 17 responden, observasi lapangan, dan dokumentasi kecelakaan. Hasil FMEA menghasilkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi pada risiko terjatuh dari ketinggian (RPN = 186,5), kebakaran (RPN = 179,4), dan kelelahan ergonomis (RPN = 178,7), ketiganya dikategorikan kritis berdasarkan rata-rata RPN sebesar 178,38. Analisis FTA menghasilkan 12 basic event dan 10 minimal cut set dari risiko tertinggi. Rekomendasi disusun menggunakan kerangka 5W+1H yang selaras dengan hierarki kontrol ISO 45001, meliputi inspeksi harian *scaffolding*, pengukuran gas sebelum *hot work*, pelatihan ergonomi berkala, dan penguatan sistem izin kerja.

1. Pendahuluan

Industri galangan kapal merupakan salah satu sektor dengan tingkat risiko kecelakaan kerja tertinggi di Indonesia. Aktivitas pekerjaan panas (*hot work*) seperti pengelasan, pemotongan logam menggunakan *cutting torch*, dan pengerindaan di area ruang terbatas (*confined space*) menimbulkan potensi bahaya yang sangat besar, termasuk kebakaran, ledakan, paparan gas beracun, serta risiko jatuh dari ketinggian [1].

PT. Seloko Batam Shipyard merupakan galangan kapal yang berlokasi di Tanjung Riau, Batam, dan bergerak di bidang perbaikan dan pembangunan kapal baru termasuk *tug boat*, *oil barge*, dan *patrol boat*. Salah satu area kerja paling kritis adalah *Cargo on Tank* (C.O.T), yaitu tangki penyimpanan kargo yang sering mengandung residu bahan bakar atau gas hidrokarbon. Perbaikan pada area ini mengharuskan dilakukannya *hot work* di ruang terbatas dengan ventilasi terbatas dan akses keluar yang sempit.

Kasus kecelakaan nyata yang menjadi pemicu penelitian ini terjadi pada 14 Februari 2025 saat perbaikan kapal MT. Horizon (GT 800) di area Tanjung Riau. Dua pekerja, yaitu seorang *fitter* dan seorang *welder*, mengalami luka pada kaki akibat kebakaran yang dipicu oleh percikan api *cutting torch* pada area C.O.T yang masih mengandung kandungan gas dan lumpur minyak. Kondisi lantai yang licin akibat residu minyak dan kepanikan pekerja menyebabkan keduanya tergelincir saat berusaha menaiki tangga evakuasi. Insiden ini terjadi meskipun kedua pekerja telah menggunakan APD lengkap sesuai SOP yang ditetapkan, mengindikasikan adanya faktor risiko sistemik yang belum teridentifikasi dengan baik [2].

Data historis menunjukkan bahwa pada periode Juli–Desember 2024 terdapat 13 kasus kecelakaan dengan penyebab utama meliputi kebakaran, jatuh dari ketinggian, terpeleset, kelelahan, dan terhirup kandungan gas. Meskipun terjadi penurunan menjadi 8 kasus pada periode Januari–Juni 2025 akibat peningkatan pengawasan K3, risiko struktural di area C.O.T tetap memerlukan pendekatan analisis yang lebih komprehensif dan berbasis bukti ilmiah [3].

Pendekatan ergonomi dalam analisis kecelakaan kerja menjadi penting karena kondisi kerja di ruang terbatas seperti C.O.T menciptakan postur kerja yang tidak ideal, keterbatasan ruang gerak, paparan suhu ekstrem, dan tekanan waktu yang meningkatkan risiko *human error*. Integrasi prinsip ergonomi ke dalam metode FMEA dan FTA memungkinkan identifikasi faktor risiko laten yang tidak terungkap dalam analisis konvensional, seperti ketiadaan rotasi kerja, kelelahan muskuloskeletal, dan ketidaksesuaian alat dengan dimensi tubuh pekerja [4].

