



Integrasi Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) Guna Menentukan Prioritas Risiko Perawatan Kereta Rel Diesel Elektrik (KRDE)

Albertus Tristan Adityo Wibisono¹, Theresia Liris Windyaningrum^{1*}, Rudy Susanto²

Prodi Rekayasa Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya Kampus

Kota Madiun¹, Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Soerjo Ngawi²

Email korespondensi: albertustristan.at@gmail.com, theresialiris@ukwms.ac.id

Abstrak

Perawatan sarana kereta merupakan bagian penting dalam manajemen operasional untuk menjaga keandalan dan keberlangsungan operasi Kereta Rel Diesel Elektrik (KRDE). Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan menentukan prioritas risiko kegagalan komponen KRDE serta menganalisis akar penyebabnya sebagai dasar penyusunan strategi *preventive maintenance*. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan data perawatan dan penggantian komponen KRDE operasional Makassar–Parepare periode Januari–Desember 2025. Identifikasi dan penentuan prioritas risiko dilakukan menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) melalui penilaian *severity*, *occurrence*, dan *detection*, sedangkan akar penyebab risiko prioritas dianalisis menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA). Hasil FMEA terhadap 15 komponen menunjukkan empat komponen dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sebesar 60, yaitu *brake block*, oli genset, filter oli genset, dan *traction motor*, yang termasuk kategori risiko medium. Hasil FTA menunjukkan bahwa akar penyebab risiko berkaitan dengan penerapan SOP perawatan yang belum optimal, lama pemakaian dan beban kereta, rembesan *seal/packing* genset, serta ketidakstabilan tegangan listrik pada *traction motor*. Berdasarkan hasil tersebut, direkomendasikan inspeksi harian, pengendalian beban kereta, penerapan SOP secara konsisten, serta penggantian komponen berdasarkan usia dan kondisi pemakaian. Integrasi FMEA dan FTA dapat mendukung pengambilan keputusan manajemen operasional dalam menentukan prioritas inspeksi, *preventive maintenance*, dan pengelolaan sumber daya *maintenance*.

Kata kunci: FMEA; FTA; manajemen operasional; *preventive maintenance*; KRDE

Abstract

Railway maintenance is an important part of operational management to maintain the reliability and continuity of Diesel Electric Railcar (KRDE) operations. This study aims to identify and prioritize the risk of component failures in KRDE and analyze their root causes as a basis for developing a preventive maintenance strategy. A descriptive quantitative approach was employed using maintenance and component replacement data from KRDE operating on the Makassar–Parepare route during January–December 2025. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) was used to identify and prioritize risks based on severity, occurrence, and detection assessments, while Fault Tree Analysis (FTA) was applied to analyze the root causes of the prioritized risks. The FMEA results for 15 maintenance components identified four components with the highest Risk Priority Number (RPN) of 60, namely brake block, generator set oil, generator set oil filter, and traction motor, which were categorized as medium risk. The FTA results indicated that the potential root causes were related to suboptimal implementation of maintenance procedures, component operating age, train load, leakage from generator set seals/packings, and unstable electrical voltage in the traction motor. Based on these findings, daily inspections, train load control, consistent implementation of maintenance procedures, and component replacement based on service age and operating condition are recommended. The integration of FMEA and FTA can support operational management decision-making in determining inspection priorities, preventive maintenance activities, and maintenance resource allocation.

Keywords: FMEA; FTA; operational management; preventive maintenance; KRDE



1. PENDAHULUAN

Dalam sektor industri transportasi, khususnya perkeretaapian, sarana kereta api merupakan aset vital yang menentukan keberlangsungan dan kelancaran operasional bisnis. Guna memenuhi standar pelayanan serta mencapai target ketepatan waktu, armada kereta dituntut untuk selalu berada dalam kondisi prima dan siap operasi. Salah satu sarana transportasi massal yang menjadi tumpuan saat ini adalah Kereta Rel Diesel Elektrik (KRDE). Keandalan, keselamatan, dan ketersediaan tinggi sangat diharapkan agar kereta dapat beroperasi secara efektif dan efisien. Gangguan pada sistem mekanik, elektrik, sistem kontrol, maupun sistem teknis lainnya pada kereta dapat menyebabkan keterlambatan perjalanan, penurunan kenyamanan penumpang, bahkan potensi kecelakaan operasional.

