

Penerapan Metode FMEA dan FTA pada Analisis Kegagalan Komponen *Engine Side Loader*

Rafly Prawira¹, Mades Darul Khairansyah^{1*} dan Haidar Natsir Amrullah¹

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

*E-mail: mades@ppns.ac.id

Abstrak

Salah satu peralatan yang membantu dalam operasi bongkar muat adalah *Side loader* (SL), yaitu alat angkat angkut kontainer yang memiliki mobilitas tinggi khusus untuk mengangkat kontainer kosong. Namun, masih banyak kegagalan pada alat berat *side loader* ini. *Engine* merupakan komponen utama yang vital untuk menghasilkan tenaga. Perencanaan yang cermat diperlukan untuk mengurangi kemungkinan kegagalan *engine* dapat berdampak langsung terhadap operasi dan aset perusahaan. Dalam data kecelakaan perusahaan pada tahun 2023 dan 2024 menunjukkan berbagai insiden yang disebabkan oleh kegagalan alat *Side Loader* (SL). Dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), metode ini akan membantu dalam penilaian risiko kegagalan, yang nantinya akan dianalisis *severity*, *occurrence*, dan *detection* nya. Kemudian, akan mendapatkan nilai RPN tertinggi yang akan dianalisis penyebab kegagalannya. Hasil dari analisis menggunakan FMEA ditemukan ada 10 sub komponen pada *engine* dan satu diantaranya paling kritis dengan RPN 72 yaitu pada subkomponen *accu* dengan mode kegagalan *accu* rusak yang mana nantinya akan menjadi *top event* untuk pembuatan FTA. FTA adalah sebuah model logis dan grafis yang terdiri dari beberapa kombinasi kesalahan yang dibuat menggunakan diagram pohon. Hasil dari FTA ditemukan *basic cause* pada sub komponen *accu* sebanyak 9 *basic cause* dan mendapatkan 8 kombinasi dari hasil minimal *cut set*. Hasil dari penelitian berupa pemberian rekomendasi seperti pelaksanaan SOP, inspeksi secara berkala, *maintenance* terjadwal, dan penggantian komponen yang rusak untuk memastikan keandalan sistem secara keseluruhan.

Kata Kunci: *Side Loader*, FMEA, FTA, Hirarki Pengendalian

Abstract

One of the pieces of equipment that assists in loading and unloading operations is the Side loader (SL), which is a container lifting device that has high mobility and is specifically for lifting empty containers. However, there are still many failures on this side loader machine. The engine is the main component that is vital to generate power. Careful planning is required to reduce the possibility that engine failure can have a direct impact on company operations and assets. The company's accident data in 2023 and 2024 shows various incidents caused by Side Loader (SL) equipment failure. The failure mode and effects analysis (FMEA) method will help assess failure risks, which will be analyzed for severity, occurrence, and detection. Then, it will get the highest RPN value which will be analyzed for the cause of the failure. The results of the analysis using FMEA found that there are 10 sub-components in the engine and one of them is the most critical with RPN 72, namely the battery subcomponent with the failure mode of a broken battery which will later become the top event for making FTA. FTA is a logical and graphical model consisting of several fault combinations made using a tree diagram. The results of the FTA found basic causes in the battery sub-component as many as 9 basic causes and got 8 combinations from the minimum cut set results. The results of the research are in the form of providing recommendations such as implementing SOPs, periodic inspections, scheduled maintenance, and replacing damaged components to ensure overall system reliability.

Keywords: *Side Loader*, FMEA, FTA, Control Hierarchy

1. PENDAHULUAN

Peralatan yang membantu dalam kegiatan bongkar muat atau operasi LoLo (*lift on lift off*) adalah *side loader*. Menurut buku panduan *side loader*, alat ini dirancang untuk mengangkat dan mengangkut beban (kontainer kosong) dari samping menggunakan empat pengunci, dua di bagian kanan dan dua di bagian kiri *spreader*. *Side loader* dapat mengangkut beban hingga maksimum 10 ton. Meskipun *side loader* termasuk peralatan baru di

perusahaan-perusahaan Indonesia yang mengkhususkan diri dalam layanan penanganan kontainer kosong, alat ini sudah banyak digunakan di luar negeri. Alat ini dilengkapi dengan *spreader* yang dapat disesuaikan ukurannya untuk menangani kontainer dengan panjang berbeda, bisa memanjang untuk kontainer 40 kaki dan memendek untuk kontainer 20 kaki.