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengukur tingkat risiko kecelakaan kerja pada aktivitas *hot work* di area C.O.T menggunakan metode FMEA berbasis ergonomi; (2) mengidentifikasi penyebab akar dari kejadian risiko prioritas menggunakan FTA; serta (3) merumuskan rekomendasi pengendalian risiko yang sistematis menggunakan kerangka 5W+1H yang selaras dengan standar ISO 45001 [5].

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) adalah upaya sistematis untuk melindungi fisik dan mental pekerja dari risiko di lingkungan kerja. K3 bukan sekadar kepatuhan hukum, melainkan bagian dari tanggung jawab sosial perusahaan (Wahyuni, 2018). Di Indonesia, penanganan kecelakaan kerja diatur dalam Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, yang mewajibkan perusahaan melindungi pekerjanya dari risiko kecelakaan melalui penerapan dan integrasi K3 dalam sistem manajemen perusahaan [6].

Kecelakaan kerja dapat terjadi akibat kondisi tidak aman (*unsafe condition*) dan perilaku tidak aman (*unsafe action*). Kedua faktor ini saling berinteraksi dan seringkali terjadi bersamaan, khususnya dalam aktivitas *hot work* di ruang terbatas. Penelitian di PT. Industri Kapal Indonesia Makassar menunjukkan bahwa faktor manusia dan kondisi lingkungan kerja yang tidak ergonomis merupakan kontributor utama kecelakaan pada pekerjaan pengelasan.

2.2 Ergonomi dalam Aktivitas *Hot Work*

Ergonomi adalah seni dan ilmu merancang pekerjaan agar sesuai dengan kemampuan fisik dan kognitif pekerja, bertujuan menurunkan risiko gangguan muskuloskeletal sekaligus meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Dalam aktivitas *hot work* di ruang terbatas, masalah ergonomi yang umum ditemukan meliputi: postur tubuh tidak netral akibat ruang sempit, beban fisik berlebih saat mengangkat peralatan berat, durasi kerja panjang tanpa rotasi yang memadai, serta paparan suhu ekstrem dan kebisingan tinggi [6].

Kegagalan menerapkan prinsip ergonomi berkontribusi terhadap peningkatan *human error* yang menjadi pemicu kecelakaan. Pendekatan berbasis ergonomi dalam analisis risiko memungkinkan identifikasi faktor-faktor tersembunyi yang tidak terdeteksi dalam analisis konvensional, seperti kelelahan kognitif akibat penempatan alat yang tidak dalam jangkauan optimal, atau cedera berulang akibat gerakan statis dalam posisi membungkuk.

2.3 *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

FMEA adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi potensi kegagalan dalam suatu proses atau sistem secara proaktif. FMEA mengkuantifikasi risiko melalui *Risk Priority Number* (RPN) yang dihitung dengan formula: $RPN = Severity (S) \times Occurrence (O) \times Detection (D)$, di mana masing-masing parameter dinilai pada skala 1–10 (Rachman et al., 2022).

Tabel 1. Parameter Penilaian FMEA

Parameter	Rentang Nilai	Keterangan
<i>Severity</i> (S)	1 – 10	Tingkat keparahan dampak kecelakaan: 1 (tidak ada dampak)

hingga 10 (fatal/kematian)

Occurrence (O)	1 – 10	Frekuensi kejadian: 1 (sangat jarang, 1:1.000.000) hingga 10 (sangat sering, 1:2)
Detection (D)	1 – 10	Kemudahan pendeteksian: 1 (hampir pasti terdeteksi) hingga 10 (hampir tidak terdeteksi)
RPN	1 – 1000	Nilai $S \times O \times D$; semakin tinggi semakin prioritas untuk ditangani

Kejadian risiko dengan RPN di atas nilai rata-rata total dikategorikan kritis dan menjadi prioritas utama tindakan korektif. Kelebihan FMEA meliputi kemampuan identifikasi risiko di tahap awal, prioritisasi berbasis data kuantitatif, dan fleksibilitas penerapan lintas industri. Keterbatasannya antara lain ketergantungan pada penilaian subjektif responden dan kurang efektif untuk kegagalan yang melibatkan interaksi kompleks antar komponen system.