Perawatan kereta menjadi faktor penting dalam menjaga performa operasional KRDE. Manajemen perawatan (*maintenance*) yang tidak optimal dapat meningkatkan risiko operasional, diantaranya kerusakan maupun gangguan pada kereta yang mengakibatkan pada risiko kegagalan sistem teknis kereta. Oleh sebab itu, diperlukan metode analisis yang mampu mengidentifikasi prioritas kegagalan serta akar penyebab utama yang menjadi penghambat jalannya operasional KRDE. *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) merupakan metode yang berfungsi untuk mengidentifikasi maupun mencegah risiko-risiko yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan. FMEA digunakan untuk membuat definisi, identifikasi, serta menghilangkan kecacatan dan masalah pada proses yang permasalahannya telah ditemukan maupun yang potensial terjadi pada sistem (Wicaksono, et al. 2022). Dengan menggunakan metode FMEA, sebuah risiko kegagalan dapat diidentifikasi sebelum terjadi serta mencari penyebab kegagalan agar dapat mencegah kegagalan terjadi kembali. FMEA banyak digunakan dalam mengidentifikasi mode kegagalan potensial berdasarkan tingkat keparahan (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), dan kemampuan deteksi (*detection*) (Nabila, et al. 2025). Risiko kegagalan yang teridentifikasi selanjutnya dapat dianalisis lebih lanjut untuk menentukan akar penyebab risiko utama menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). FTA adalah metode yang dapat digunakan untuk menganalisis kemungkinan kegagalan dari berbagai pemicu yang dapat menyebabkan terjadinya sebuah risiko (Purnomo, et al. 2025). Metode FTA merupakan metode dengan pendekatan analitis yang efektif untuk menelusuri penyebab utama kegagalan dengan pendekatan logika sebab-akibat (Kurnila, et al. 2025).

Penelitian terkait penerapan FMEA dan FTA pada sektor transportasi perkeretaapian menunjukkan bahwa integrasi kedua metode mampu meningkatkan efektivitas identifikasi risiko dan penyusunan mitigasi. Dengan integrasi metode FMEA dan FTA dapat meningkatkan nilai *reliability*, *availability*, *maintainability*, dan *safety* pada jalur rel kereta api (Ulum, et al. 2024). Penelitian terkait implementasi metode FMEA juga dilakukan dalam menganalisis permasalahan angin dari kompresor yang tercampur dengan oli yang terjadi pada komponen lokomotif kereta api (Anwar, A. 2023). Penelitian lain menggunakan FMEA pada perawatan dan perbaikan genset kereta api yang menunjukkan adanya beberapa komponen kritis yang perlu mendapatkan perhatian (Rosady, et al. 2025). Permasalahan operasional terkait logistik perkeretaapian diteliti menggunakan metode FTA. Hasil penelitian berhasil memetakan

persoalan yang terjadi sehingga menghasilkan rekomendasi perbaikan di antaranya pengembangan sistem e-logistik berbasis digital yang terintegrasi (Nugraha, et al. (2025).

Dalam konteks industri perkeretaapian Indonesia, penelitian mengenai analisis risiko perawatan Kereta Rel Diesel Elektrik (KRDE) masih relatif terbatas, khususnya pada jalur Makassar–Parepare yang memiliki karakteristik operasional dan lingkungan berbeda dibandingkan wilayah lain. Berdasarkan rekap perawatan KRDE operasi periode Januari–Desember 2025, ditemukan beberapa indikasi gangguan pada sistem pengereman, sistem kelistrikan, motor traksi, serta gangguan inspeksi berkala yang berpotensi menurunkan *availability* unit operasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi mode kegagalan dominan pada sistem perawatan KRDE Makassar–Parepare menggunakan metode FMEA serta menganalisis akar penyebab kegagalan menggunakan FTA. Hasil penelitian ini menjadi dasar perbaikan strategi *preventive maintenance* guna peningkatan keandalan operasional KRDE.

2. METODE PENELITIAN

Data penelitian diperoleh dari dokumen perawatan KRDE operasional Makassar–Parepare periode Januari–Desember 2025 yang memuat aktivitas perawatan, penggantian komponen, dan *availability* unit operasi. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk mengidentifikasi dan menentukan prioritas risiko kegagalan komponen. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan dan pengolahan data perawatan serta penggantian komponen, identifikasi risiko kegagalan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), penilaian *severity*, *occurrence*, dan *detection*, kemudian perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) untuk menentukan komponen yang menjadi prioritas perawatan.

