

Analisis Kegagalan Sistem Ship Unloader 2 Menggunakan Metode FMEA dan FTA

Muhammad Satrio Maulidy¹, Akhmad Wasiur Rizqi², Efta Dhartikasari Priyana³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik

Jl. Sumatra 101 GKB Randuagung, Gresik 61121

Email: muhamadrio621@gmail.com, akhmad_wasiur@umg.ac.id, eftadhartikasari@umg.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab kegagalan sistem *ship unloader 2* di PT ABC dengan mengintegrasikan metode *failure mode and effect analysis* (FMEA) dan *fault tree analysis* (FTA). Data penelitian diperoleh dari catatan *breakdown* periode November 2024 – April 2025 serta kuesioner kepada enam responden berpengalaman. FMEA digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan menghitung *risk priority number* (RPN) berdasarkan parameter *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Hasil analisis menunjukkan empat komponen dengan nilai RPN tertinggi, yaitu motor vertikal 2M2 (152), gear pinion inlet device (119), baut shaft vertikal No.1 (110), dan motor vertikal 2M1 (103). Komponen tersebut selanjutnya dianalisis dengan FTA guna menelusuri akar penyebab kegagalan melalui struktur logika AND/OR hingga ke *basic events*. Hasil FTA mengungkap bahwa faktor dominan pemicu kerusakan adalah beban berlebih, material scaling, vibrasi berlebih, kelelahan material, serta keausan mekanis akibat usia dan benturan. Berdasarkan temuan ini, disusun rekomendasi mitigasi berupa pengendalian beban material, pemasangan sensor monitoring, inspeksi rutin, dan penguatan prosedur operasional. Kontribusi penelitian ini bersifat teoritis, dengan menunjukkan efektivitas integrasi FMEA dan FTA dalam menganalisis kegagalan peralatan bongkar muat curah, serta praktis, melalui usulan strategi mitigasi yang dapat diimplementasikan langsung oleh PT ABC untuk menekan downtime dan meningkatkan keandalan sistem.

Kata kunci: Ship Unloader, FMEA, FTA, RPN, Analisis Risiko, Keandalan

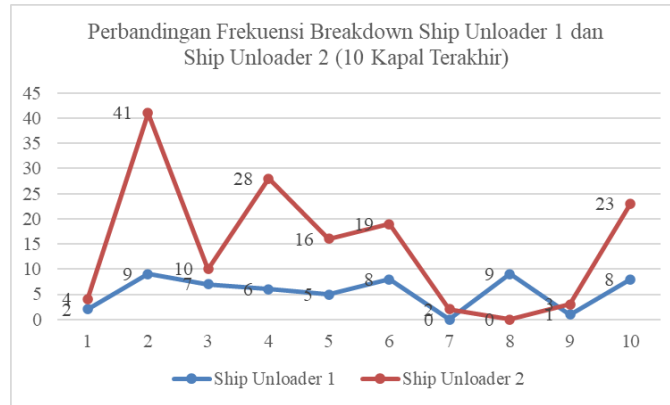
ABSTRACT

This study aims to analyze the failure modes of Ship Unloader 2 at PT ABC by integrating the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA) methods. Data were collected from breakdown records during the November 2024 – April 2025 observation period, complemented with questionnaires distributed to six experienced respondents. FMEA was employed to identify failure modes and calculate the Risk Priority Number (RPN) based on severity, occurrence, and detection parameters. The results identified four critical components with the highest RPN values, namely Motor Vertical 2M2 (152), Gear Pinion Inlet Device (119), Vertical Shaft Bolt No.1 (110), and Motor Vertical 2M1 (103). These components were further analyzed using FTA to trace the root causes of failure through AND/OR logic down to the basic event level. The FTA results revealed that the dominant causes of failure include overload, material scaling, excessive vibration, material fatigue, and mechanical wear due to age and impact. Based on these findings, mitigation strategies were formulated, including load control, the installation of monitoring sensors, routine inspections, and the strengthening of operational procedures. The study contributes theoretically by demonstrating the effectiveness of integrating FMEA and FTA in the context of bulk cargo handling equipment, and practically by providing actionable mitigation strategies that PT ABC can directly implement to reduce downtime and enhance system reliability.

Keywords: Ship Unloader, FMEA, FTA, RPN, Risk Analysis, Reliability.

Pendahuluan

Di PT ABC terdapat beberapa peralatan utama untuk menunjang kegiatan bongkar muat curah, di antaranya *ship unloader 1* dan *ship unloader 2*. Kedua unit ini dipertimbangkan sebagai kandidat fokus studi karena memiliki peran vital dalam kelancaran operasional. Untuk menentukan objek yang paling tepat dijadikan bahan penelitian lebih lanjut, dilakukan studi awal dengan mengumpulkan masing-masing 10 data kerusakan (*breakdown*) dari setiap unit [1]. Frekuensi kerusakan dipilih sebagai indikator utama karena mencerminkan seberapa sering suatu alat mengalami gangguan dalam operasionalnya.



Gambar 1 Perbandingan frekuensi kerusakan *ship unloader 1* dan *ship unloader 2* (10 kapal terakhir)

Hasil studi awal menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara *ship unloader 1* dan *ship unloader 2*. *Ship unloader 1* relatif stabil dengan frekuensi kerusakan tertinggi hanya 9–10 kali per kapal, sedangkan *ship unloader 2* menunjukkan lonjakan gangguan yang jauh lebih tinggi, misalnya 41 kali *breakdown* pada kapal ke-2, 28 kali pada kapal ke-4, dan 23 kali pada kapal ke-10. Analisis komparatif sederhana ini memperlihatkan bahwa *ship unloader 2* memiliki tingkat kerusakan yang paling tinggi dan tidak stabil, sehingga dipilih sebagai fokus utama penelitian [2]. Dengan demikian, penelitian diarahkan untuk menganalisis *ship unloader 2* secara lebih mendalam dari sisi keandalan sistem dan strategi perbaikannya. Metode *failure mode and effect analysis* digunakan untuk mengidentifikasi komponen kritis dan menghitung nilai *risk priority number*, sedangkan *fault tree analysis* diterapkan untuk menelusuri akar penyebab kegagalan secara sistematis [3]. Pendekatan integratif ini diharapkan mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai permasalahan yang terjadi sekaligus menghasilkan rekomendasi mitigasi yang lebih tepat sasaran. Berikut data kerusakan yang terjadi pada *ship unloader 2* selama bulan November 2024 sampai April 2025.