2.4 Fault Tree Analysis (FTA)

FTA adalah metode analisis *top-down* yang dimulai dari kejadian puncak (*top event*) yang tidak diinginkan, lalu menelusuri penyebab dasar (*basic event*) melalui hubungan logika AND dan OR. Struktur pohon kesalahan menggambarkan hubungan kausal antara kegagalan sistem dengan penyebab-penyebabnya secara hierarkis [7].

Output utama FTA adalah *minimal cut set*, yaitu kumpulan kombinasi *minimum basic event* yang secara bersama-sama cukup untuk menyebabkan *top event*. *Basic event* yang muncul dalam banyak *minimal cut set* merupakan *single point of failure* yang memerlukan perhatian prioritas. FTA memberikan gambaran visual yang memudahkan pemahaman kompleksitas interaksi antar faktor risiko, dan dapat dikombinasikan dengan FMEA untuk analisis yang lebih komprehensif.

2.5 ISO 45001 dan Hierarki Pengendalian Risiko

ISO 45001 adalah standar internasional untuk sistem manajemen K3 yang menggunakan kerangka *Plan-Do-Check-Act*. Standar ini menetapkan hierarki pengendalian risiko yang harus diterapkan secara berurutan: (1) Eliminasi – menghilangkan sumber bahaya; (2) Substitusi – mengganti dengan alternatif yang lebih aman; (3) *Engineering control* – rekayasa teknik untuk mengurangi paparan; (4) *Administrative control* – prosedur, pelatihan, dan pengawasan; (5) APD – alat pelindung diri sebagai lapisan terakhir. Manfaat sertifikasi ISO 45001 meliputi pengurangan kecelakaan kerja, peningkatan kepatuhan hukum, dan penguatan reputasi organisasi [8].

3. Metode Penelitian

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif yang dilakukan secara langsung di lapangan (*field research*). Objek penelitian adalah aktivitas *hot work* di area *Cargo on Tank* (C.O.T) PT. Seloko Batam Shipyard, Tanjung Riau, Batam. Periode pengumpulan data berlangsung pada Mei–Juni 2025.

3.2 Populasi dan Sampel

Populasi penelitian adalah seluruh pekerja yang terlibat langsung dalam aktivitas *hot work* di area C.O.T. Sampel dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* berdasarkan keterlibatan langsung dalam pekerjaan pengelasan, pemotongan plat, dan aktivitas panas lainnya. Diperoleh 17 responden yang terdiri dari: 6 *Helper* (35,3%), 5 *Welder* (29,4%), 2 *WELDER* (11,8%), 1 *fitter* (5,9%), 1 *fitter bike* (5,9%), 1 *supervisor/SPV* (5,9%), dan 1 *helper* (5,9%) [9].

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui tiga metode: (1) Observasi lapangan untuk memahami kondisi nyata aktivitas *hot work* di C.O.T, termasuk kondisi lingkungan, peralatan, dan perilaku pekerja; (2) Wawancara mendalam dengan pekerja, *supervisor*, dan manajemen HSE terkait faktor risiko dan prosedur K3 yang berlaku; (3) Kuesioner terstruktur yang mencakup pertanyaan tentang pengalaman kecelakaan, frekuensi pelatihan, penilaian faktor risiko (*Severity*, *Occurrence*, *Detection*) pada skala 1–10, serta efektivitas langkah pencegahan yang ada. Selain data primer, penelitian juga memanfaatkan catatan resmi kecelakaan kerja PT. Seloko Batam Shipyard periode 2024–2025 sebagai data sekunder.

