

PENERAPAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS DALAM ANALISIS RISIKO KEGAGALAN RADIO LOKOMOTIF DI DIVISI REGIONAL III PALEMBANG

Yus Rizal^{1*}, Sunaryo², Dhina Setyo Oktaria³, Galuh Anggun Prameswari⁴, Teguh Arifianto⁵

¹⁾ Manajemen Transportasi Perkeretaapian, Politeknik Transportasi Darat Indonesia - STTD, Bekasi, Indonesia

^{2,3,4,5)} Teknologi Elektro Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia, Madiun, Indonesia

Email: yus.rizal@ptdisttd.ac.id, sunaryo@ppi.ac.id, dhina@ppi.ac.id, anggunggaluh430@gmail.com, teguh@ppi.ac.id

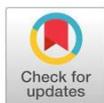
Info Artikel

Histori Artikel:

Diterima Feb 24, 2025

Direvisi Apr 21, 2025

Disetujui Apr 29, 2025



ABSTRACT

Locomotive radios serve as a crucial telecommunications system in railway operations. However, in Divisi Regional III Palembang, frequent malfunctions occur without systematic damage documentation, resulting in the absence of an optimal maintenance strategy. This study applies the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method to identify failure characteristics, analyze their impact on each component, and determine the appropriate maintenance strategy. The analysis results indicate that from 2019 to 2022, a total of 20 communication failures occurred, with the highest failure frequency observed in the Locomotive Transceiver Unit (LTU), which failed 14 times. The Mean Time Between Failure calculations reveal that the LTU has an average failure interval of 1,253 hours, while the console has 1,297 hours, and the antenna reaches 8,064 hours. Risk analysis using FMEA shows that the console has the lowest risk level with a value of 18, the antenna has a moderate risk level with a value of 27, and the LTU has the highest risk level with a value of 36. Based on the identified maintenance strategy, the proposed solution includes implementing preventive maintenance and corrective maintenance to mitigate potential failures. A reliability test conducted over 1,000 hours yielded a reliability probability of 18.3%.

Keywords: locomotive radios; telecommunications system; railway; failure mode and effect analysis; maintenance



ABSTRAK

Radio lokomotif berperan sebagai sistem telekomunikasi yang krusial dalam operasional perjalanan kereta api. Namun, di Divisi Regional III Palembang, sering terjadi gangguan tanpa adanya dokumentasi kerusakan yang sistematis sehingga belum tersedia strategi perawatan yang optimal. Penelitian ini menerapkan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk mengidentifikasi karakteristik kegagalan, menganalisis dampak terhadap setiap komponen, serta menentukan strategi perawatan yang tepat. Hasil analisis menunjukkan bahwa selama periode 2019 hingga 2022 terjadi 20 gangguan komunikasi dengan frekuensi kegagalan tertinggi pada komponen Locomotive Transceiver Unit (LTU) sebanyak 14 kali. Perhitungan Mean Time Between Failure menunjukkan bahwa komponen LTU memiliki rata-rata waktu antara kegagalan sebesar 1.253 jam, sedangkan console sebesar 1.297 jam, dan antena mencapai 8.064 jam. Analisis risiko menggunakan FMEA menunjukkan bahwa console memiliki tingkat risiko terendah dengan nilai 18, antena memiliki risiko sedang dengan nilai 27, dan LTU memiliki risiko tertinggi dengan nilai 36. Berdasarkan hasil identifikasi strategi perawatan, solusi yang diusulkan adalah penerapan preventive maintenance dan corrective maintenance untuk mengurangi potensi kegagalan. Pengujian keandalan selama 1.000 jam menghasilkan nilai probabilitas keandalan sebesar 18,3%.

Kata Kunci: radio lokomotif; sistem telekomunikasi; kereta api; failure mode and effect analysis; perawatan

Penulis Korespondensi:

Yus Rizal,

Manajemen Transportasi Perkeretaapian,

Politeknik Transportasi Darat Indonesia - STTD,

Jl. Raya Setu No.89, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat.