Penggunaan alat berat sering kali mengalami kegagalan atau kerusakan pada komponen alat disebabkan oleh tingginya frekuensi penggunaan (Pratiwi dkk., 2023). Hal ini dapat berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja. Jika terjadi kerusakan pada komponen atau kegagalan alat saat beroperasi, konsekuensinya adalah berhentinya atau terhambatnya kegiatan operasional. Khususnya dalam konteks kerusakan *side loader*, hal ini tidak hanya dapat mengganggu proses operasional tetapi juga berpotensi menimbulkan risiko kecelakaan bagi pekerja maupun pelanggan yang berada di area perusahaan jika tidak segera ditangani.

Menurut Cordias dkk., (2024) *engine* merupakan komponen utama yang vital untuk menghasilkan tenaga. Dari total 273 kejadian breakdown, yang paling sering terjadi adalah *breakdown* pada sistem mesin dengan frekuensi mencapai 94 kali. Dengan demikian, sistem mesin menunjukkan adanya masalah paling sering dibandingkan dengan komponen lainnya (Rimantho, 2024). Berdasarkan data kegagalan alat dari perusahaan pada tahun 2023 terdapat beberapa kejadian yang disebabkan oleh kegagalan pada komponen *side loader* (SL). Kegagalan ini meliputi ketidakmampuan *twislock* untuk mengunci kontainer karena sistem sensor pada *twislock* itu sendiri terlepas, patahnya *bracket trolley hose spreader*, serta tidak berfungsinya sistem *automatic fire*. Kegagalan komponen sering terjadi pada alat berat lainnya seperti pada rentang waktu antara 22 Maret hingga 31 Mei 2022, terjadi kebakaran pada komponen *motor gantry* pada alat RTG (Lusiani dkk., 2023). kemudian Alat *Crane* tetap milik PT. Pelindo Region IV Gorontalo mengalami masalah kegagalan karena *radiator* tidak terisi airnya (Rahim Sabaya et al., 2023). Kemudian PT. Bima memiliki alat berat *Head Truck-B44* dengan komponen *Accu* dan ban yang sering mengalami kerusakan hingga 9 kali dalam satu periode (Khrisdamara dan Andesta, 2022). PT. XXX juga memiliki alat berat RTG dengan komponen *gantry* yang mengalami *downtime* tinggi sebanyak 10 kali dalam satu periode (Rahmatulloh dkk., 2021). PT Pelabuhan Indonesia (Persero) juga melaporkan sering terjadi kerusakan pada komponen mesin dan *spreader* pada alat berat RTG, yang menyebabkan peningkatan presentase *downtime* (Padhil dan Mail, 2022). Beberapa kegagalan tersebut dapat menimbulkan kerugian yang besar baik secara fisik maupun material. Kegagalan komponen *side loader* (SL) juga dapat membuat aktivitas bongkar-muat akan terhenti.

Menurut Mustaqim dkk (2021), untuk mengurangi risiko kegagalan *engine* dalam operasional seperti yang terjadi pada alat *side loader* di depo Surabaya, diperlukan pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi dan mengatasi penyebab kegagalan. Salah satu metode yang direkomendasikan adalah FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Metode ini membantu dalam menganalisis potensi kegagalan berdasarkan mode kegagalan, dan efek kegagalan tersebut, serta tingkat keparahan dan kemungkinan terjadinya. Komponen yang mendapatkan nilai RPN tertinggi akan dianalisis dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah suatu metode yang menggunakan teknik untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya suatu kegagalan. Proses FTA dilakukan dengan cara mendetailkan penyebab-penyebab kegagalan dari kejadian puncak (*top Event*) hingga ke akar penyebab (*root cause*). Setelah akar penyebab diketahui melalui analisis ini, langkah-langkah pencegahan dan pengendalian dapat diimplementasikan untuk mengurangi risiko kegagalan (Dofantara dkk., 2023)

2. METODE

Salah satu metode untuk mengevaluasi risiko sistem adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). FMEA membantu dalam menganalisis komponen sistem untuk menemukan kemungkinan kegagalan dan konsekuensinya. FMEA bertujuan untuk mengurangi risiko serta efek yang ditimbulkan dari kegagalan komponen-komponen tersebut. FMEA juga digunakan untuk mendeteksi risiko kegagalan pada mesin atau peralatan sehingga dapat memberikan rekomendasi terkait perawatan atau perbaikan yang diperlukan pada komponen-komponen mesin tersebut (Yaqin dkk., 2020).. Tujuan lain dari metode FMEA adalah untuk mengevaluasi keandalan suatu sistem dengan cara mengidentifikasi potensi kegagalan dan dampaknya. Metode FMEA melibatkan analisis terhadap berbagai komponen, rakitan, dan subsistem untuk mengidentifikasi mode kegagalan, penyebab terjadinya kegagalan, serta dampak yang dihasilkan dari kegagalan tersebut (Setyawan, 2021). FMEA merupakan sebuah teknik yang digunakan untuk menemukan potensi kegagalan pada sistem, desain, proses, atau layanan. Ini dilakukan dengan mengalikan atau mengkombinasikan nilai *Occurrence*, nilai *Severity*, dan nilai *Detection* (Aprianto dkk., 2021).