3.4 Tahap Analisis Data

Analisis data dilakukan dalam empat tahap. Tahap pertama adalah identifikasi kejadian risiko K3 berdasarkan data historis kecelakaan dan observasi lapangan. Tahap kedua adalah penilaian FMEA dengan menghitung nilai rata-rata S, O, dan D dari seluruh responden untuk setiap kejadian risiko, kemudian menghitung $RPN = S \times O \times D$ dan mengkategorikan kejadian sebagai kritis ($RPN > \text{rata-rata}$) atau tidak kritis ($RPN < \text{rata-rata}$). Tahap ketiga adalah analisis FTA untuk kejadian risiko dengan RPN tertinggi, meliputi penyusunan *fault tree*, identifikasi gate logika, dan perhitungan *minimal cut set* menggunakan aljabar Boolean. Tahap keempat adalah perumusan rekomendasi perbaikan menggunakan kerangka 5W+1H yang mengacu pada hierarki kontrol ISO 45001 [10].

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Gambaran Umum Kecelakaan Kerja

Berdasarkan data resmi PT. Seloko Batam Shipyard, terdapat 21 kasus kecelakaan kerja selama periode Juli 2024 – Juni 2025. Tabel 2 menyajikan ringkasan data tersebut beserta analisis trennya.

Tabel 2. Data Kecelakaan Kerja PT. Seloko Batam Shipyard (2024–2025)

Periode	Jumlah Kasus	Tingkat Keparahan	Sumber Penyebab Utama
Jul–Des 2024	13 kasus	Ringan: 7 orang Berat: 1 orang Meninggal: 0	Kebakaran, jatuh dari ketinggian, terpeleset/tergelincir, kelelahan, terhirup kandungan gas
Jan–Jun 2025	8 kasus	Ringan: 6 orang Berat: 0 Meninggal: 0	Kebakaran, terpeleset/tergelincir, kelelahan, terhirup kandungan gas

Total / Tren	21 kasus (↓ 38,5%)	Ringan: 13 orang Berat: 1 orang Meninggal: 0	Penurunan terkait peningkatan K3 berkala, pengetatan SOP, dan konsistensi APD
---------------------	-----------------------	--	--

Penurunan jumlah korban sebesar 38,5% dikaitkan dengan langkah perbaikan yang dilakukan manajemen antara lain peningkatan inspeksi alat dan perawatan preventif, pengawasan kontraktor yang lebih konsisten, penerapan briefing K3 setiap pagi, serta kewajiban permit (surat izin kerja) sebelum setiap aktivitas *hot work* maupun kerja di ketinggian. Meskipun demikian, tren penurunan ini belum menjamin penghapusan risiko struktural, sebagaimana dibuktikan oleh insiden 14 Februari 2025.

4.2 Hasil Penilaian FMEA

Dari hasil penyebaran kuesioner kepada 17 responden, diperoleh nilai rata-rata Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D) untuk lima kejadian risiko K3 di area C.O.T. Nilai RPN dihitung sebagai hasil kali ketiga parameter tersebut. Tabel 3 menyajikan rekapitulasi nilai penilaian Severity dari seluruh responden.

Tabel 3. Rekapitulasi Nilai Rata-Rata Penilaian FMEA

No	Kejadian Risiko K3	Faktor Risiko	S (rata-rata)	O (rata-rata)	D (rata-rata)	RPN	Kategori
1	Terjatuh dari ketinggian	Cedera serius/fatal, ergonomi	7,17	5,82	4,47	186,5	Kritis
2	Kebakaran	Terbakar, luka bakar	6,52	5,64	4,88	179,4	Kritis
3	Kelelahan (ergonomi)	Human factor/ergonomi	6,52	5,76	4,76	178,7	Kritis
4	Terhirup kandungan gas	Risiko kimia/inhalasi	7,11	5,29	4,64	174,5	Tidak Kritis
5	Terpeleset/tergelincir	Luka/memar, ergonomi	6,00	5,76	5,00	172,8	Tidak Kritis
Rata-Rata Total RPN						178,38	–

Terdapat tiga kejadian risiko yang dikategorikan kritis (RPN > 178,38): (1) Terjatuh dari ketinggian dengan RPN tertinggi sebesar 186,5 – nilai *Severity* tinggi (7,17) menunjukkan potensi cedera serius hingga fatal, sedangkan *Detection* terendah (4,47) mengindikasikan bahwa risiko ini paling sulit dideteksi sebelum terjadi; (2) Kebakaran dengan RPN 179,4 – meskipun nilai *Severity* lebih rendah, nilai *Detection* yang buruk (4,88) dan *Occurrence*

menengah (5,64) berkontribusi pada RPN yang tinggi; (3) Kelelahan ergonomis dengan RPN 178,7 – nilai *Occurrence* tertinggi (5,76) menunjukkan kejadian yang relatif paling sering di antara kejadian kritis lainnya.