Komponen dengan nilai RPN tertinggi selanjutnya dianalisis menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat dan akar penyebab potensial terjadinya kegagalan. Analisis FTA dilakukan berdasarkan hasil observasi lapangan dan wawancara dengan pihak manajemen perawatan, kemudian hasil identifikasi akar penyebab digunakan sebagai dasar penyusunan rekomendasi *preventive maintenance*. Rekomendasi tersebut diarahkan pada penentuan prioritas inspeksi, penggantian komponen, pengendalian kondisi operasional, serta pengelolaan kegiatan perawatan guna mendukung keandalan dan keberlangsungan operasional KRDE.

Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Metode FMEA digunakan untuk mengidentifikasi kegagalan komponen kereta KRDE serta menetapkan prioritas risiko kegagalan yang dihasilkan. FMEA menilai tingkat *Risk Priority Number* (RPN) berdasarkan pada kriteria tingkat keparahan kerusakan/kegagalan yang terjadi (*severity*), frekuensi terjadinya kegagalan (*occurrence*), dan kemampuan dalam mendeteksi kemungkinan terjadinya kerusakan/kegagalan (*detection*). Formula penentuan nilai RPN (Jatilaksana, et al. 2025):

$$RPN = S \times O \times D \dots\dots\dots (1)$$

Di mana:

RPN = *Risk Priority Number*

S = *Severity*

O = Occurrence
D = Detection

Identifikasi nilai *severity* (S), *Occurrence* (O), dan *detection* (D) pada analisis KRDE menggunakan skala sebagai berikut.

Tabel 1. Skala Penilaian *Severity* KRDE

Skala	Kriteria	Keterangan
1	Tidak Signifikan	Gangguan Ringan
2	Minor	Gangguan Minor
3	Medium	Gangguan Medium
4	Signifikan	Gangguan Mayor
5	Sangat Signifikan	Gangguan Berat

Tabel 2. Skala Penilaian *Occurrence* KRDE

Skala	Kriteria	Keterangan
1	Sangat Rendah	Maksimal terjadi 1 kali dalam setahun
2	Rendah	Terjadi 2-3 kali dalam setahun
3	Moderate	Terjadi 4-6 kali dalam setahun
4	Tinggi	Terjadi 7-9 kali dalam setahun
5	Sangat Tinggi	Terjadi 10 kali atau lebih dalam setahun

Tabel 3. Skala Penilaian *Detection* KRDE

Skala	Kriteria	Keterangan
1	Sangat Rendah	Perawatan terjadwal
2	Rendah	Perawatan pencegahan minor
3	Medium	Perawatan pencegahan mayor
4	Tinggi	Perawatan perbaikan
5	Sangat Tinggi	Perawatan korektif

Tabel 4. Skala Penilaian RPN KRDE

Nilai RPN	Keterangan
1-42	Risiko kerusakan rendah
43-84	Risiko kerusakan medium
85-125	Risiko kerusakan tinggi

Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) adalah teknik analisis deduktif yang digunakan untuk mengidentifikasi penyebab dasar dari suatu *undesired event* (kejadian yang tidak diinginkan) dalam suatu sistem (Nuraeni, et al. 2025). Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) bertujuan untuk menganalisis kegagalan sistem maupun kegagalan sub-sistem dan juga komponen (Sidik, et al. 2022). Penggunaan FTA mengacu pada fungsi *top-down approach* karena metode FTA menganalisis permasalahan dari kejadian puncak (*top*) dan menguraikannya sampai ke tingkat paling rendah (*bottom*) (Rizky, et al. 2024).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

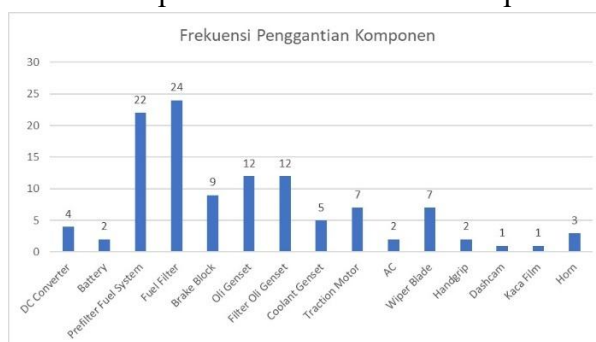
Perawatan KRDE dilakukan secara berkala setiap hari untuk memastikan kereta siap operasi. Terdapat 15 komponen KRDE yang menjadi fokus pemeliharaan. Komponen-komponen ini terkait dengan komponen elektrikal, *engine*, dan fasilitas pelengkap, tertera pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Komponen Perawatan KRDE