Tabel 1. Data kerusakan pada *ship unloader 2* selama bulan November 2024 – April 2025

NO	Nama Kapal	Bulan	Komponen Yang Rusak	Mode Kegagalan	Jumlah Kerusakan	Total
1	MV. Sea Prajna	November	Shaft Vertical no 1	Putus	3	16
			Gear Pinion Inlet Device	Rusak	4	
2	MV.XIN HAI TONG 55		Motor Horizontal	Alarm Trip	4	
			Baut Shaft Horizontal no 1	Putus	4	
			Baut Shaft Vertical no 1	Putus	4	
3	MV.Lila	Desember	Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	2	3
			Horizontal Lubrication	Alarm Trip	1	
			Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	12	
4	MV. CL Jeddah		Gear Pinion Inlet Device	Rusak	3	
			Seal pendulum in/out	Bocor	3	
		Januari	Shaft Vertical no 3	Putus	3	22
			Cover Vertical no 3	Bocor	1	
			Relay 8.2-K32	Eror	4	
5	MV. Newseas Jasper		Hydraulic System	Eror	1	
			Main Power	Alarm Trip	1	
		Februari	Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	11	17
			Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	4	
6	MV Sea Etiquette		Cover Vertical no 4	Bocor	1	
			Rubber Seal	Keluar Jalur	1	
			Baut Shaft Vertical no 1	Putus	7	
7	MV.AFRICAN SWAN		Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	3	3
8	MV. CL Aqaba		Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	3	3
9	MV.BERGE HAKODATE		Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	4	4
			Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	31	
10	MV.CL Hibiscus		Baut Shaft Horizontal no 1	Putus	2	41
			Baut Shaft Vertical no 2	Putus	8	

11	MV New Dedication		Vertical Highpress Pump	Pressure Rendah	1	10
			Shaft Horizontal no 4	Putus	1	
			Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	8	
			Motor Vertical 2m1	Alarm Trip	24	
12	MV.Tan Binh 129		Vertical Highpress Pump	Pressure Rendah	1	28
			Oil Hydraulic	Pressure Rendah	2	
			Motor Slewing	Alarm Trip	1	
			Horizontal Lubrication	Grease Habis	1	
			Inlet Device	Alarm Trip	2	
			Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	3	
		Maret	Rubber Seal	Keluar Jalur	1	
13	MV.Ince Southwind		Tubing Vertical no 4	Bocor	4	16
			Gear Pinion Inlet Device	Rusak	2	
			Cup Holder Vertical no 1	Rusak	2	
			Inlet Bottom	Retak	1	
14	MV Xin Haig 35		Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	15	19
			Gear Pinion Inlet Device	Rusak	4	
15	MV.Zhong Yu 28		Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	1	2
			Gear Pinion Inlet Device	Rusak	1	
16	MV.Pagoda		Tidak Ada	Tidak Ada	0	0
17	MV.Ning Feng 316	April	Inspeksi Vertical	Sambungan Retak	2	3
			Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	1	
18	MV Densa Lion		Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	22	23
			Horizontal Lubrication	Grease Habis	1	
Total Jumlah Keseluruhan					226	

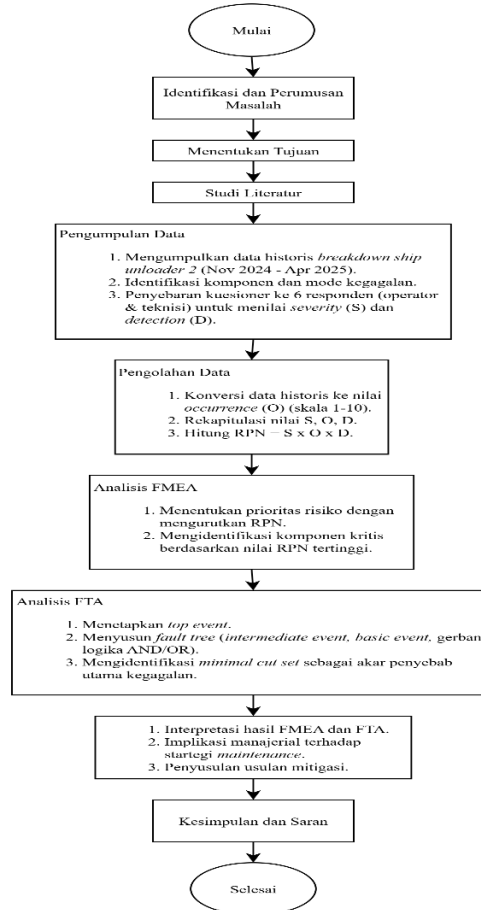
Sejumlah penelitian sebelumnya telah menggunakan metode FMEA untuk menganalisis risiko kerusakan peralatan. Pada unit Wheel Loader Komatsu WA800-3 menunjukkan bahwa penerapan FMEA mampu menurunkan frekuensi *breakdown* hingga 90% setelah rekomendasi perbaikan dilaksanakan [4]. Penelitian serupa juga terjadi pada alat berat Grab di PT Siam Maspion Terminal Gresik, yang berhasil mengidentifikasi komponen kritis dengan nilai RPN tertinggi, seperti roda pulley (RPN 150) dan as silinder (RPN 125), sehingga perusahaan dapat memprioritaskan preventive maintenance [5]. Hasil-hasil ini membuktikan bahwa FMEA efektif dalam memetakan komponen kritis dan memberikan dasar usulan perbaikan. Namun, pendekatan tersebut masih memiliki keterbatasan karena hanya berhenti pada identifikasi komponen kritis tanpa menelusuri hubungan sebab-akibat yang kompleks[6]. Dengan kata lain, FMEA belum mampu menggambarkan kombinasi beberapa penyebab yang muncul secara bersamaan dan memicu kegagalan sistem.. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengintegrasikan FMEA dan FTA. FMEA digunakan untuk menentukan komponen *ship unloader 2* dengan nilai RPN tertinggi, sedangkan FTA dipakai untuk menelusuri akar penyebab melalui struktur logika AND/OR hingga *level basic events* [7]. Dengan pendekatan ini, analisis diharapkan lebih komprehensif sekaligus menghasilkan strategi mitigasi yang lebih terarah bagi PT ABC.

Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan tahap identifikasi dan perumusan masalah pada sistem *ship unloader 2* untuk mengungkap permasalahan yang menjadi fokus kajian [8]. Setelah itu, ditentukan tujuan penelitian agar analisis lebih terarah. Tahap selanjutnya adalah studi literatur, yang dilakukan untuk memperoleh landasan teori serta temuan penelitian sebelumnya sebagai dasar penyusunan metodologi [9]. Data penelitian dikumpulkan melalui beberapa langkah, yaitu pengumpulan data historis *breakdown ship unloader 2* pada periode November 2024 hingga April 2025, identifikasi komponen beserta mode kegagalannya, serta penyebaran kuesioner kepada operator dan teknisi guna memperoleh nilai *severity* (S) dan *detection* (D). Data yang terkumpul kemudian diolah dengan mengonversi data historis menjadi nilai *occurrence* (O) pada skala 1–10, merekapitulasi nilai S, O, dan D, serta menghitung *risk priority number* (RPN) menggunakan rumus $RPN = S \times O \times D$ [10]. Hasil pengolahan data tersebut digunakan pada tahap analisis FMEA untuk menentukan prioritas risiko dan mengidentifikasi

komponen kritis berdasarkan nilai RPN tertinggi [11]. Komponen kritis yang telah diidentifikasi selanjutnya dianalisis menggunakan metode FTA, menyusun *fault tree* menggunakan gerbang logika (AND/OR), dan mengidentifikasi minimal *cut set* sebagai akar penyebab kegagalan [12]. Tahap akhir meliputi interpretasi hasil analisis FMEA dan FTA, penarikan implikasi manajerial terhadap strategi pemeliharaan, serta penyusunan usulan mitigasi. Penelitian diakhiri dengan penyajian kesimpulan dan saran perbaikan untuk mengurangi risiko kegagalan di masa mendatang [13].

Alur Penelitian



Gambar 2 Flowchart penelitian

Failure Mode and Effect Analysis

Metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) adalah suatu pendekatan yang digunakan untuk membantu menentukan strategi perawatan yang tepat dengan cara mengidentifikasi berbagai kemungkinan jenis kerusakan, dampak yang bisa ditimbulkan, serta penyebab terjadinya kerusakan tersebut [14].

Failure mode and effect analysis (FMEA) adalah Bertujuan untuk mendeteksi dan menganalisis berbagai bentuk kegagalan sejak dini, sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan sebelum kegagalan tersebut benar-benar terjadi [15]. Dalam prosesnya, FMEA memberikan penilaian terhadap setiap potensi kegagalan berdasarkan tiga aspek utama, yaitu:

1. *Severity* (S): tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan jika kegagalan terjadi.
2. *Occurrence* (O): kemungkinan atau frekuensi terjadinya kegagalan.
3. *Detection* (D): kemampuan sistem untuk mendeteksi kegagalan sebelum berdampak.

Penilaian dilakukan dengan mengacu pada tiga parameter utama, yaitu severity, occurrence, dan detection, yang menjadi dasar dalam mengukur tingkat keparahan, frekuensi, serta kemampuan deteksi dari masing-masing kegagalan. Skala penilaian mengikuti standar FMEA dengan rentang 1–10 yang diadaptasi dari penelitian sebelumnya [16][17]. Nilai *severity* (S) ditentukan berdasarkan tingkat keparahan dampak kegagalan, dengan skor 1 menunjukkan dampak sangat ringan dan skor 10 menunjukkan dampak fatal yang dapat menghentikan operasi [18]. Nilai *occurrence* (O) ditentukan secara objektif dari data historis frekuensi kerusakan selama enam bulan pengamatan, kemudian dikonversi ke skala 2–10 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. Sementara itu, nilai *detection* (D) diperoleh dari penilaian enam responden mengenai kemungkinan kegagalan tidak terdeteksi, dengan skor 1 berarti sangat mudah dideteksi dan skor 10 berarti sangat sulit dideteksi.

Tabel 2. Skala nilai *severity*

Dampak	Peringkat	Keterangan
Berbahaya (sangat serius)	10	Mengancam nyawa atau merusak Ship Unloader total
Berbahaya dengan peringatan	9	Ship Unloader rusak total, sedikit mengancam keselamatan
Sangat tinggi	8	Ship Unloader rusak total, tapi aman bagi manusia
Tinggi	7	Komponen utama rusak berat, operasi sebagian terhenti
Sedang	6	Kinerja terganggu cukup besar, tapi tidak sampai berhenti total
Rendah	5	Butuh perbaikan cepat, operasi masih bisa jalan meski kurang efisien
Sangat rendah	4	Gangguan kecil, tidak hentikan operasi
Sedikit mengganggu	3	Gangguan ringan, seperti operasi melambat atau kerusakan ringan
Sangat sedikit	2	Gangguan sangat kecil, tanpa pengaruh berarti ke kinerja
Tidak ada efek	1	Tidak ada dampak, Ship Unloader beroperasi normal

Tabel 3. Skala nilai *occurrence*

Dampak	Peringkat	Keterangan
Pasti	10	Kerusakan hampir selalu terjadi
Sangat tinggi	9	Peluang terjadinya kerusakan sangat besar
Tinggi	8	Kerusakan sering muncul
Cukup tinggi	7	Kemungkinan kerusakan relatif sering
Sedang	6	Kerusakan kadang-kadang terjadi
Rendah	5	Ada kemungkinan kerusakan, tapi tidak terlalu sering
Sedikit sekali	4	Jarang terjadi, tapi masih ada kemungkinan
Sangat kecil	3	Kemungkinan kerusakan sangat kecil
Jarang	2	Hampir tidak pernah terjadi kerusakan
Terkendali	1	Belum pernah ditemukan kerusakan serupa sebelumnya