Dua kejadian tidak kritis yaitu terhirup kandungan gas (RPN = 174,5) dan terpeleset (RPN = 172,8) tetap memerlukan perhatian karena berada di kisaran batas ambang. Nilai *Severity* terhirup gas yang tinggi (7,11) mengindikasikan potensi dampak serius jika risiko ini meningkat frekuensinya.

4.3 Analisis *Fault Tree Analysis* (FTA)

Kejadian risiko terjatuh dari ketinggian dipilih sebagai top event FTA berdasarkan nilai RPN tertinggi (186,5). Melalui wawancara mendalam dengan pihak perusahaan dan observasi lapangan, diidentifikasi empat intermediate event utama (faktor manusia, lingkungan, metode, dan alat) beserta 12 *basic event* sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. *Basic Event Fault Tree Analysis* – Terjatuh dari Ketinggian

No	Kode	<i>Basic Event</i>	<i>Intermediate Event</i>	Penjelasan Ergonomi
1	BE-1	Kelelahan fisik	Faktor Manusia / Mental-Fisik	Akibat postur statis berulang dalam ruang sempit C.O.T tanpa istirahat memadai
2	BE-2	Kurang konsentrasi	Faktor Manusia / Mental-Fisik	Dipicu kelelahan kognitif akibat kebisingan dan tekanan kerja di ruang terbatas
3	BE-3	Kesalahan Gerakan	Faktor Manusia / Tidak Berhati-hati	Akibat keterbatasan ruang gerak yang memaksakan postur tidak ergonomis
4	BE-4	Suhu ekstrem	Faktor Lingkungan / Kondisi Lapangan	Suhu tinggi di C.O.T melampaui batas toleransi termal pekerja (AND dengan BE-5)
5	BE-5	Permukaan kerja licin	Faktor Lingkungan / Kondisi Lapangan	Residu minyak dan lumpur di lantai C.O.T (AND dengan BE-4 untuk gate C)
6	BE-6	Kebisingan tinggi	Faktor Lingkungan / Kondisi Lapangan	Mengganggu komunikasi dan mempercepat kelelahan mental pekerja
7	BE-7	Tidak ada rotasi kerja	Faktor Metode / Kurang Pengetahuan	Pekerja terekspos paparan fisik dan mental terus-menerus tanpa jeda
8	BE-8	Kurang pelatihan ergonomi	Faktor Metode / Kurang Pengetahuan	Pekerja tidak terlatih mengenali tanda kelelahan atau postur berisiko

9	BE-9	Instruksi kerja tidak jelas	Faktor Metode / Kurang Pengetahuan	Prosedur evakuasi dan kerja aman tidak tersampaikan dengan efektif (AND dengan BE-8)
10	BE-10	Scaffolding tidak bertag	Faktor Alat / Standar dan Kelayakan	Tanpa tag inspeksi, kondisi scaffolding tidak terverifikasi kelayakannya
11	BE-11	Alat bantu angkat tidak tersedia	Faktor Alat / Standar dan Kelayakan	Pekerja terpaksa mengangkat beban berat secara manual di area sempit
12	BE-12	Peralatan kerja berat	Faktor Alat / Standar dan Kelayakan	Beban berlebih meningkatkan ketidakstabilan pekerja di ketinggian

Perhitungan *minimal cut set* menggunakan aljabar *Boolean* berdasarkan struktur gate menghasilkan 10 kombinasi penyebab sebagai berikut: {1}, {2}, {3}, {4,5}, {6}, {7}, {8,9}, {10}, {11}, {12}. Delapan dari 10 *cut set* merupakan *singleton* (satu *basic event*), yang berarti masing-masing faktor tersebut merupakan *single point of failure* yang secara mandiri dapat menyebabkan kecelakaan terjatuh dari ketinggian. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem perlindungan di area C.O.T belum memiliki lapisan redundansi yang memadai.