Skor SOD untuk pengisian RPN dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

- *Severity*

Tabel 1 nilai *severity*

Tingkat Keparahan	Tingkat Dampak Keparahan	Peringkat
Berbahaya tanpa peringatan	Melukai pekerja/pihak ketiga/customer	10
Berbahaya dengan peringatan	Kegiatan yang tidak diperbolehkan oleh perusahaan	9
Sangat tinggi	Kesalahan dalam penggunaan alat yang ada	8
Tinggi	Menyebabkan complain dari pihak ketiga/customer	7
Sedang	Menyebabkan kerugian untuk perusahaan	6
Rendah	Menyebabkan penurunan kinerja dari pekerja	5
Sangat rendah	Menyebabkan sedikit kerugian	4
<i>Minor</i>	Menyebabkan gangguan kecil yang dapat diatasi tanpa kehilangan sesuatu	3
Sangat <i>minor</i>	Tanpa disadari dan memberikan dampak kecil pada kinerja	2
Tidak berdampak	Tanpa disadari dan tidak mempengaruhi kinerja	1

(Sumber : Pakarbudi dkk., 2023)

- *Occurrence*

Tabel 2 nilai *occurrence*

Peringkat	Probabilitas risiko	keterangan
10	Sangat tinggi	Lebih dari satu kali kejadian dalam sehari
9	Tinggi	Satu kejadian setiap tiga atau empat hari
8	Tinggi	Satu kejadian setiap minggu
7	Cukup tinggi	Satu kali dalam sebulan
6	Sedang	Satu kali setiap 3 bulan
5	Rendah	Satu kali setiap 6 bulan
4	Sangat rendah	Satu kali dalam setahun
3	Langka	Satu kali dalam 1-3 tahun
2	Sangat langka	Satu kali dalam 3-6 tahun
1	Hampir tidak pernah	Satu kali dalam 6-100 tahun

(Sumber : Pakarbudi dkk., 2023)

- *Detection*

Tabel 3 nilai *detection*

Deteksi	Kemungkinan Deteksi	Peringkat
Hampir tidak mungkin	Pengontrol tidak dapat mendeteksi kegagalan	10
Sangat kecil	Sangat jauh kemungkinan pengontrol akan menemukan potensi kegagalan	9
Kecil	Jarang kemungkinan pengontrol akan menemukan potensi kegagalan	8
Sangat rendah	Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan sangat rendah	7
Rendah	Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan rendah	6
Sedang	Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan sedang	5
Cukup tinggi	Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan agak tinggi	4
Tinggi	Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan tinggi	3
Sangat tinggi	Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan sangat tinggi	2
Hampir pasti	Kegagalan dalam proses tidak dapat terjadi karena telah dicegah melalui desain solusi	1

(Sumber : Pakarbudi dkk., 2023)

Setelah mendapatkan nilai RPN, langkah selanjutnya adalah memberikan prioritas. Ini dilakukan dengan mengurutkan titik kegagalan dari yang terbesar ke yang terkecil. Selanjutnya, nilai nomor prioritas risiko (RPN) ini digunakan untuk menentukan kegagalan yang paling mungkin terjadi pada *side loader*. Selanjutnya, akar masalah dari nilai RPN yang tinggi tersebut diselidiki melalui metode *Fault Tree Analysis* (FTA) (Tanto dkk., 2023)

FTA mengidentifikasi dan menganalisis komponen yang dapat menyebabkan kegagalan sistem. Pendekatan yang digunakan dalam FTA adalah *top down*, yang berarti analisis dimulai dari kejadian puncak atau *top event* yang diinginkan (misalnya kegagalan sistem utama) dan kemudian ditelusuri mundur (*downward*) untuk mengidentifikasi semua penyebab atau *basic events* yang dapat menyebabkan kejadian puncak tersebut terjadi. Proses ini membantu dalam menemukan akar permasalahan atau *root cause* dari kegagalan sistem yang sedang dianalisis (Kartikasari dan Romadhon, 2019).