Tabel 4. Skala nilai *detection*

Dampak	Peringkat	Keterangan
Hampir tidak mungkin	10	Kegagalan tidak akan terdeteksi sampai terjadi kerusakan besar
Sangat kecil	9	Sangat sulit dikenali tanpa alat khusus
Kecil	8	Sulit dilihat karena gejalanya samar, seperti aus perlahan
Sangat rendah	7	Deteksi sulit karena kerusakan kecil tidak langsung terlihat
Rendah	6	Cukup sulit untuk menemukan tanda-tanda kerusakan
Sedang	5	Tidak mudah dideteksi, perlu pengamatan lebih teliti
Cukup tinggi	4	Bisa dikenali dengan bantuan alat tambahan
Tinggi	3	Mudah dideteksi lewat pemeriksaan rutin atau sistem kontrol
Sangat tinggi	2	Gejala mudah terlihat lewat visual, sensor, atau alarm otomatis
Pasti terjadi	1	Kerusakan sangat jelas, seperti suara bising, getaran kuat, atau alat berhenti total

Seluruh data hasil kuesioner diolah menggunakan Microsoft Excel untuk menghitung rata-rata penilaian responden, melakukan konversi nilai *occurrence*, serta menghitung *risk priority number* (RPN) dengan formula $S \times O \times D$ [19]. Selain itu, Excel juga digunakan untuk menyusun grafik pareto guna menampilkan komponen dengan RPN tertinggi.

Fault Tree Analysis

Fault Tree Analysis (FTA) merupakan metode analisis berbentuk grafis yang digunakan untuk menelusuri serta mengidentifikasi faktor penyebab dari suatu kerusakan atau risiko hingga ke tingkat paling dasar yang berpotensi menimbulkan kegagalan pada sistem produk maupun jasa. Metode ini diterapkan dengan pendekatan top down, yaitu dimulai dari asumsi kegagalan pada top event, kemudian diuraikan secara bertahap hingga ditemukan penyebab utama [20][21].

Hasil Dan Pembahasan

Penelitian diperoleh dari catatan historis kerusakan *ship unloader 2* selama periode observasi (November 2024–April 2025), identifikasi komponen beserta mode kegagalannya, serta penyebaran kuesioner kepada enam responden untuk memperoleh nilai severity dan detection. Responden terdiri dari dua operator, satu kepala operator, dua teknisi, dan satu kepala teknisi yang memiliki pemahaman teknis langsung terhadap kondisi *ship unloader 2*. Pemilihan responden dilakukan dengan metode *purposive sampling*, yaitu teknik penentuan responden berdasarkan kriteria tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian. Dalam hal ini, kriteria yang digunakan adalah pengalaman kerja minimal tiga tahun dalam pengoperasian dan pemeliharaan *ship unloader 2* di PT ABC. Pertimbangan tersebut dipilih karena dianggap cukup untuk memahami pola kerusakan dan prosedur pemeliharaan yang berlaku, sehingga jawaban yang diberikan lebih akurat dan representatif terhadap kondisi lapangan.

Tabel 5. Data historis kerusakan *ship unloader 2*

NO	Komponen Yang Rusak	Mode Kegagalan	Jumlah Kerusakan	Jenis Breakdown
1	Rubber Seal	Keluar Jalur	2	Internal Breakdown
2	Main Power	Alarm Trip	1	Internal Breakdown
3	Relay 8.2-K32	Eror	4	Internal Breakdown
4	Motor Slewing	Alarm Trip	1	Internal Breakdown
5	Oil Hydraulic	Pressure Rendah	2	Internal Breakdown
6	Hydraulic System	Eror	1	Internal Breakdown
7	Motor Horizontal	Alarm Trip	4	Internal Breakdown
8	Horizontal Lubrication	Grease Habis	3	Internal Breakdown
9	Baut Shaft Horizontal no 1	Putus	6	Internal Breakdown
10	Shaft Horizontal no 4	Putus	1	Internal Breakdown
11	Vertical Highpress Pump	Pressure Rendah	2	Internal Breakdown
12	Motor Vertical 2m1	Alarm Trip	24	Internal Breakdown
13	Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	120	Internal Breakdown
14	Inspeksi Vertical	Sambungan Retak	2	Internal Breakdown
15	Seal pendulum in/out	Bocor	3	Internal Breakdown
16	Baut Shaft Vertical no 1	Putus	11	Internal Breakdown
17	Shaft Vertical no 1	Putus	3	Internal Breakdown
18	Cup Holder Vertikal no 1	Rusak	2	Internal Breakdown
19	Baut Shaft Vertical no 2	Putus	8	Internal Breakdown
20	Shaft Vertical no 3	Putus	3	Internal Breakdown
21	Cover Vertical no 3	Bocor	1	Internal Breakdown
22	Cover Vertical no 4	Bocor	1	Internal Breakdown
23	Tubing Vertical no 4	Bocor	4	Internal Breakdown
24	Inlet Device	Alarm Trip	2	Internal Breakdown
25	Gear Pinion Inlet Device	Rusak	14	Internal Breakdown
26	Inlet Bottom	Retak	1	Internal Breakdown
Total Keseluruhan			226	

Failure Mode and Effect Analysis

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan satu responden dalam penilaian seluruh parameter FMEA, penelitian ini melibatkan enam responden yang terdiri dari teknisi dan operator untuk memberikan penilaian pada parameter *severity* dan *detection* [22]. Adapun nilai *occurrence* ditentukan secara objektif berdasarkan data frekuensi kerusakan (breakdown) yang tercatat selama periode pengamatan, sehingga lebih akurat dan meminimalkan potensi bias subjektif.

Frekuensi kerusakan pada wheel loader KOMATSU WA800-3 digunakan secara langsung sebagai dasar penilaian nilai *occurrence* dalam metode FMEA. Data historis kerusakan aktual dijadikan acuan untuk menghitung RPN dan menentukan prioritas penanganan risiko kegagalan. Dengan mengadopsi pendekatan yang sama, penelitian ini menetapkan nilai *occurrence* (O) berdasarkan frekuensi kerusakan aktual setiap komponen *internal ship unloader 2* selama enam bulan pengamatan. Pendekatan berbasis data historis ini dipilih agar penilaian lebih objektif dibandingkan hanya mengandalkan persepsi responden.