Cut set {4,5} yang terhubung melalui *gate* AND menjelaskan mekanisme insiden nyata 14 Februari 2025: suhu tinggi akibat kebakaran (BE-4) yang terjadi bersamaan dengan permukaan lantai licin oleh residu minyak (BE-5) menciptakan kondisi yang memaksa pekerja melakukan gerakan cepat tidak terkendali saat evakuasi. *Cut set* {8,9} juga merupakan *gate* AND, menunjukkan bahwa ketidakjelasan instruksi kerja menjadi berbahaya ketika dipadukan dengan minimnya pelatihan *ergonomic*.

4.4 Perbandingan Pendekatan FMEA Konvensional vs Berbasis Ergonomi

Penambahan dimensi ergonomi dalam analisis FMEA memberikan nilai tambah yang signifikan dalam mengidentifikasi faktor risiko yang tersembunyi. Tabel 5 menyajikan perbandingan interpretasi faktor risiko antara kedua pendekatan.

Tabel 5. Perbandingan FMEA Konvensional vs Berbasis Ergonomi

Faktor Risiko yang Diidentifikasi	FMEA Konvensional	FMEA Berbasis Ergonomi
Kelelahan fisik	Dinilai sebagai faktor individual: jam kerja panjang atau kondisi fisik pekerja yang kurang prima	Dianalisis berdasarkan interaksi postur statis, repetisi gerakan, dan beban fisik akibat desain ruang kerja yang tidak ergonomis
Kurang konsentrasi	Ditribusikan sebagai kelalaian pekerja (human error) tanpa analisis penyebab lebih dalam	Dikaitkan dengan kelelahan kognitif yang dipicu letak alat di luar jangkauan optimal dan paparan kebisingan

berkelanjutan

Tidak ada rotasi kerja	Tidak teridentifikasi sebagai faktor risiko dalam pendekatan konvensional	Teridentifikasi sebagai penyebab kelelahan muskuloskeletal yang meningkatkan risiko jatuh dan human error
Suhu ekstrem	Dicatat sebagai kondisi lingkungan umum tanpa keterkaitan dengan kapabilitas fisik pekerja	Dievaluasi berdasarkan batas toleransi termal pekerja dan interaksinya dengan kebutuhan keseimbangan saat di ketinggian
Kebisingan tinggi	Dicatat sebagai potensi gangguan pendengaran jangka panjang	Dikaitkan langsung dengan gangguan komunikasi darurat dan percepatan kelelahan kognitif dalam confined space
Peralatan tidak ergonomis	Umumnya tidak teridentifikasi atau dianggap sebagai masalah pemeliharaan	Dianalisis dampaknya terhadap beban fisik ekstra dan postur kerja yang tidak aman dalam ruang terbatas

4.5 Rekomendasi Pengendalian Risiko (5W+1H)

Berdasarkan hasil analisis FMEA dan FTA serta prinsip hierarki kontrol ISO 45001, rekomendasi perbaikan komprehensif disusun dalam kerangka 5W+1H. Tabel 6 menyajikan rekomendasi tersebut untuk empat faktor utama yang teridentifikasi dalam FTA.