Berikut adalah langkah-langkah dalam menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA), seperti yang dijelaskan oleh Anysa dan Rahma, (2019) :

1. Menetapkan kejadian puncak.
2. Menentukan kejadian intermediate tingkat I yang berhubungan dengan kejadian puncak.
3. Menetapkan hubungan antara kejadian intermediate tingkat I dan kejadian puncak dengan menggunakan gerbang logika seperti *OR* dan *AND*.
4. Menemukan cara intermediate event tingkat II berhubungan dengan intermediate event tingkat I.
5. Menggunakan *logic gate* seperti *OR* dan *AND* untuk menentukan korelasi antara *intermediate event* tingkat II dan *intermediate event* tingkat I.
6. Melanjutkan proses ini sampai dasar peristiwa-peristiwa utama atau sumber langsung dari kejadian puncak yang sedang dianalisis.

Setelah membuat diagram FTA mengenai penyebab-penyebabnya, langkah selanjutnya adalah mencari *cut-set* minimal dari semua kombinasi yang menyebabkan *top event* terjadi (Riswanto dkk., 2024). Hasil tersebut diharapkan dapat digunakan untuk menyarankan perusahaan mengenai langkah-langkah pencegahan dan pengendalian yang perlu diambil terhadap *side loader* (SL) dengan menerapkan pendekatan hirarki pengendalian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi potensi bahaya, serta untuk menetapkan tindakan yang diperlukan guna menghilangkan atau mengurangi risiko bahaya yang teridentifikasi. Tindakan tersebut diprioritaskan untuk bahaya dengan risiko tinggi. Metode FMEA melakukan ini dengan menghitung kombinasi atau perkalian dari nilai kejadian (*Occurrence*), nilai keparahan (*Severity*), dan nilai deteksi (*Detection*) dari setiap mode kegagalan dalam sistem, desain, proses, atau layanan. Setelah nilai RPN (*Risk Priority Number*) dihitung untuk setiap mode kegagalan, urutan nilai RPN dari yang tertinggi hingga terendah menunjukkan tingkat kritisitas dari masing-masing mode kegagalan. Mode kegagalan dengan nilai RPN tertinggi adalah yang paling kritis dan harus diprioritaskan untuk dilakukan perbaikan.

Tabel 4 FMEA Komponen *Engine*

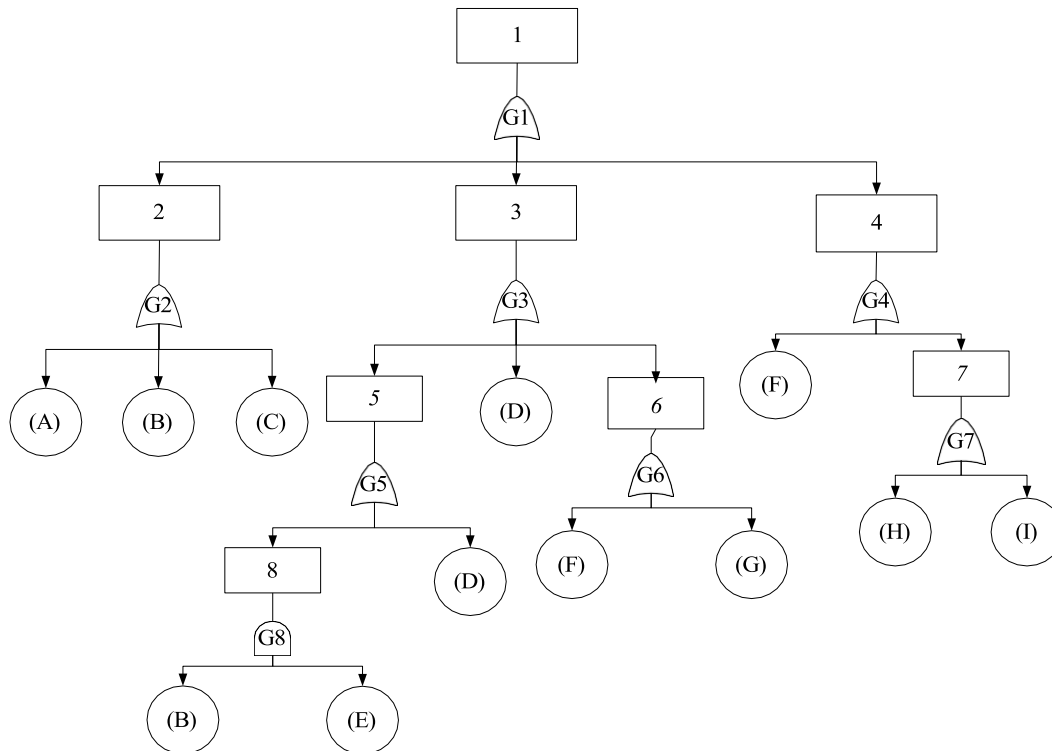
Failure Mode and Effect Analysis Worksheet									
System : <i>Side Loader</i>					Date:				
Subsystem : <i>Side Loader</i>					Years: 2024				
NO	Component	Potential Failure Mode	Effect Of Failure	Severity (S)	Potential Cause of Failure	Occurrence (O)	Control Detection	Detection (D)	RPN
Engine									
1	<i>Alternator</i>	Aliran arus listrik yang tidak teralirkan	Konsleting	6	<i>Alternator</i> rusak	2	Melakukan penecekan fungsi unit dinamo/ <i>alternator</i>	2	24
2	<i>Accu</i>	<i>Accu</i> rusak	Kapasitas batrai <i>accu</i> menurun	8	Getaran mesin, Korosi	3	Melakukan pengecekan, dan pemberian tempat <i>accu</i> yang kuat serta	3	72