Tabel 6 Skala nilai *occurrence*

Frekuensi Kerusakan (dalam 6 bulan)	Nilai Occurrence (O)
1–2 kali	2
3–5 kali	3
6–10 kali	4
11–15 kali	5

16–20 kali	6
21–25 kali	7
26–30 kali	8
31–35 kali	9
>35 kali	10

Sementara itu, nilai *severity* diperoleh dari rata-rata hasil kuesioner enam responden yang menilai tingkat keparahan masing-masing mode kegagalan dengan skala 1–10, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan tingkat keparahan yang lebih serius [23]. Nilai *detection* juga diperoleh dari rata-rata penilaian enam responden terhadap kemungkinan suatu kegagalan tidak terdeteksi sebelum berdampak lebih lanjut; semakin tinggi nilainya, semakin rendah kemampuan sistem dalam mendeteksi kegagalan tersebut. Dengan demikian, tabel rekapitulasi *severity*, *occurrence*, dan *detection* dapat digunakan sebagai dasar perhitungan *risk priority number* pada tahap analisis FMEA.

Tabel 7. Rekapitulasi nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* komponen *ship unloader 2*

No.	Komponen Yang Rusak	Mode Kegagalan	Hasil Rata rata Responden (Severity)	Hasil Konversi Frekuensi Kerusakan (Occurrence)	Hasil Rata rata Responden (Detection)
1	Rubber Seal	Keluar Jalur	4	2	3
2	Main Power	Alarm Trip	6	2	3
3	Relay 8.2-K32	Eror	7	3	2
4	Motor Slewing	Alarm Trip	3	2	3
5	Oil Hydraulic	Pressure Rendah	4	2	3
6	Hydraulic System	Eror	7	2	3
7	Motor Horizontal	Alarm Trip	7	3	2
8	Horizontal Lubrication	Grease Habis	4	3	3
9	Baut Shaft Horizontal no 1	Putus	7	4	3
10	Shaft Horizontal no 4	Putus	7	2	2
11	Vertical Highpress Pump	Pressure Rendah	7	2	3
12	Motor Vertical 2m1	Alarm Trip	6	7	2
13	Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	7	10	2
14	Inspeksi Vertical	Sambungan Retak	6	2	4
15	Seal pendulum in/out	Bocor	5	3	4
16	Baut Shaft Vertical no 1	Putus	7	5	3
17	Shaft Vertical no 1	Putus	8	3	3
18	Cup Holder Vertikal no 1	Rusak	7	2	3
19	Baut Shaft Vertical no 2	Putus	7	4	3
20	Shaft Vertical no 3	Putus	8	3	3
21	Cover Vertical no 3	Bocor	4	2	3
22	Cover Vertical no 4	Bocor	4	2	3
23	Tubing Vertical no 4	Bocor	4	3	3
24	Inlet Device	Alarm Trip	6	2	2
25	Gear Pinion Inlet Device	Rusak	8	5	3
26	Inlet Bottom	Retak	6	2	3

Untuk memastikan konsistensi jawaban, dilakukan diskusi konsensus antar responden setelah pengisian kuesioner. Diskusi ini bertujuan menyamakan persepsi mengenai skala *severity*, *occurrence*, dan *detection* berdasarkan pengalaman teknis responden di lapangan. Dengan cara ini, penilaian yang digunakan dalam analisis tidak hanya bersifat individual, tetapi merupakan hasil kesepakatan bersama, sehingga lebih representatif dan akurat.

Risk Priority Number

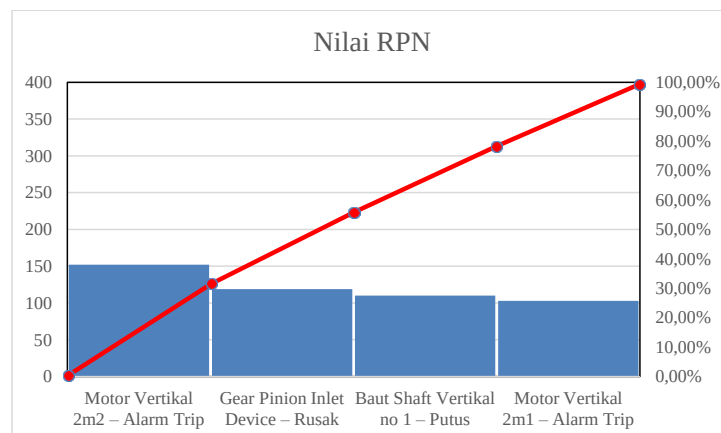
Risk priority number (RPN) merupakan hasil perkalian dari nilai *severity* (tingkat keparahan), *occurrence* (tingkat kemungkinan terjadi), dan *detection* (kemudahan pendeteksian) [24]. Nilai ini digunakan untuk menentukan prioritas penanganan terhadap potensi kegagalan suatu komponen. Nilai RPN menjadi dasar dalam menentukan urutan komponen yang perlu segera diperbaiki guna menurunkan tingkat kerusakan dan meningkatkan keandalan sistem peralatan berat [25].

Tabel 8. Analisis FMEA pada jenis kerusakan komponen di *ship unloader 2*

Perhitungan Nilai RPN								
No.	Komponen Yang Rusak	Mode Kegagalan	Severity	x	Occurrence	x	Detection	Hasil
1	Rubber Seal	Keluar Jalur	4	x	2	x	3	24
2	Main Power	Alarm Trip	6	x	2	x	3	40
3	Relay 8.2-K32	Eror	7	x	3	x	2	47
4	Motor Slewing	Alarm Trip	3	x	2	x	3	18
5	Oil Hydraulic	Pressure Rendah	4	x	2	x	3	23
6	Hydraulic System	Eror	7	x	2	x	3	33
7	Motor Horizontal	Alarm Trip	7	x	3	x	2	46
8	Horizontal Lubrication	Grease Habis	4	x	3	x	3	33
9	Baut Shaft Horizontal no 1	Putus	7	x	4	x	3	73
10	Shaft Horizontal no 4	Putus	7	x	2	x	2	31
11	Vertical Highpress Pump	Pressure Rendah	7	x	2	x	3	43
12	Motor Vertical 2m1	Alarm Trip	6	x	7	x	2	103
13	Motor Vertical 2m2	Alarm Trip	7	x	10	x	2	152
14	Inspeksi Vertical	Sambungan Retak	6	x	2	x	4	45
15	Seal pendulum in/out	Bocor	5	x	3	x	4	49
16	Baut Shaft Vertical no 1	Putus	7	x	5	x	3	110
17	Shaft Vertical no 1	Putus	8	x	3	x	3	64
18	Cup Holder Vertikal no 1	Rusak	7	x	2	x	3	37
19	Baut Shaft Vertical no 2	Putus	7	x	4	x	3	83
20	Shaft Vertical no 3	Putus	8	x	3	x	3	60
21	Cover Vertical no 3	Bocor	4	x	2	x	3	20
22	Cover Vertical no 4	Bocor	4	x	2	x	3	19
23	Tubing Vertical no 4	Bocor	4	x	3	x	3	26
24	Inlet Device	Alarm Trip	6	x	2	x	2	26
25	Gear Pinion Inlet Device	Rusak	8	x	5	x	3	119
26	Inlet Bottom	Retak	6	x	2	x	3	34