Email: yus.rizal@ptdisttd.ac.id

1. PENDAHULUAN

Kereta api merupakan salah satu moda transportasi darat yang memiliki peran penting dalam sistem transportasi nasional [1, 2, 3, 4]. Keandalan komunikasi antara masinis dan pengatur perjalanan menjadi aspek utama dalam operasional kereta api [5, 6]. Sistem radio lokomotif berperan sebagai sarana komunikasi yang vital [7]. PT. Kereta Api Indonesia (Persero) telah mengadopsi sistem telekomunikasi radio lokomotif sebagai media utama komunikasi antara Pengatur Perjalanan Kereta Api (PPKA) dan masinis untuk menjamin keselamatan perjalanan kereta api. Meskipun sistem ini telah diterapkan, masih ditemukan gangguan pada radio lokomotif yang dapat menghambat kelancaran komunikasi dan menurunkan keandalan operasional perkeretaapian.

Pemeliharaan peralatan telekomunikasi seperti radio lokomotif memiliki peran krusial dalam menjaga kelancaran operasional kereta api [8]. Pemeliharaan dilakukan secara rutin dengan jadwal harian, bulanan, maupun tahunan untuk memastikan bahwa perangkat tetap dalam kondisi optimal. Terdapat dua metode utama dalam perawatan radio lokomotif yaitu *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* [9]. Berdasarkan data dari Resort Sintelis Divisi Regional III Palembang, sebanyak 30 gangguan pada radio lokomotif tercatat dalam periode 29 Januari 2019 hingga 26 Februari 2022. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pemeliharaan yang diterapkan belum sepenuhnya efektif dalam mencegah gangguan sehingga diperlukan pendekatan yang lebih sistematis untuk meningkatkan keandalan perangkat.

Meskipun sistem pemeliharaan yang diterapkan telah berjalan, masih terdapat berbagai tantangan khususnya dalam upaya mencegah gangguan pada radio lokomotif. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan serta merumuskan langkah mitigasi yang tepat adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Metode ini telah diterapkan di berbagai sektor industri untuk meningkatkan keandalan suatu sistem [10, 11]. Namun penerapannya dalam pemeliharaan radio lokomotif di Divisi Regional III Palembang masih terbatas dan belum dikaji secara mendalam. Hal tersebut diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab gangguan serta menyusun strategi pemeliharaan yang lebih optimal demi meningkatkan keandalan sistem komunikasi perkeretaapian.

Penelitian ini menyajikan kebaruan melalui penerapan metode FMEA secara komprehensif

untuk mengkaji kegagalan pada sistem radio lokomotif di Divisi Regional III Palembang. Tidak seperti penelitian terdahulu, studi ini menjadi yang pertama menggunakan FMEA sebagai dasar dalam merancang strategi pemeliharaan berbasis risiko untuk sistem radio lokomotif. Inovasi penelitian ini terletak pada pendekatan sistematis dalam mengidentifikasi jenis kegagalan dominan serta komponen yang paling rentan mengalami kerusakan yang sebelumnya belum diteliti secara mendalam di wilayah tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menelusuri penyebab kegagalan pada sistem radio lokomotif dengan memanfaatkan metode FMEA sehingga dapat disusun strategi pemeliharaan yang lebih tepat guna dan optimal. Di samping itu, penelitian ini juga mengevaluasi efektivitas praktik pemeliharaan yang telah dilakukan serta memberikan kontribusi nyata dalam penyusunan strategi pemeliharaan berbasis analisis kegagalan untuk meningkatkan keandalan sistem komunikasi kereta api.



Gambar 1 Perawatan radio lokomotif
(Sumber: Dokumentasi penulis)

2. METODE PENELITIAN

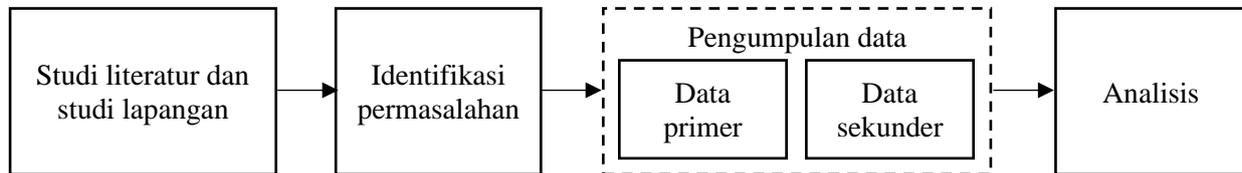
2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk menganalisis kegagalan dan menilai keandalan sistem radio lokomotif. Rancangan penelitian disusun secara sistematis melalui beberapa tahapan yaitu mulai dari studi literatur dan studi lapangan, identifikasi permasalahan, pengumpulan data, hingga proses analisis menggunakan metode FMEA (**Gambar 2**).

Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder sebagai sumber pengumpulan data. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap kondisi radio lokomotif di Divisi Regional III Palembang serta kuesioner yang diisi oleh teknisi atau petugas terkait. Sementara itu, data sekunder mencakup berbagai dokumen teknis, seperti *manual book*, jurnal ilmiah, peraturan yang relevan, serta catatan historis mengenai gangguan dan kegagalan sistem radio lokomotif dalam rentang waktu 3 tahun.

Penelitian ini menganalisis data menggunakan metode FMEA yang mencakup identifikasi mode kegagalan gangguan pada sistem radio lokomotif, evaluasi dampak kegagalan, serta penentuan prioritas perawatan. Ruang lingkup penelitian ini terbatas pada analisis keandalan sistem radio

lokomotif di Divisi Regional III Palembang yang berfokus pada komponen utama yang memengaruhi keandalan komunikasi. Selain itu, penelitian ini hanya berorientasi pada analisis mode kegagalan dan strategi perawatan.



Gambar 2 Desain penelitian

2.2 Fungsi Keandalan

Tingkat kegagalan menggambarkan frekuensi terjadinya kegagalan dalam rentang waktu tertentu dan dihitung dengan membagi jumlah kegagalan dengan total jam operasi (1). Nilai ini dapat dinyatakan dalam berbagai satuan, seperti kegagalan per jam, persentase kegagalan per jam, atau kegagalan per juta jam. Di Divisi Regional III Palembang, sistem radio lokomotif beroperasi selama 16 jam per hari dengan total jam operasional tahunan berkisar antara 5.840 hingga 5.856 jam selama periode 3 tahun.

$$\lambda = \frac{\text{jumlah kegagalan}}{\text{total jam operasi}} \tag{1}$$

Penelitian ini menguji tiga komponen utama radio lokomotif selama 500 jam dalam kondisi operasi tertentu untuk mengevaluasi tingkat keandalannya. Siklus operasi setiap komponen dihitung berdasarkan total jam operasi yang telah ditetapkan. Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola kegagalan serta menentukan tingkat keandalan masing-masing komponen dalam sistem radio lokomotif.

Dengan asumsi bahwa sistem mengikuti distribusi eksponensial, umur rata-rata antara dua kegagalan atau *Mean Time Between Failure* (MTBF) (persamaan 2) dapat dihitung sebagai indikator keandalan sistem. Fungsi keandalan sistem dihitung menggunakan rumus (3) yang berfungsi untuk menganalisis probabilitas suatu komponen tetap bekerja dalam periode tertentu tanpa mengalami kegagalan.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \tag{2}$$

$$R = e^{-(\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C)t} \tag{3}$$

2.3 Analisis Data

Sebelum data dianalisis menggunakan metode FMEA, uji validitas perlu dilakukan untuk

memastikan bahwa pertanyaan dalam kuesioner telah memenuhi kriteria validitas. Dalam penelitian ini, uji validitas dilakukan menggunakan metode *Pearson*. Metode *Pearson* di mana suatu pertanyaan dinyatakan valid jika nilai *r* hitung lebih besar dari nilai *r* tabel. Besarnya nilai *r* tabel bergantung pada jumlah responden. Dengan jumlah responden sebanyak 30 orang, derajat kebebasan (*df*) dihitung sebagai $df = n - 2 = 30 - 2 = 28$, dengan taraf signifikansi 5%. Sehingga diperoleh nilai *r* tabel sebesar 0,374. Proses uji validitas dilakukan dengan bantuan *software* SPSS dan hasilnya disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Uji validitas