Failure Mode and Effect Analysis Worksheet									
System : Side Loader					Date:				
Subsystem : Side Loader					Years: 2024				
NO	Component	Potential Failure Mode	Effect Of Failure	Severity (S)	Potential Cause of Failure	Occurrence (O)	Control Detection	Detection (D)	RPN
							tahan getaran		
		Accu drop	Mesin sulit dihidupkan	6	Penggunaan daya pada SL terlalu over sehingga <i>accu</i> mengalami drop	2	Melakukan penggantian unit <i>accu</i> dengan daya yang sesuai	3	36
3	Radiator	Pipa radiator bocor	Kehilangan cairan pendingin	4	Getaran mesin, Korosi	3	Melakukan pengecekan, penambalan pipa, dan mengganti unit bila terlalu parah	2	24
		Kipas pendingin tidak berfungsi	Mesin <i>overheat</i>	5	Kotor, kabel putus	2	Melakukan pengecekan pada kipas radiator, mmbersihkan, maupun pengecekan kabel pada sistem radiator	2	20
		Korosi pada tanki radiator	Tangki radiator mengalami kebocoran yang mengakibatkan <i>overheat</i> pada mesin	6	Terdapat keusangan pada komponen radiator dan mengalami tekanan panas dari mesin	2	Melakukan pengecekan pada komponen radiator dan mengganti tangki yang baru	3	36
4	Turbo	Katup turbo tidak berjalan	Penurunan kinerja pada turbo	6	Terdapat <i>seal</i> yang rusak (keras) dan baut pada katup yang terlalu kencang	2	Memastikan baut tidak terlalu kencang dan <i>seal</i> yang masih yang layak pakai dan turbo bekerja secara optimal	4	48
5	Intercoller	Udara dan fluida tidak dapat didinginkan	Suhu mesin menjadi <i>extreme/overheat</i>	5	Kebocoran dan terputusnya saluran pipa	2	Melakukan pengecekan pada saluran pipa dan pergantian apabila rusak parah	2	20
6	Starting Motor	Mesin SL tidak menyala/hidup	Mesin SL tidak menyala dan bekerja	8	<i>Error engine, Electrical error</i>	2	Melakukan pengecekan pada kelistrikan maupun sistem mesin <i>starting SL</i>	2	32
7	Oil Filter Engine	Seal bocor	Gangguan aliran oli, keausan komponen mesin	5	Pada saat menutup tidak terlalu rapat sehingga menimbulkan gesekan <i>seal</i>	3	Melakukan pengecekan tutup <i>seal filter</i> oli dan mengganti apabila sudah putus atau kendor	2	30