Dari hasil analisis, diketahui bahwa empat komponen dengan nilai risiko tertinggi adalah:

1. Motor Vertikal 2m2 – Alarm Trip (RPN 152)
2. Gear Pinion Inlet Device – Rusak (RPN 119)
3. Baut Shaft Vertikal no 1 – Putus (RPN 110)
4. Motor Vertikal 2m1 – Alarm Trip (RPN 103)



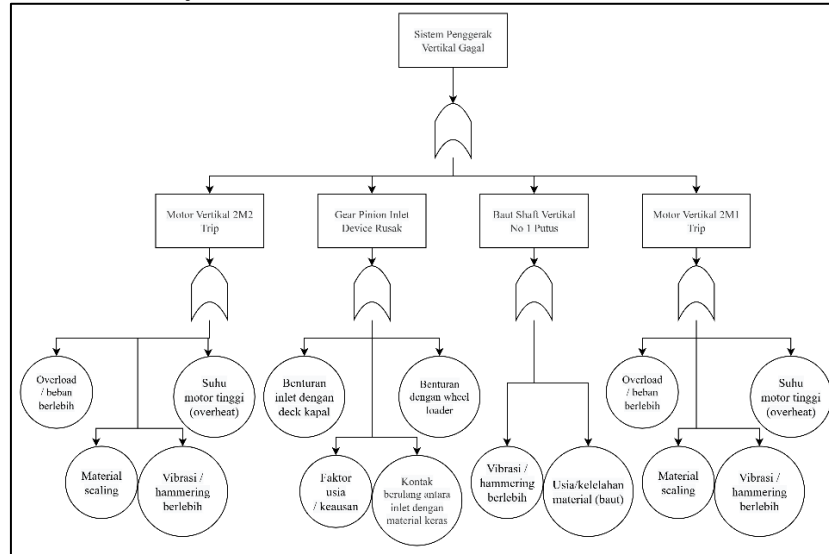
Gambar 3 Diagram Pareto

Keempat komponen tersebut merupakan kontributor utama potensi kegagalan sistem karena memiliki nilai risiko di atas 100, yang berarti tingkat keparahan, kemungkinan terjadi, dan kesulitan deteksi relatif tinggi. Fenomena yang muncul pada komponen ini berupa alarm trip pada motor, kerusakan gear pinion, dan patahnya baut shaft, yang apabila tidak ditangani dapat memicu kegagalan fungsi keseluruhan sistem penggerak vertikal.

Kondisi ini menjadi dasar yang tepat untuk dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan metode FTA (Fault Tree Analysis). Dengan FTA, peristiwa puncak (top event) dapat ditetapkan, misalnya kegagalan sistem penggerak vertikal, kemudian diturunkan secara bertingkat untuk menelusuri penyebab dasar (basic events) seperti trip motor, kerusakan gear, maupun patahnya baut shaft. Dengan demikian, hubungan logika antara keempat komponen kritis tersebut dapat dipetakan secara sistematis untuk mengidentifikasi akar penyebab dan menentukan strategi pencegahan yang lebih efektif.

Fault Tree Analysis

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh empat komponen dengan nilai risiko tertinggi, yaitu: motor vertikal 2M2 – alarm trip (RPN 152), gear pinion inlet device – rusak (RPN 119), baut shaft vertikal no 1 – putus (RPN 110), dan motor vertikal 2M1 – alarm trip (RPN 103). Tahap berikutnya adalah melakukan pemetaan menggunakan metode FTA. Metode ini digunakan untuk menggambarkan hubungan sebab-akibat secara grafis, sehingga memudahkan penelusuran hingga menemukan akar penyebab paling dasar dari masing-masing kegagalan. Berikut adalah hasilnya.



Gambar 4. Fault tree analysis kegagalan sistem penggerak vertikal

Hasil *fault tree analysis* (FTA) menunjukkan bahwa kegagalan sistem penggerak vertikal terutama dipicu oleh empat kejadian utama, yaitu motor vertikal 2M1 trip, motor vertikal 2M2 trip, putusnya shaft vertikal no.1, serta kerusakan atau keausan pada gear pinion inlet device. Penyebab dominan dari kejadian tersebut meliputi beban berlebih, material scaling yang meningkatkan beban screw dan shaft, vibrasi atau hammering berlebih, suhu motor yang tinggi, kelelahan material akibat usia, serta keausan mekanis akibat benturan maupun paparan selama proses operasi. Temuan ini menjadi dasar untuk dilakukan analisis akar penyebab yang lebih mendalam serta perumusan strategi perbaikan agar risiko kegagalan dapat diminimalkan.

Usulan Mitigasi

Berdasarkan hasil *fault tree analysis* (FTA), telah diidentifikasi empat penyebab utama kegagalan sistem penggerak vertikal. Pada bab ini disajikan usulan mitigasi yang disusun sesuai akar penyebab yang ditemukan, dengan tujuan menurunkan risiko kegagalan dan meningkatkan keandalan sistem.