Pertanyaan Kuisisioner	r Tabel	r Hitung
1	0,374	0,593
2	0,374	0,691
3	0,374	0,593
4	0,374	0,691
5	0,374	0,593
6	0,374	0,746
7	0,374	0,593
8	0,374	0,691
9	0,374	0,593
10	0,374	0,991
11	0,374	0,593
12	0,374	0,691
13	0,374	0,593
14	0,374	0,746
15	0,374	0,593
16	0,374	0,691
17	0,374	0,593
18	0,374	0,773
19	0,374	0,593
20	0,374	0,793
21	0,374	0,593
22	0,374	0,754
23	0,374	0,593
24	0,374	0,836
25	0,374	0,593
26	0,374	0,746
27	0,374	0,593

Pertanyaan Kuisisioner	r Tabel	r Hitung
28	0,374	0,691
29	0,374	0,593
30	0,374	0,793
31	0,374	0,593
32	0,374	0,793
33	0,374	0,593
34	0,374	0,793
35	0,374	0,746
36	0,374	0,691
37	0,374	0,593
38	0,374	0,783
39	0,374	0,593
40	0,374	0,793
41	0,374	0,593
42	0,374	0,793
43	0,374	0,746
44	0,374	0,593
45	0,374	0,691
46	0,374	0,746
47	0,374	0,773
48	0,374	0,593
49	0,374	0,793

Setelah uji validitas selesai, langkah berikutnya adalah uji reliabilitas untuk menilai tingkat konsistensi atau keandalan kuisisioner. Kuisisioner dianggap reliabel apabila nilai $\alpha > 0,6$ [12, 13, 14]. Berdasarkan hasil analisis, nilai *Cronbach's alpha* yang diperoleh adalah 0,844. Dengan demikian, kuisisioner dalam penelitian ini dinyatakan memiliki tingkat reliabilitas yang baik.

Tabel 2 Hasil uji reliabilitas

<i>Case Processing Summary</i>			
		N	%
<i>Cases</i>	<i>Valid</i>	30	100.0
	<i>Excluded</i>	0	.0
	<i>Total</i>	30	100.0

Reliability Statistics

<i>Cronbach's alpha</i>	<i>N of Items</i>
.844	49

2.4 Failure Mode And Efecct Analysis (FMEA)

Pada tahap ini, data dianalisis menggunakan metode FMEA untuk mengidentifikasi serta mengevaluasi gangguan pada sistem radio lokomotif. Proses ini mencakup perhitungan dengan rumus (4) untuk menentukan tingkat risiko dari setiap kemungkinan kegagalan sehingga faktor-faktor penyebab gangguan dapat diidentifikasi dan diprioritaskan untuk diperbaiki. Melalui pendekatan ini, strategi mitigasi yang efektif dapat dirancang untuk meningkatkan keandalan sistem radio lokomotif.

$$RPN = S \times O \times D \tag{4}$$

dimana

- RPN* : Risk Priority Number
- S (Severity)* : Tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan
- O (Occurence)* : Frekuensi kemunculan penyebab kegagalan
- D (Detection)* : Kemampuan dalam mendeteksi penyebab kegagalan

Penilaian *severity* berkaitan dengan besarnya dampak yang ditimbulkan akibat kegagalan atau cacat dalam sistem. Tingkat *severity* menunjukkan sejauh mana konsekuensi kegagalan dapat memengaruhi kinerja atau keselamatan sistem. Dalam penelitian ini, nilai *severity* diperoleh melalui kuisisioner yang diisi oleh responden yang memahami sistem yang dianalisis. Responden memberikan penilaian menggunakan skala untuk mengukur tingkat keparahan dampak kegagalan. Hasil penilaian ini kemudian digunakan dalam analisis risiko untuk menentukan prioritas perbaikan serta strategi mitigasi yang diperlukan [15].

Tabel 3 Severity

Rating	Klasifikasi	Kriteria
1	Tidak ada efek	Tidak menimbulkan risiko dan aman untuk pengoperasian kereta api
2	Rendah	Tidak membahayakan, namun dapat menghambat kelancaran operasional
3	Sedang	Memiliki tingkat bahaya rendah
4	Tinggi	Berisiko tetapi tidak sampai menyebabkan kegagalan fatal
5	Sangat tinggi	Sangat berisiko dan dapat berakibat fatal

Occurrence merujuk pada frekuensi terjadinya suatu penyebab kegagalan dalam sistem [16]. Setiap faktor penyebab kegagalan dinilai berdasarkan seberapa sering kemunculannya. Penilaian ini menggunakan skala rating dari 1 hingga 4. Semakin tinggi frekuensi kejadian, semakin besar nilai rating yang diberikan. Nilai *occurrence* memiliki peran krusial dalam analisis risiko karena dapat membantu mengidentifikasi faktor dominan yang memicu kegagalan serta merumuskan strategi mitigasi yang efektif untuk meningkatkan keandalan sistem.