No.	Jenis Komponen	Komponen Perawatan KRDE
1.	Elektrikal	DC Converter
2.		Battery
3.	Engine	Prefilter Fuel System
4.		Fuel Filter
5.		Brake Block
6.		Oli Genset
7.		Filter Oli Genset
8.		Coolant Genset
9.		Traction Motor
10.	Fasilitas	AC
11.		Wiper Blade
12.		Handgrip
13.		Dashcam
14.		Kaca Film
15.		Horn

Sumber: data diolah penulis

Pada gambar 2 dapat dilihat frekuensi penggantian komponen KRDE sepanjang tahun 2025. Data ini digunakan dalam implementasi metode FMEA pada KRDE.



Sumber: data diolah penulis

Gambar 2. Frekuensi Penggantian Komponen KRDE Tahun 2025

Berdasarkan data penelitian perawatan KRDE, tahapan FMEA dilakukan dengan memberikan skor tingkat keparahan kerusakan/gangguan (*severity*) pada setiap komponen dengan mengacu pada tabel 1, skor tingkat keseringan kerusakan/gangguan (*occurrence*) mengacu pada tabel 2, dan skor tingkat kemampuan deteksi kerusakan/gangguan (*detection*) mengacu pada tabel 3. Pemberian skor skala *severity* didasarkan dengan melihat efek dari

kerusakan apabila perawatan atau penggantian komponen tidak dilakukan. Sedangkan jumlah frekuensi tindakan penggantian komponen digunakan untuk melakukan penilaian pada skala *occurrence*. Pada skala *detection*, penilaian didasari oleh bagaimana tindakan perawatan dilakukan.

Penilaian keparahan (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), dan kemampuan deteksi kerusakan/gangguan (*detection*) dapat menghasilkan identifikasi komponen yang menjadi prioritas dalam perawatan, dengan menggunakan rumus RPN. Tabel 6 berikut menunjukkan tingkat risiko kerusakan/gangguan komponen KRDE berdasarkan nilai RPN.

Tabel 6. Hasil Perhitungan FMEA

Komponen	Skala Severity	S	Frekuensi	Skala Occurrence	O	Skala Detection	D	Nilai RPN	Keterangan
DC Converter	Sangat signifikan	5	4	Moderate	3	perawatan pencegahan mayor	3	45	Risiko medium
Battery	Sangat signifikan	5	2	Rendah	2	perawatan pencegahan mayor	3	30	Risiko rendah
Prefilter Fuel System	Medium	3	22	Sangat tinggi	5	perawatan pencegahan mayor	3	45	Risiko medium
Fuel Filter	Medium	3	24	Sangat tinggi	5	perawatan pencegahan mayor	3	45	Risiko medium
Brake Block	Sangat signifikan	5	9	Tinggi	4	perawatan pencegahan mayor	3	60	Risiko medium
Oli Genset	Signifikan	4	12	Sangat tinggi	5	perawatan pencegahan mayor	3	60	Risiko medium
Filter Oli Genset	Signifikan	4	12	Sangat tinggi	5	perawatan pencegahan mayor	3	60	Risiko medium
Coolant Genset	Sangat signifikan	5	5	Moderate	3	perawatan pencegahan mayor	3	45	Risiko medium
Traction Motor	Sangat signifikan	5	7	Tinggi	4	perawatan pencegahan mayor	3	60	Risiko medium
AC	Signifikan	4	2	Rendah	2	perawatan pencegahan mayor	3	24	Risiko rendah
Wiper Blade	Signifikan	4	7	Tinggi	4	perawatan pencegahan mayor	3	48	Risiko medium
Handgrip	Minor	2	2	Rendah	2	perawatan pencegahan mayor	3	12	Risiko rendah
Dashcam	Minor	2	1	Sangat rendah	1	pengecekan harian	1	2	Risiko rendah
Kaca Film	Minor	2	1	Sangat rendah	1	perawatan pencegahan mayor	3	6	Risiko rendah
Horn	Minor	2	3	Rendah	2	pengecekan harian	1	4	Risiko rendah