Failure Mode and Effect Analysis Worksheet									
System : Side Loader					Date:				
Subsystem : Side Loader					Years: 2024				
NO	Component	Potential Failure Mode	Effect Of Failure	Severity (S)	Potential Cause of Failure	Occurrence (O)	Control Detection	Detection (D)	RPN
		Filter oli yang rusak	Oli yang kotor bisa masuk kedalam pembakaran mesin	4	Filter yang rusak karna gesekan oleh kotoran oli dan getaran mesin	4	Melakukan pengecekan filter dan mengganti filter apabila filter mengalami kerusakan	2	32
8	Filter Udara	Seal bocor	Udara kotor masuk ke mesin, keausan komponen mesin	4	Pada saat menutup tidak terlalu rapat sehingga menimbulkan gesekan <i>seal</i>	3	Melakukan pengecekan tutup <i>seal</i> filter udara dan mengganti apabila sudah putus atau kendur	3	36
		Filter udara yang berkarat	Penurunan kinerja pada mesin karena udara terhambat	4	Terdapat filter udara yang berkarat sehingga debu menumpuk dan sirkulasi udara pada mesin tidak optimal	3	Melakukan pengecekan filter dan mengganti filter apabila filter mengalami kerusakan	3	36
9	Water pump	Baling baling rusak	Gangguan sirkulasi cairan pendingin, mesin <i>overheat</i>	4	Kabel putus	3	Melakukan pengecekan pada kabel yang terkelupas maupun putus, dn melakukan penyambungan serta pergantian kabel, jika dirasa rusak parah	2	24
		Pompa tidak berfungsi	Air tidak dapat terpompa dan sistem pendinginan akan terganggu	5	Kegagalan sistem pendinginan	2	Melakukan pengecekan <i>water pump</i> dan mengecek kelistrikan serta semua fungsi berjalan baik	2	20
10	Fuel pump	Konektor listrik korosi dan putus	Gangguan suplai listrik ke pompa	4	Kabel putus	3	Melakukan pengecekan pada kabel yang terkelupas maupun putus, dn melakukan penyambungan serta pergantian kabel, jika dirasa rusak parah	2	24
		Pompa tidak berfungsi	Bahan bakar tidak naik dan tidak bisa melakukan proses pembakaran	5	Getaran mesin sehingga sistem error	3	Melakukan pengecekan <i>fuel pump</i> dan mengecek kelistrikan serta semua fungsi berjalan baik	2	30

(Sumber : Penelitian 2024)

Menurut Tabel 4, *accu* dengan bentuk kegagalan *accu* rusak memiliki nilai RPN tertinggi, dengan skor 72. Setelah itu, akan dilakukan analisis kembali terkait penyebab kegagalannya dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi penyebab utama kerusakan atau kegagalan komponen tersebut



Gambar 1 Bagan *Fault Tree Analysis* Accu Rusak

Berdasarkan gambar 1, dapat disimpulkan bahwa kegagalan *accu* rusak adalah *top event* dari *Fault Tree Analysis* (FTA). Simbol persegi panjang digunakan untuk *intermediate event* yang dapat dianalisis lebih lanjut untuk mencari penyebab dasarnya. Setiap *intermediate event* dilengkapi dengan *gate symbol*, baik "AND gate" jika memerlukan dua penyebab untuk terjadi, atau "OR gate" jika cukup dengan satu penyebab. Dalam gambar tersebut, terdapat simbol "OR gate" dan "AND gate" yang menyebabkan *intermediate event* terjadi, dan setiap simbol diberi kode untuk memudahkan penentuan minimal *cut set*. Simbol lingkaran mewakili basic event yang tidak dapat dikembangkan lebih lanjut. Dari gambar tersebut, dapat disimpulkan bahwa basic event dari kegagalan *accu* rusak adalah sebagai berikut:

Tabel 5 Keterangan Diagram FTA Accu Rusak

Simbol	Keterangan	Deskripsi
1	<i>Top event</i>	Accu rusak
2	<i>Intermediate 1</i>	Kesalahan penggunaan <i>accu</i>
3	<i>Intermediate 2</i>	Kurangnya pengisian daya
4	<i>Intermediate 3</i>	Pemasangan tidak tepat
5	<i>Intermediate 4</i>	Alternator tidak mengisi daya ke <i>accu</i>
6	<i>Intermediate 5</i>	Human error
7	<i>Intermediate 7</i>	Human error mekanik
8	<i>Intermediate 8</i>	Kesalahan penggunaan <i>alternator</i>
A	<i>Basic cause</i>	Penggunaan <i>accu</i> melebihi kapasitas daya
B	<i>Basic cause</i>	Penggunaan secara terus menerus
C	<i>Basic cause</i>	Suhu ekstrem
D	<i>Basic cause</i>	Kerusakan kabel
E	<i>Basic cause</i>	Kurangnya perawatan
F	<i>Basic cause</i>	Pengisian tidak sesuai SOP
G	<i>Basic cause</i>	Penggunaan alat yang tidak sesuai
H	<i>Basic cause</i>	Kurang memahami SOP
I	<i>Basic cause</i>	Kelalaian

Berdasarkan tabel 5 diketahui bahwa terdapat 9 *basic event* tersebut akan membentuk minimal *cut set* berdasarkan gambar 1. Hasil minimal *cut set* dari *accu* rusak menggunakan algoritma MOCUS didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 6 Minimal *Cut set Accu* Rusak