Tabel 4 Occurrence

Rating	Klasifikasi	Kriteria
1	Tidak pernah	Tidak pernah mengalami kegagalan
2	Jarang	Terjadi kegagalan sesekali

Rating	Klasifikasi	Kriteria
3	Sering	Kegagalan terjadi secara berulang
4	Selalu	Kegagalan terjadi secara terus-menerus

Detection merujuk pada kemampuan untuk mengidentifikasi suatu penyebab kegagalan sebelum menimbulkan dampak terhadap sistem [17]. Setiap penyebab kegagalan dinilai berdasarkan tingkat kemudahannya untuk dideteksi. Penilaian ini menggunakan skala rating dari 1 hingga 5. Semakin sering suatu penyebab kegagalan terdeteksi, semakin tinggi nilai yang diberikan. Nilai *detection* memainkan peran krusial dalam analisis risiko karena membantu menilai efektivitas sistem pemantauan serta menentukan langkah-langkah pencegahan yang diperlukan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan.

Tabel 5 *Detection*

Rating	Klasifikasi	Kriteria
1	Hampir tidak mungkin	Kemungkinan pengontrol mendeteksi potensi kegagalan sangat kecil
2	Jarang	Pengontrol memiliki kemungkinan yang rendah dalam menemukan potensi kegagalan
3	Rendah	Tingkat deteksi kegagalan oleh pengontrol tergolong rendah
4	Tinggi	Pengontrol memiliki peluang tinggi untuk mendeteksi kegagalan
5	Sangat tinggi	Kemungkinan pengontrol mendeteksi kegagalan sangat tinggi, namun keterlambatan dalam pencegahan dapat menyebabkan kegagalan terjadi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

3.1.1 Analisis Data dan Evaluasi Gangguan Radio Lokomotif

Proses pengolahan data dimulai dengan mengidentifikasi seluruh unit radio lokomotif beserta sistem pemeliharaan yang diterapkan. Identifikasi ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas perawatan yang dilakukan oleh petugas pemeliharaan di Divisi Regional III Palembang sekaligus mengidentifikasi kelemahan dalam sistem pemeliharaan. Selanjutnya, dilakukan analisis

terhadap setiap komponen dan prinsip kerjanya yang saling berhubungan dalam sebuah subsistem. Hasil identifikasi ini kemudian digunakan untuk menyusun *FMEA Information Worksheet* yang mencakup deskripsi fungsi, potensi kegagalan, mode kegagalan, dan dampak yang ditimbulkan.

Berdasarkan data gangguan radio lokomotif di Divisi Regional III Palembang, komponen *Locomotive Transceiver Unit (LTU)* tercatat sebagai bagian yang paling sering mengalami gangguan. Waktu perbaikan terlama terjadi pada 15 Maret 2020 dengan durasi 1 jam 45 menit sehingga mengakibatkan kegagalan komunikasi antara masinis dan PPKA yang disebabkan oleh kerusakan pada komponen LTU. Gangguan ini diatasi dengan mengganti komponen LTU. Sementara itu, waktu perbaikan tercepat terjadi pada 5 Januari 2022 dengan durasi 23 menit yang mengakibatkan gangguan komunikasi yang disebabkan oleh *blank area*. Masalah ini juga diselesaikan dengan penggantian komponen LTU yang bermasalah.

Gangguan pada setiap komponen diidentifikasi berdasarkan tingkat frekuensi kegagalan yang terjadi. Analisis terhadap setiap gangguan dilakukan menggunakan metode FMEA untuk menentukan penyebab utama gangguan, mode kegagalan, dan dampak yang ditimbulkan. Data gangguan tersebut kemudian diklasifikasikan berdasarkan komponen yang paling sering mengalami permasalahan dalam sistem komunikasi radio lokomotif. Melalui analisis ini, langkah-langkah pencegahan dan strategi pemeliharaan yang lebih efektif dapat ditentukan untuk meningkatkan keandalan sistem komunikasi. Selain itu, hasil analisis FMEA digunakan sebagai dasar untuk merumuskan rekomendasi perbaikan sistem pemeliharaan untuk mengurangi risiko kegagalan di masa mendatang. Evaluasi gangguan dan frekuensinya disajikan dalam tabel frekuensi gangguan (**Tabel 6**).