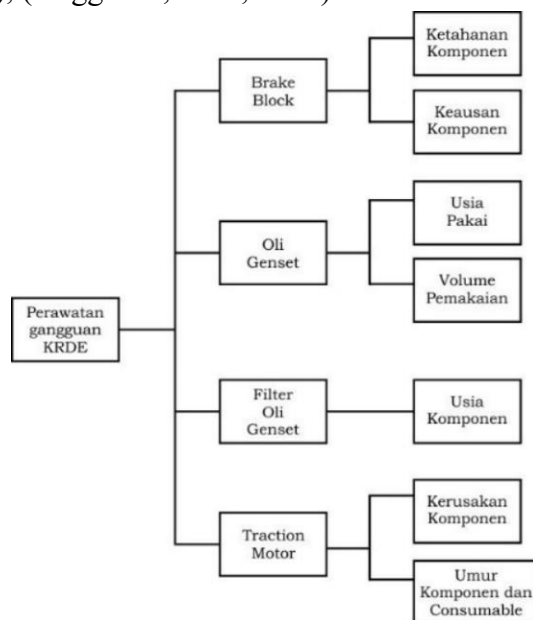
Sumber: data diolah penulis

Penilaian skala *severity*, *occurrence*, dan *detection* dilakukan untuk mendapatkan menemukan jenis risiko perawatan yang memiliki nilai RPN tertinggi. Berdasarkan hasil pada tabel 6, didapatkan nilai RPN untuk masing-masing jenis penggantian komponen. Dalam hal ini, nilai RPN pada perawatan KRDE tidak ada yang mencapai risiko tinggi. Penggantian komponen dengan nilai RPN tertinggi mencapai skor nilai 60 dan dikategorikan dalam risiko

kerusakan medium. Komponen yang memiliki nilai RPN tinggi antara lain, *brake block*, oli genset, filter oli genset, dan *traction motor*.

Brake block merupakan komponen yang tersusun dalam kesatuan sistem pengereman, yang apabila mengalami kerusakan maka akan menurunkan efektivitas pengereman yang dapat memicu potensi kecelakaan fatal. Oli genset dan filter oli genset merupakan komponen yang tersusun dalam sistem genset pada KRDE, yang apabila mengalami kerusakan atau kekurangan maka akan menyebabkan genset bekerja melebihi batas normal. Hal ini akan memicu penurunan voltase, kegagalan sensor, dan masalah pada aset kelistrikan di kereta. *Traction motor* adalah komponen yang menjadi penggerak utama pada kereta, yang apabila mengalami kerusakan maka akan menyebabkan lumpuhnya kereta untuk beroperasi. Dari hasil nilai RPN, keempat komponen ini tampaknya menjadi komponen yang perlu mendapatkan perhatian perawatan kereta.

Berdasarkan hasil pada tabel 6, langkah selanjutnya adalah menganalisis akar masalah kerusakan pada komponen yang memiliki nilai RPN tertinggi menggunakan metode FTA. Komponen penyebab potensial kegagalan operasional KRDE diidentifikasi melalui observasi lapangan dan wawancara dengan pihak manajemen perawatan. Penyebab tersebut kemudian disusun dalam bentuk diagram pohon (*tree diagram*) untuk memudahkan identifikasi hubungan antar faktor sebelum dikembangkan menjadi *Fault Tree Analysis* (FTA). Dengan menggunakan diagram pohon akan membantu mengeksplorasi penyebab pada level yang lebih rinci (Lasina, et al., 2021), (Anggraini, et al., 2017).