G1	G2	A	A	A	A
		B	B	B	B
		C	C	C	C
	G3	G5	G8	B,E	B,E
			D	D	D
		G6	F	F	F
			G	G	G
		D	D	D	D
	G4	G7	H	H	H
			I	I	I
		F	F	F	F

Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan bahwa pada kolom berwarna abu-abu didapatkan 8 kombinasi minimal yang dapat menyebabkan *top event* terjadi yaitu *basic cause* A, atau *basic cause* B, atau *basic cause* C, atau *basic cause* D, atau *basic cause* F, atau *basic cause* G, atau *basic cause* H, atau *basic cause* I. Untuk mencegah terjadinya *top event*, perlu memutus rangkaian *basic event* yang terdapat dalam minimal *cut set*

Berbagai macam peristiwa dasar ditemukan sebagai hasil dari analisis *Fault Tree Analysis* (FTA) pada komponen *engine* dan subkomponen *accu* dengan bentuk kegagalan *accu* rusak, yang termasuk komponen kritis. Rekomendasi berdasarkan *basic cause* yang telah dianalisis dapat diberikan untuk mencegah terjadinya *basic cause* ini, yang kemudian dapat mencegah terjadinya *top event*. Berikut rekomendasi yang dapat diberikan :

Tabel 7 Rekomendasi Berdasarkan *Basic Event*

Huruf	<i>Basic Event</i>	Rekomendasi
A	Penggunaan <i>accu</i> melebihi kapasitas daya	Menerapkan prosedur yang jelas dan pelatihan untuk mekanik tentang batas kapasitas <i>accu</i>
B	Penggunaan secara terus menerus	Menjalankan kebijakan sesuai dengan prosedur mengenai <i>daily maintenance</i> penggunaan dan perawatan <i>accu</i>
C	Suhu ekstrem	Memberikan <i>cover</i> yang dapat melindungi dari panas dan hujan serta meredam panas dari komponen lainnya
D	Kerusakan kabel	Mengganti kabel yang telah usang
E	Kurangnya perawatan	Membuat jadwal rutin <i>maintenance</i> dan memastikan terealisasi dengan
F	Pengisian tidak sesuai SOP	Melakukan TBM rutin untuk memastikan kepatuhan terhadap SOP <i>periodic service</i>
G	Penggunaan alat yang tidak sesuai	Melakukan TBM rutin untuk memastikan kepatuhan terhadap SOP
H	Kurang memahami SOP	Memastikan bahwa SOP <i>periodic service</i> ditulis dengan jelas, mudah dipahami, dan ada pelatihan yang cukup untuk mekanik tentang implementasi SOP yang benar.
I	Kelalaian	<i>Safety briefing</i> untuk mengingatkan mekanik selalu berhati-hati selama melakukan pemeriksaan, perawatan, dan pengisian <i>accu</i> SL.