Tabel 6 Frekuensi gangguan

Komponen	Frekuensi Gangguan
<i>Console</i>	11 gangguan
LTU	14 gangguan
Antena	5 gangguan

Dari data **Tabel 6**, diketahui bahwa komponen *console* mengalami 11 gangguan yang meliputi kegagalan dalam mengirimkan suara dari masinis ke PPKA sehingga komunikasi dua arah terganggu. Gangguan ini ditangani dengan mengganti komponen *console* yang bermasalah serta melakukan perawatan berkala. Sementara itu, komponen LTU mengalami 14 gangguan yang menyebabkan radio lokomotif tidak dapat

digunakan untuk komunikasi selama perjalanan sehingga frekuensi tidak dapat dipancarkan ke PPKA. Gangguan ini diatasi melalui perbaikan dan pemeliharaan rutin. Adapun komponen antenna mengalami 5 gangguan yang terjadi selama perawatan harian. Radio lokomotif gagal berkomunikasi dua arah yang berpotensi mengganggu operasional kereta api. Penyelesaian masalah ini dilakukan dengan pemeriksaan antenna, perbaikan jika ditemukan kerusakan, dan pengecekan berkala untuk memastikan kinerja tetap optimal.

3.1.2 Analisis Tingkat Kegagalan

Tingkat kegagalan dalam suatu rentang waktu tertentu dikenal sebagai tingkat kegagalan dalam selang waktu tertentu. Di Divisi Regional III Palembang, radio lokomotif beroperasi selama 16 jam setiap hari. Pada periode 2019 hingga 2022, total waktu operasional radio lokomotif per tahun berkisar antara 5.840 hingga 5.856 jam. Untuk menilai keandalan sistem, tiga komponen utama radio lokomotif diuji selama 500 jam dengan kondisi operasi yang telah ditetapkan.

- a. Komponen *console* pada radio lokomotif telah beroperasi selama 14.280 jam dalam rentang tiga tahun. Pada periode 2019 hingga 2022, tercatat 11 gangguan pada komponen ini.

$$\lambda = \frac{\text{jumlah kegagalan}}{\text{total jam operasi}} = \frac{11}{14.280} = 0,000770308 \text{ jam} \quad (5)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,000770308} = 1.298 \text{ jam} \quad (6)$$

- b. Komponen LTU pada radio lokomotif telah beroperasi selama 17.541 jam dalam kurun waktu tiga tahun. Dalam periode 2019 hingga 2022, tercatat 14 gangguan yang terjadi di titik-titik spesifik yang telah diidentifikasi.

$$\lambda = \frac{\text{jumlah kegagalan}}{\text{total jam operasi}} = \frac{14}{17.541} = 0,00079813 \text{ jam} \quad (7)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,00079813} = 1.253 \text{ jam} \quad (8)$$

- c. Komponen antenna pada radio lokomotif telah beroperasi selama 40.132 jam dalam kurun waktu tiga tahun. Dalam periode 2019 hingga 2022, tercatat 5 gangguan yang terjadi di lokasi.

$$\lambda = \frac{\text{jumlah kegagalan}}{\text{total jam operasi}} = \frac{5}{40.132} = 0,000124589 \text{ jam} \quad (9)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,000124589} = 8.026 \text{ jam} \quad (10)$$

3.1.3 Analisis Component Relationships

Setelah dilakukan berbagai langkah dalam analisis kegagalan pada komponen radio lokomotif, komponen yang dipilih akan digabungkan dalam sistem dengan susunan seri, paralel, atau kombinasi keduanya. Untuk memahami keterkaitan antar komponen serta mengevaluasi keandalan sistem, dibuat diagram blok yang menggambarkan hubungan fungsional masing-masing komponen.

Hubungan seri merupakan yang paling umum digunakan serta lebih mudah dianalisis. Dalam sistem ini, seluruh komponen harus berfungsi dengan baik agar sistem secara keseluruhan dapat beroperasi secara optimal. Jika sistem terdiri dari tiga komponen utama, yaitu A, B, dan C, maka keandalannya dapat dinyatakan sebagai *t* (persamaan 3).