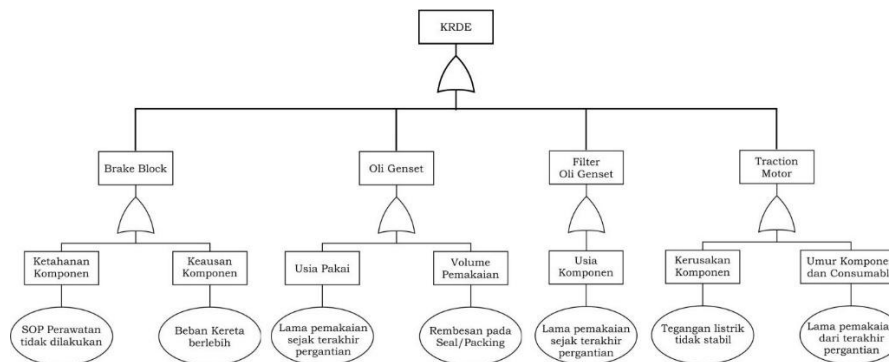


Gambar 3. Diagram Pohon Kerusakan Komponen KRDE

Sumber: data diolah penulis

Hasil analisis pada gambar 3 menunjukkan penyebab kerusakan komponen secara umum dikarenakan tingkat pemakaian dan usia komponen yang mengakibatkan potensi kegagalan operasi KRDE. Namun demikian diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi akar

penyebab masalah kerusakan komponen KRDE, utamanya pada komponen yang memiliki nilai RPN tertinggi yaitu *brake block*, oli genset, filter oli genset, dan *traction motor*. Gambar 4 berikut menunjukkan penyusunan masalah menggunakan metode FTA untuk mencari akar penyebab perlunya penggantian komponen pada KRDE.



Gambar 4. *Fault Tree Analysis (FTA) KRDE*

Hasil analisis dengan FTA didapatkan akar permasalahan terjadinya risiko kerusakan pada keempat komponen, di antaranya terkait aspek manajemen yaitu SOP perawatan yang kurang rutin dilakukan, aspek operasional berupa lama pemakaian dan beban kereta yang berlebih, serta aspek teknis mesin yaitu adanya rembesan pada *seal* dan juga tegangan listrik pada *traction motor* yang tidak stabil.

Rekomendasi Perawatan KRDE

Hasil analisis menggunakan metode FMEA menghasilkan empat komponen yang perlu mendapatkan perhatian lebih dalam perawatan dari 15 komponen perawatan yang dilakukan pada KRDE. Keempat komponen ini memiliki nilai RPN sebesar 60 yang menunjukkan risiko kerusakan medium. Hasil analisis dengan FTA menunjukkan akar penyebab masalah adanya potensi kerusakan komponen KRDE. Penelitian ini berupaya memberikan rekomendasi yang terkait dengan manajemen perawatan KRDE agar operasional kereta berlangsung lancar yang tidak menimbulkan potensi kegagalan operasional. Berikut pada Tabel 7 diberikan rekomendasi perawatan KRDE.

Hasil analisis FTA menghasilkan akar penyebab masalah pada komponen-komponen yang perlu mendapatkan perhatian lebih. Pada komponen *brake block*, kelemahan ketahanan komponen dan keausan komponen disebabkan karena SOP perawatan yang tidak dilaksanakan sepenuhnya dan adanya beban kereta yang berlebih. Penelitian ini merekomendasikan inspeksi harian dan pengontrolan beban kereta sehingga bisa dilakukan evaluasi spesifikasi apabila terjadi gejala kerusakan dan bisa segera dilakukan penggantian komponen *brake block* untuk menghindari keausan dan ketahanan komponen yang lemah.

Rekomendasi penggantian oli genset secara rutin termasuk penggantian komponen *seal/packing* genset diberikan dengan pertimbangan adanya lama pemakaian oli dan adanya rembesan dari *seal/packing* genset. Demikian pula pada komponen filter oli genset yang

direkomendasikan untuk dilakukan pengecekan melalui inspeksi harian dan wajib dilakukan penggantian komponen apabila ditemukan adanya kerusakan akibat dari usia pemakaian dari komponen tersebut.

Pada komponen *traction motor* yang dapat direkomendasikan dalam pelaksanaan perawatan adalah dilakukan inspeksi harian untuk mengontrol kondisi komponen *traction motor* dan dilakukan penggantian komponen terkait lamanya pemakaian atau ketika ditemukannya kerusakan yang disebabkan oleh tegangan listrik yang tidak stabil.