Tabel 9. Usulan pengendalian jenis kerusakan pada *ship unloader* 2 di PT. ABC

Part	Failure Mode (Top Event)	Failure Effect	Failure Cause (Basic Events/Akar Masalah)	Failure Control(Usulan Mitigasi)
Motor Vertikal 2M1	Motor trip / stop	Penggerak vertikal berhenti proses terhenti	1. Overload / beban berlebih	1. Mengatur potensio putaran inlet device tidak terlalu besar → material yang masuk tidak banyak (beban tidak berlebih)
			2. Material scaling (sehingga motor bekerja lebih keras)	2. Mengatur potensio putaran inlet device tidak terlalu besar → material yang masuk tidak banyak (tidak terjadi scalling)
Motor Vertikal 2M2			3. Vibrasi / hammering berlebih	3. Pemasangan sistem monitoring getaran serta pelaksanaan balancing pada screw vertikal secara periodik.

			4. Suhu motor tinggi (overheat)	4. Pemasangan sensor suhu dan sistem alarm suhu untuk mendeteksi kondisi agar tidak sampai terjadi overheat.
Baut Shaft Vertical No.1	Baut shaft putus	Sinkronisasi motor dan screw hilang motor trip	1. Vibrasi / hammering berlebih (menyebabkan kelelahan pada baut) 2. Usia/kelelahan material (baut)	1. Pemasangan sistem monitoring getaran serta pelaksanaan balancing pada screw vertikal secara periodik. 2. Inspeksi kekencangan dan kekuatan baut shaft setiap siklus bongkar kapal
Gear Pinion Inlet	Gear rusak / aus	Proses bongkar terhenti dikarenakan inlet tidak bisa berputar	1. Paparan deck kapal (benturan inlet dengan deck kapal) 2. Faktor usia / keausan 3. Kontak berulang antara inlet dengan material keras mengakselerasi keausan gear serta meningkatkan risiko gigi pecah 4. Benturan dengan wheel loader	1. Sosialisasi SOP bongkar pada operator ship unloader 2. Inspeksi komponen inlet device terutama gear pinion setiap siklus bongkar kapal 3. Sosialisasi dampak dari menabrak inlet device pada operator wheel loader

Strategi mitigasi difokuskan pada tiga pendekatan utama, yaitu teknis, preventif, dan prosedural. Dari sisi teknis, pengaturan beban material serta penerapan sistem monitoring getaran dan suhu diprioritaskan untuk mencegah kegagalan akibat overload, ketidakseimbangan, maupun overheating. Dari sisi preventif, inspeksi rutin pada baut shaft dan gear pinion inlet device menjadi kunci dalam mengidentifikasi potensi kerusakan sebelum menimbulkan gangguan serius. Sementara itu, dari sisi prosedural, penguatan kepatuhan operator melalui sosialisasi SOP dan pelatihan ditujukan untuk menekan risiko kerusakan akibat kesalahan manusia. Dengan integrasi ketiga pendekatan tersebut, perusahaan dapat menurunkan frekuensi kegagalan sekaligus meningkatkan keandalan sistem *ship unloader 2* secara berkelanjutan. Nilai RPN yang tinggi pada komponen seperti motor vertikal 2M2 dan gear pinion inlet device menandakan perlunya prioritas khusus dalam strategi pemeliharaan. Bagi manajemen, hal ini berarti alokasi anggaran dan frekuensi *preventive maintenance* harus difokuskan pada komponen tersebut, sekaligus menjadi dasar investasi teknologi monitoring untuk mendukung *predictive maintenance*. Dengan demikian, informasi RPN tidak hanya berfungsi sebagai indikator teknis, tetapi juga sebagai acuan manajerial dalam pengambilan keputusan strategis guna menekan *downtime* dan meningkatkan keandalan sistem. Pengendalian ini dirumuskan berdasarkan rekomendasi peneliti dan hasil brainstorming dengan kepala maintenance, sehingga langkah-langkah yang diusulkan relevan dengan kondisi operasional nyata di lapangan.

Simpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi metode FMEA dan FTA efektif untuk menganalisis kegagalan pada sistem *ship unloader 2* di PT ABC. Dari sisi teoritis, penelitian ini berkontribusi dengan menunjukkan keunggulan penggabungan kedua metode dalam konteks peralatan bongkar muat curah, sehingga analisis tidak hanya terbatas pada identifikasi komponen kritis melalui RPN, tetapi juga mampu menelusuri akar penyebab kegagalan secara sistematis. Dari sisi praktis, penelitian ini menghasilkan rekomendasi mitigasi yang dapat langsung diimplementasikan oleh perusahaan, meliputi pengendalian beban material, penerapan sensor monitoring, inspeksi rutin pada komponen kritis, serta penguatan prosedur operasional. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan integrasi metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) atau penelitian lebih lanjut mengenai analisis berbasis *IoT sensor monitoring* guna mendukung strategi pemeliharaan yang lebih prediktif dan berbasis data.

Daftar Pustaka

- [1] N. Rizky Dwi Hardianto, "Analisis Penyebab Reject Produk Paving Block Dengan Pendekatan Metode Fmea Dan Fta," 2023.
- [2] A. Syarifudin And J. T. Putra, "Analisa Risiko Kegagalan Komponen Pada Excavator Komatsu 150lc Dengan Metode Fta Dan Fmea Di Pt. Xy," 2021.