Tabel 6. Rekomendasi Pengendalian Risiko dengan Kerangka 5W+1H

Faktor	What (Tujuan)	Why (Alasan)	Where (Lokasi)	When (Waktu)	How (Metode)
Manusia	Mengurangi kecelakaan dan meningkatkan disiplin pekerja	Agar pekerja lebih waspada dan <i>human error</i> berkurang	Area C.O.T PT. Seloko Batam Shipyard	Sebelum dan sesudah setiap aktivitas <i>hot work</i>	Pembekalan bahaya kerja rutin, briefing K3 setiap pagi, penekanan disiplin penggunaan APD, program rotasi kerja terstruktur setiap 2 jam
Lingkungan	Menata area kerja agar lebih aman dan nyaman	Menciptakan lingkungan kerja yang sehat dan bebas risiko jatuh	Area C.O.T PT. Seloko Batam Shipyard	Sebelum memulai setiap sesi pekerjaan	Housekeeping dan pembersihan residu minyak, pemasangan ventilasi tambahan, pencahayaan memadai, pemasangan alas anti-slip dan

pegangan tangan
pada tangga

Metode	Meningkatkan pengetahuan dan keterampilan K3 pekerja	Meminimalkan <i>human error</i> akibat ketidaktahuan prosedur	Area C.O.T PT. Seloko Batam Shipyard	Rutin sebelum dimulainya proyek baru atau pekerjaan berisiko tinggi	Pelatihan K3 ergonomi berkala, sertifikasi kerja di ketinggian, pembentukan ketua <i>shift</i> yang bertanggung jawab mengawasi penggunaan APD, simulasi evakuasi darurat
Alat	Mencegah kecelakaan akibat peralatan tidak layak atau tidak ergonomis	Menjamin sarana proteksi dan alat kerja dalam kondisi optimal	Area C.O.T PT. Seloko Batam Shipyard	Sebelum setiap aktivitas kerja dilaksanakan	Inspeksi dan pelabelan (<i>tagging</i>) <i>scaffolding</i> harian, penyediaan alat bantu angkat mekanis sesuai kapasitas beban, <i>checklist</i> peralatan sebelum mulai kerja, kalibrasi detektor gas secara berkala

Mengacu pada hierarki kontrol ISO 45001, implementasi rekomendasi di atas diprioritaskan dalam urutan berikut: (1) Eliminasi: penerapan sistem *work permit* wajib sebelum setiap kegiatan *hot work* untuk memastikan area telah bersih dari gas dan layak kerja; (2) *Engineering Control*: instalasi sistem deteksi gas otomatis berkalibrasi, perbaikan sistem ventilasi C.O.T, dan modifikasi tangga akses dengan pegangan ergonomis; (3) *Administrative Control*: briefing K3 setiap pagi, rotasi kerja terstruktur, dan pelatihan ergonomi berkala; (4) APD: *full body harness* untuk kerja di ketinggian, *respirator* untuk paparan gas, dan coverall tahan api untuk *hot work*.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Sabaraya & Prastawa (2024) yang menemukan bahwa integrasi FMEA dan FTA lebih efektif dalam mengidentifikasi risiko kompleks di lingkungan industri dibanding penggunaan satu metode saja. Pendekatan berbasis ergonomi yang diterapkan dalam penelitian ini juga konsisten dengan rekomendasi bahwa desain pekerjaan yang mempertimbangkan kemampuan fisik dan kognitif pekerja merupakan langkah preventif paling efektif dalam mengurangi kecelakaan kerja di lingkungan berisiko tinggi.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik tiga kesimpulan utama. Pertama, analisis FMEA berbasis ergonomi berhasil mengidentifikasi lima kejadian risiko K3 di area C.O.T PT. Seloko Batam Shipyard. Dari lima kejadian tersebut, tiga dikategorikan kritis berdasarkan nilai RPN di atas rata-rata (178,38): terjatuh dari ketinggian (RPN = 186,5), kebakaran (RPN = 179,4), dan kelelahan ergonomis (RPN = 178,7). Pendekatan berbasis ergonomi terbukti lebih komprehensif dibanding FMEA konvensional karena mampu mengidentifikasi faktor risiko laten seperti ketiadaan rotasi kerja, ketidaksesuaian postur, dan kelelahan kognitif.