Berdasarkan data pada Tabel 7, maka pengendalian resiko kegagalan yang direkomendasikan adalah pelaksanaan SOP, inspeksi secara berkala, *maintenance* terjadwal, dan penggantian komponen yang rusak untuk memastikan keandalan sistem secara keseluruhan.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah terdapat 10 sub komponen dimana *accu* dengan mode kegagalan *accu* rusak termasuk dalam kategori kritis. Untuk mengurangi risiko kegagalan ini, penerapan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) sangat dianjurkan. Metode ini dapat digunakan sebagai langkah awal dalam perencanaan perawatan mesin yang lebih lanjut. Setelah dilakukan analisis menggunakan FMEA, subkomponen tersebut akan dianalisis penyebab dasar mode kegagalannya dengan menggunakan metode FTA, dimana setiap *basic cause* yang ada akan diberikan rekomendasi. Rekomendasi diberikan dengan menerapkan pendekatan hirarki pengendalian. Pendekatan ini melibatkan pelaksanaan SOP, inspeksi secara berkala, *maintenance* terjadwal, dan penggantian komponen yang rusak untuk memastikan keandalan sistem secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Analysa, D., dan Rahma, P. D. (2019). Evaluasi Keterlambatan Proyek Pembangunan Graha Mojokerto Service City (GMSC) dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 4(2), 112–119.
- Aprianto, T., Setiawan, I., dan Purba, H. H. (2021). Implementasi metode Failure Mode and Effect Analysis pada Industri di Asia – Kajian Literatur. *Jurnal Manajemen Dan Teknik Industri-Produksi*, XXI(2), 165–174. <https://doi.org/10.350587/Matrik>
- Cordias, M., Rumbino, D., dan Jayatun, Y. A. (2024). *Mitigasi Resiko Kerusakan Pada Engine Underground LHD Berdasarkan Metode Oil Analysis Di Tambang Bawah Tanah Grasberg Block Caving (GBC) PT . Freeport Indonesia*. 05(01), 21–28.
- Dofantara, V., Subekti, A., dan Amrullah, N. (2023). Identifikasi Kegagalan Komponen Pada Container Crane Menggunakan Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA) Dan Fault Tree Analysis (FTA). *7th CONFERENCE ON SAFETY ENGINEERING AND IT'S APPLICATION 7 OKTOBER 2023*, 2581.
- Kartikasari, V., dan Romadhon, H. (2019). Analisa Pengendalian dan Perbaikan Kualitas Proses Pengalengan Ikan Tuna Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) Studi kasus di PT XXX Jawa Timur. *Journal of Industrial View*, 1(1), 1–10.
- Khrisdamara, B., dan Andesta, D. (2022). Analisis Penyebab Kerusakan Head Truck-B44 Menggunakan Metode FMEA dan FTA. *Serambi ENgineering*, VII(3), 3303–3313.
- Lusiani, Hendrawan, A., Bei, S. R., dan Abdullah, U. (2023). Perbaikan Ruber Tyred Gantry pada Pelaksanaan Bongkar Muat Petikemas. *Jurnal Ilmiah Kemaritiman Nusantara*, 3(1), 38–48.
- Mustaqim, R., Ismiah, E., dan Widyaningrum, D. (2021). Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik Jl. Sumatera 101 GKB, Gresik 61121, Indonesia . *Jurnal Sistem Dan Teknik Industri*, 2(4), 610–619.
- Padhil, A., dan Mail, A. (2022). Planning of Preventive Maintenance Time Interval on Rubber Tyred Gantry Unit Using Reliability Centered Maintenance (RCM) II. *Industrial Engineering*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/10.11648/j.ie.20220601.11>
- Pakarbudi, A., Piay, D. T., Nurmadewi, D., dan Rachman, A. (2023). Analisa Efektivitas Metode Octave Allegro dan Fmea Dalam Penilaian Risiko Aset Informasi Pada Institusi Pendidikan Tinggi. *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, 10(2), 488. <https://doi.org/10.30865/jurikom.v10i2.5950>
- Pratiwi, Y. M., Lestariningsih, T., dan Purwanti, M. I. A. (2023). Prosedur Kegiatan Lift On Dan Lift Off Empty Container. *Jurnal Kemaritiman Dan Transportasi*, 5(1).
- Rahim Sabaya, Z. A., Lasalewo, T., dan Junus, S. (2023). Efektivitas Alat Angkut Fixed Crane Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (Oee) Di Pt . Pelindo (Persero) Gorontalo. *JVST*, 2(2), 64–73.
- Rahmatulloh, Suharto, dan Septiani, R. (2021). Analisis Reliability Centered Maintenance (Rcm) Pada Alat Bongkar Muat Rubber Tyre Gantry Crane (Rtc) Di PT XXX. *Academia.Edu*, 63–70.
- Rimantho, D. (2024). *Analisa Penurunan Frekuensi Breakdown KOMATSU WA800-3 Akibat Fuel System dengan Mengaplikasikan Metode FMEA*. 4, 2928–2942.
- Riswanto, I., Nugroho, A. J., dan Studi. (2024). safety and health (K3) is one of the maintenance programs in the company . Implementation of an occupational safety and health program for employees is very important because it aims to create a safety system and work unit which can later increase emplo. *Jurnal Multidisiplin V*, 2(08), 110–124.
- Setyawan, E. (2021). Analisis Breakdown Drive System Menggunakan Failure Method Effect Analysis Di Pt Latinusa , Tbk Cilegon. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 1(01), 34–45.
- Tanto, A. P., Andesta, D., dan Jufriyanto, M. (2023). Analisis Kecacatan Produk dengan Metode FMEA dan FTA pada Produk Meja OKT 501 di PT . Kurnia Persada Mitra Mandiri. *Jurnal Serambi Engineering*, VIII(2), 5206–5216.
- Yaqin, R. I., Siahaan, J. P., Priharanto, Y. E., Alirejo, S., dan Umar, M. L. (2020). Pendekatan FMEA dalam Analisa Risiko Perawatan Sistem Bahan Bakar Mesin Induk : Studi Kasus di KM . Sidomulyo. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 9(3), 189–200.