- [3] M. Nur And Y. Putri Aulia, “Integrasi Metode Fmea Dan Fta Dalam Strategi Mitigasi Risiko Kecelakaan Kerja (Studi Kasus : Pt. Semen Padang),” *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (Jtmit)*, Vol. 3, No. 4, Pp. 393–404, 2024.
- [4] D. Rimantho, “Analisa Penurunan Frekuensi Breakdown Komatsu Wa800-3 Akibat Fuel System Dengan Mengaplikasikan Metode Fmea,” *Journal Of Social Science Research*, Vol. 4, Pp. 2928–2942, 2024.
- [5] A. F. Rislamy, N. A. Mahbubah, And D. Widyaningrum, “Analisis Risiko Kerusakan Pada Alat Berat Grab Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (Study Kasus: Pt Siam Maspion Terminal Gresik),” Vol. 8, No. 1, 2020.
- [6] I. P. S. Dan I. M. S. Rina Fitriana, “Peningkatan Kualitas Proses Produksi Tahu Menggunakan Metode Fmea Dan Fta (Studi Kasus: Pabrik Tahu Dn),” *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, Pp. 277–289, Dec. 2023, Doi: 10.24961/J.Tek.Ind.Pert.2023.33.3.277.
- [7] A. F. H. Dziki, H. Hidayat, And Y. P. Negoro, “Analisis Pengendalian Kualitas Pada Produk Songkok Menggunakan Metode Fmea Dan Fta Pada Cv. Abc,” *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, Vol. 8, No. 4, Pp. 2567–2577, Oct. 2024, Doi: 10.70609/Gtech.V8i4.5284.
- [8] F. R. Sitinjak And F. T. R. Silalahi, “Analisis Strategi Pemeliharaan Preventive Maintenance Excavator Menggunakan Pendekatan Analytical Hierarchy Process (Ahp) Dan Analisis Sensitivitas,” *Journal Of Integrated System*, Vol. 6, No. 2, Pp. 226–242, Dec. 2023, Doi: 10.28932/Jis.V6i2.7633.
- [9] T. Zakaria, A. Dyah Juniarti, D. Bima, And S. Budi, “Analisis Pengendalian Kualitas Cacat Dimensi Pada Header Boiler Menggunakan Metode Fmea Dan Fta,” 2023.
- [10] S. R. A. Arif Pibisono, “Analisis Kegagalan Maintenance Unit Produksi Menggunakan Metode Fmea Dan Fta Di Pt. Saptaindra Sejati,” 2020.
- [11] H. Prisilia And A. Purnomo, “Manajemen Risiko K3 Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (Fmea) Dan Fault Tree Analysis (Fta) Untuk Mengidentifikasi Potensi Dan Penyebab Kecelakaan Kerja (Studi Kasus: Tahap Ii Pembangunan Gedung Laboratorium Dlh Banyuwangi),” 2022.
- [12] O. Suseno And S. I. Kalid, “Pengendalian Kualitas Cacat Produk Tas Kulit Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (Fmea) Dan Fault Tree Analysis (Fta) Di Pt Mandiri Jogja Internasional,” 2022. [Online]. Available: [Http://Bajangjournal.Com/Index.Php/Jci](http://Bajangjournal.Com/Index.Php/Jci)
- [13] A. Firdaus Aufa And S. Salim Dahda, “Analisis Risiko Proses Bongkar Muat Curah Kering Dengan Menggunakan Metode Fmea (Failure Mode And Effect Analysis) Di Pt.Xyz Risk Analysis Of Dry Bulk Loading Process Using Fmea (Failure Mode And Effect Analysis) Method At Pt.Xyz,” *Journal Of Information Technology And Computer Science (Intecom)*, Vol. 6, No. 2, 2023.
- [14] R. Ardiansyah, D. Widyaningrum, And M. Jufriyanto, “Upaya Perawatan Peralatan Bengkel Alat Berat Pt. Bmi Dengan Metode Fmea,” *Jurnal Sains Dan Teknologi*, Vol. 5, No. 2, Pp. 660–668, Dec. 2023, Doi: 10.55338/Saintek.V5i2.2082.
- [15] C. Qori Alfiah, A. Yekti Pulih Asih, W. Afridah, And A. Hakim Zakkiy Fasya, “Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis Pada Pekerja Proyek Kontruksi: Literature Review,” *Jurnal Ilmu Psikologi Dan Kesehatan (Sikontan)*, Vol. 1, No. 4, Pp. 283–290, Mar. 2023, Doi: 10.47353/Sikontan.V1i4.715.
- [16] B. Khrisdamara And D. Andesta, “Analisis Penyebab Kerusakan Head Truck-B44 Menggunakan Metode Fmea Dan Fta (Studi Kasus : Pt. Bima, Site Pelabuhan Berlian),” 2022.
- [17] J. Haekal, “Quality Control With Failure Mode And Effect Analysis (Fmea) And Fault Tree Analysis (Fta) Methods: Case Study Japanese Multinational Automotive Corporation,” *International Journal Of Scientific Advances*, Vol. 3, No. 2, 2022, Doi: 10.51542/Ijscia.V3i2.14.
- [18] P. Ponidi And B. P, “Analisis Maintenance Quayside Container Crane Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (Fmea),” *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, Vol. 3, No. 2, Pp. 65–74, Sep. 2020, Doi: 10.30596/Rmme.V3i2.5268.
- [19] V. Dofantara, A. Subekti, Dan Haidar Natsir Amrullah, P. Studi Teknik Keselamatan Dan Kesehatan Kerja, J. Teknik Permesinan Kapal, And P. Perkapalan Negeri Surabaya, “7 Th Conference On Safety Engineering And It’s Application Identifikasi Kegagalan Komponen Pada Container Crane Menggunakan Failure Mode Effects And Criticality Analysis (Fmeca) Dan Fault Tree Analysis (Fta),” 2023.
- [20] E. Krisnaningsih, P. Gautama, M. Fatih, And K. Syams, “Usulan Perbaikan Kualitas Dengan Menggunakan Metode Fta Dan Fmea,” 2021.
- [21] S. Buana Marpaung, A. A. Ritonga, And A. Irwan, “Analisa Risk Priority Number (Rpn) Terhadap Keandalan Komponen Mesin Thresher Dengan Menggunakan Metode Fmea Di Pt.Xyz,” *Jitekh*, Vol. 9, No. 2, Pp. 74–81, 2021.
- [22] Y. Sukmono And W. Widyarini Saptaningtyas, “Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (Fmea) Dan Fault Tree Analysis (Fta) (Studi Kasus: Bengkel Dinamis),” 2023.

- [23] F. Fahri, B. Harahap, And S. Suliawati, “Analisis Efektivitas Preventive Maintenance Dengan Metode Periodic Inspection Untuk Meningkatkan Kinerja Pada Unit Wa800-3,” *Blend Sains Jurnal Teknik*, Vol. 3, No. 3, Pp. 246–267, May 2025, Doi: 10.56211/Blendsains.V3i3.799.
- [24] 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.
- [25] A. Lestari And N. A. Mahbubah, “Analisis Defect Proses Produksi Songkok Berbasis Metode Fmea Dan Fta Di Home-Industri Songkok Gsa Lamongan,” *Serambi Engineering*, Vol. Vi, No. 3, 2021.