Kedua, analisis FTA pada risiko tertinggi (terjatuh dari ketinggian) menghasilkan 12 basic event dan 10 minimal cut set. Delapan cut set merupakan single point of failure yang mengindikasikan sistem perlindungan belum memiliki lapisan redundansi memadai. *Cut set* {4,5} yang terhubung *gate* AND antara suhu ekstrem dan permukaan licin secara tepat menjelaskan mekanisme insiden nyata 14 Februari 2025 di area C.O.T kapal MT. Horizon.

Ketiga, rekomendasi perbaikan berbasis kerangka 5W+1H dan hierarki kontrol ISO 45001 mencakup empat dimensi: manusia (rotasi kerja, *briefing* harian), lingkungan (*housekeeping*, ventilasi, *anti-slip*), metode (pelatihan ergonomi, sertifikasi kerja ketinggian), dan alat (inspeksi *scaffolding*, detektor gas berkalibrasi). Implementasi hierarkis sesuai ISO 45001 diperkirakan dapat menurunkan seluruh nilai RPN kritis ke bawah nilai rata-rata pada evaluasi berikutnya

Daftar Pustaka

- [1] D. Kurniawan, “BLOK FABRIKASI DI PT KARIMUN SEMBAWANG SHIPYARD DENGAN METODE PENDEKATAN HIRARC,” vol. 26, no. September, pp. 47–57, 2025, doi: 10.33556/jstm.
- [2] A. Giovanni, L. D. Fathimahhayati, and T. A. Pawitra, “Risk Analysis of Occupational Health and Safety Using Hazard Identification , Risk Assessment and Risk Control (HIRARC) Method (Case Study in PT Barokah Galangan Perkasa),” vol. 4, no. 2, pp. 198–211, 2023, doi: 10.22441/ijiem.v4i2.20398.
- [3] M. Meriana *et al.*, “Implementasi komunikasi krisis pada penanganan bencana pasca ledakan pt kilang pertamina internasional unit dumai,” vol. 15, no. 1, 2026.
- [4] W. Septiani, G. Anggraeni, and N. Rahmawati, “Assessment Risk Ergonomic in Painting Industry using Ergo-FMEA : Assessment Risk Ergonomic in Painting Industry using Ergo-FMEA Assessment Risk Ergonomic in Painting Industry using Ergo-FMEA,” no. September 2022, 2026, doi: 10.1145/3557738.3557826.
- [5] M. I. Permana and D. Widyaningrum, “Optimizing Workplace Safety : A Comprehensive Analysis Of Accident Risks Through FMEA And RCA Methods,” vol. 21, no. 1, pp. 158–167, 2023.
- [6] Y. Dilakukan, O. Karyawan, and T. Perusahaan, “Rewang Rencang : Jurnal Hukum Lex Generalis. Vol.6. No.5 (2025) Tema/Edisi : Hukum Perburuhan dan Ketenagakerjaan (Bulan Kelima) <https://jhlrg.rewangrencang.com/>,” vol. 6, no. 5, pp. 1–24, 2025.
- [7] S. Xin, X. Zhu, S. Liu, and J. Guo, “Research on Fault Tree Reconstruction Based on Contingency,” pp. 1–8, 2022.
- [8] S. N. Sari and A. Y. Deviyanti, “Implementation of an ISO 45001-Based Occupational Health and Safety Management System in Healthcare Companies,” vol. 2, no. October, pp. 110–120, 2025.
- [9] P. Pengelasan, D. I. Tangki, O. Di, and P. T. X. Y. Z. Balikpapan, “ANALISIS PENERAPAN SURAT IZIN KERJA AMAN HOT WORK PADA,” vol. 11, no. 3, pp. 529–536, 2025.
- [10] D. Labib and Ayudyah Eka Apsari, “Analisis Risiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Menggunakan Metode Failure Metode and Effect Analysis (Fmea) Dan Fault Tree Analysis (Fta),” *J. Ilm. Tek. Ind. Dan Inov.*, vol. 2, no. 1, pp. 45–64, 2024, doi: 10.59024/jisi.v2i1.599.