Tabel 7. Rekomendasi Perawatan KRDE

Nilai RPN	Komponen	Penyebab	Akar Masalah	Rekomendasi
60	Brake Block	Ketahanan komponen	SOP perawatan tidak diterapkan	Pengontrolan beban kereta dan dilakukan evaluasi spesifikasi
		Kausan komponen	Beban kereta berlebih	Dilakukan inspeksi harian dan penggantian komponen
60	Oli Genset	Usia pakai	Lama pemakaian dari terakhir penggantian	Dilakukan inspeksi harian dan penggantian komponen
		Volume pemakaian	Rembesan dari seal/packing	Wajib dilakukan penggantian komponen Seal/Packing Genset
60	Filter Oli Genset	Usia pakai	Lama pemakaian dari terakhir penggantian	Dilakukan inspeksi harian dan penggantian komponen
60	Traction Motor	Kerusakan komponen	Tegangan listrik yang tidak stabil	Wajib dilakukan penggantian komponen
		Umur komponen dan <i>consumable</i>	Lama pemakaian Komponen dan <i>consumable</i> dari terakhir pengisian	Dilakukan inspeksi harian dan penggantian komponen

Hasil integrasi FMEA dan FTA menunjukkan bahwa rekomendasi perawatan pada tabel 7 tidak hanya menjadi tindakan teknis, tetapi juga dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam manajemen operasional KRDE. Empat komponen dengan RPN tertinggi sebesar 60, yaitu *brake block*, oli genset, filter oli genset, dan *traction motor*, termasuk kategori risiko medium dan perlu menjadi prioritas dalam kegiatan *maintenance*. Prioritas tersebut penting karena sumber daya *maintenance*, seperti tenaga teknis, waktu, dan suku cadang, perlu dialokasikan secara efektif pada komponen yang memiliki risiko relatif lebih tinggi. Hasil FTA selanjutnya memberikan dasar penentuan tindakan *preventive maintenance* melalui pengendalian SOP, inspeksi harian, pengendalian beban kereta, serta penggantian komponen berdasarkan usia dan kondisi pemakaian.

Dari perspektif manajemen operasional, penerapan *preventive maintenance* pada komponen prioritas diharapkan dapat mengurangi potensi kerusakan tidak terencana sehingga mendukung pengurangan *unplanned downtime* dan menjaga *availability* KRDE. Hasil FMEA dan FTA juga dapat dimanfaatkan dalam penyusunan jadwal perawatan, penentuan prioritas inspeksi, perencanaan kebutuhan suku cadang, dan pengalokasian sumber daya *maintenance*. Dengan demikian, integrasi kedua metode tidak hanya berfungsi untuk mengidentifikasi risiko



dan akar penyebab kerusakan, tetapi juga menjadi alat pendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan risiko operasional dan keberlangsungan operasi KRDE.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, FMEA terhadap 15 komponen perawatan KRDE menunjukkan bahwa tidak terdapat komponen dengan kategori risiko tinggi, namun terdapat empat komponen dengan RPN tertinggi sebesar 60 dan termasuk kategori risiko medium, yaitu *brake block*, oli genset, filter oli genset, dan *traction motor*. Hasil FTA menunjukkan bahwa akar penyebab risiko berkaitan dengan penerapan SOP perawatan, lama pemakaian dan beban kereta, rembesan *seal/packing*, serta ketidakstabilan tegangan listrik. Integrasi FMEA dan FTA dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan manajemen operasional untuk menentukan prioritas inspeksi dan *preventive maintenance*, penggantian komponen, penjadwalan perawatan, serta pengelolaan sumber daya *maintenance*. Penerapan rekomendasi tersebut diharapkan dapat mengurangi potensi gangguan dan *unplanned downtime* serta mendukung *availability* dan keberlangsungan operasional KRDE. Evaluasi lanjutan terhadap *downtime*, *availability*, dan frekuensi gangguan diperlukan untuk mengukur efektivitas rekomendasi secara kuantitatif.

REFERENSI

- Anggraini, D., Wijaya, W. (2017). Analisa Kualitas Crued Palm Oil (CPO) dan Usulan Perbaikan Menggunakan Metode Tree Diagram di PT Johan Sentosa Bangkinang. *Jurnal Surya Teknik* Vol. 5 No. 2, pp. 57-62.
<https://ejurnal.umri.ac.id/index.php/JST/article/view/645>.
- Anwar, A. (2023). Analisis Mitigasi Risiko pada Departemen Produksi Menggunakan Metode Failure Mode and effect Analysis (FMEA) dan Konsep 5W+1H. Penelitian Tugas Akhir Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/48141>.
- Jatilaksana, V., Dahda, S., Negoro, Y. (2025). Analisis Risiko Kegagalan Komponen Elektrikal pada Mesin Overhead Crane dengan Metode FMEA dan FTA. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)* Vol. 4 No. 4, pp. 2045-2056.
<https://doi.org/10.55826/jtmit.v4i4.1353>.
- Kurnila, M., Rochmoeljati, Rr. (2025). Analisis Kecacatan Tiang teras Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA). *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, Vol. 4 No. 4, pp. 1201-1209.
<https://doi.org/10.55826/jtmit.v4i4.1352>.
- Lasina, A., Adiasa, I., Mashabai, I. (2021). Analisis Kerusakan pada Mesin Ger Alsthom FR di PLTM Bmbalo PT PLN (Persero) ULP Poso Menggunakan Tree Diagram dan Corrective Maintenance. *Jurnal Industri & Teknologi Samawa* Vol. 2 No. 2, pp. 64-68.
<https://jurnal.uts.ac.id/jitsa/article/view/1281>.
- Nabila, B., Dahda, S., Priyana, E. (2025). Penerapan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) pada Mesin Produksi untuk Peningkatan



- Keandalan. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)* Vol. 4, No. 4, Desember 2025, pp. 1613 – 1623.
<https://doi.org/10.55826/jtmit.v4i4.1208>.
- Nugraha, F., Martikasari, A., Supono. (2025). Analysis Operational Problems in A Shipping Service Company using The Fault Tree Analysis (FTA) Method, Case Study: PT Kereta Api Logistik Bandung. *Jurnal LOGITEC* Vol. 1 No. 1, pp. 1-9.
<https://ejurnal.ulbi.ac.id/index.php/logitec/article/view/4501>.
- Nuraeni, V., Hanan, S. (2025). Analisis Keterlambatan Pembongkaran Kargo Steel Coil dengan Menggunakan Metode FMEA dan FTA di Pt Krakatau Jasa Logistik. *Jurnal Taguchi* Vol. 5 No. 2, pp. 521-532.
<http://taguchi.lppmbinabangsa.id/index.php/home/article/view/298>.
- Purnomo, Y., Jatningsih, M. (2025). Analisis Risiko pada Divisi Perencanaan dan Pengendalian Operasi Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) di PT XYZ. *Jurnal Inovasi Teknik Industri (JITIN)*, Vol. 4 No.1, 99-107.
<https://doi.org/10.26753/jitin.v4i1.1688>.
- Rizky, N., Sulistyowati, W. (2024). Prioritizing Maintenance Strategies for Efficient Forklift Performance Through Failure Analysis: Memprioritaskan Strategi Perawatan untuk Kinerja Forklift yang Efisien Melalui Analisis Kegagalan. *Indonesian Journal of Innovation Studies* Vol. 25 No. 5.
<https://ijins.umsida.ac.id/index.php/ijins/article/view/1190>.
- Rosady, S., Hidayatulloh, M. (2025). Perencanaan Perawatan dan Perbaikan Genset pada Kereta Api Tipe MTU 1600 500 kVA Periode 2024-2029. *Jurnal INOVATOR* Vol. 8 No. 1, pp. 61-68.
<https://ojs.politeknikjambi.ac.id/inovator/article/view/486>.
- Sidik, J., Andalia, W. Tamalika, T. (2022). Identifikasi Perawatan Mesin Press Hidrolik dengan Menggunakan Metode FMEA dan FTA (Studi Kasus di Bengkel Cahaya Ilahi). *Jambura Industrial Review* Vol. 2 No. 2, pp. 57-64.
<https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/JIRev/article/view/16629>.
- Ulum, R., Widarman, A., Mayumi, A., Iskandar, H. (2024). Analisis Implementasi Teknik Reliability, Availability, Maintainability, and Safety (RAMS) pada Resor Jalan rel Berdasarkan SNI IEC 62278-2002 Bidang Perkeretaapian di Stasiun Purwakarta. *Journal of Management and Industrial Engineering (JMIE)* Vol. 3 No. 2, pp. 46-55.
<https://jurnal.sttnlampung.ac.id/index.php/jmie/article/view/140>.
- Wicaksono, A., Yuamita, F. (2022). Pengendalian Kualitas Produksi Sarden Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) untuk Meminimalkan Cacat Kaleng di PT XYZ. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)* Vol. 1, No. 3, September 2022, pp. 145-154.
<https://doi.org/10.55826/tmit.v1iIII.44>.