Sistem komunikasi pada radio lokomotif terdiri dari tiga komponen utama yaitu *console*, LTU, dan antenna. *Console* berfungsi untuk menampilkan informasi waktu, status *channel*, dan *channel* yang dipilih. *Console* juga sebagai perangkat utama dalam pengoperasian radio lokomotif yang digunakan sebagai sarana komunikasi antara masinis dan PPKA. LTU berfungsi sebagai perangkat transmisi dan penerima dalam sistem komunikasi radio lokomotif. Antena berperan dalam memastikan koneksi radio dengan *train dispatcher* serta lokomotif lainnya.

Sistem ini ditargetkan untuk beroperasi selama 1.000 jam dengan hubungan seri. Nilai dari MTBF dari masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Nilai MTBF

Komponen	Nilai MTBF
<i>Console</i>	1.298 jam
LTU	1.253 jam
Antena	8.026 jam

Berdasarkan nilai MTBF (Tabel 7), tingkat kegagalan (λ) untuk setiap komponen dihitung sebagai berikut:

$$\lambda_{\text{console}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1.298} = 0,000770416 \text{ kegagalan/jam} \quad (11)$$

$$\lambda_{\text{LTU}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1.253} = 0,000798085 \text{ kegagalan/jam} \quad (12)$$

$$\lambda_{\text{antena}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{8.026} = 0,000124595 \text{ kegagalan/jam} \quad (13)$$

Keandalan keseluruhan sistem dalam hubungan seri dihitung menggunakan persamaan:

$$R = e^{-(\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C)t}$$

$$= e^{-(0,000770416 + 0,000798085 + 0,000124595)(1.000)} \quad (14)$$

$$= 0.18373$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa probabilitas keandalan sistem selama 1.000 jam adalah 18,3%. Jika durasi operasional yang disyaratkan dikurangi menjadi 500 jam, maka keandalan sistem meningkat menjadi 42,8%.

3.1.4 Analisis Kegagalan dan Dampaknya pada Sistem Radio Lokomotif Menggunakan FMEA

FMEA merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam suatu proses produksi serta menghitung *Risk Priority Number* (RPN). Nilai RPN diperoleh dari perkalian antara *severity*, *occurrence*, dan *detectability* (persamaan 4) yang digunakan untuk menilai tingkat risiko dari setiap kemungkinan kegagalan. Berdasarkan analisis FMEA pada sistem radio lokomotif, ditemukan tiga mode kegagalan utama yang melibatkan tiga komponen utama sistem komunikasi yaitu *console*, LTU, dan antena.

1. Kegagalan pada *console*

Kegagalan pertama terjadi pada komponen *console*. Transmisi suara tidak dapat mencapai petugas PPKA dan pusat kendali. Gangguan ini menghambat komunikasi antara masinis, PPKA, dan pusat kendali yang berpotensi mengganggu operasional kereta api. Untuk mengatasi permasalahan ini, dilakukan penggantian unit *console* serta perawatan rutin untuk memastikan sistem tetap berfungsi secara optimal.

2. Kegagalan pada LTU

Gangguan kedua terjadi pada komponen LTU. Komponen LTU mengalami masalah pada *head control* sehingga tidak dapat melakukan *channel switching* pada saat komunikasi. Akibatnya, komunikasi selama operasional kereta api menjadi terganggu. Solusi yang diterapkan untuk mengatasi permasalahan ini meliputi penggantian dan perbaikan unit LTU agar memastikan komunikasi tetap berjalan dengan lancar.

3. Kegagalan pada antena

Kegagalan ketiga terjadi pada komponen antena. Antena mengalami kerusakan sehingga tidak dapat digunakan untuk transmisi komunikasi. Gangguan ini menyebabkan hambatan dalam komunikasi antara masinis, PPKA, dan pusat kendali yang berpotensi mengganggu kelancaran operasional

kereta api. Untuk mencegah dan mengatasi kegagalan ini, dilakukan perbaikan antena serta pemeriksaan berkala untuk memastikan kinerja sistem tetap stabil.

Melalui penerapan analisis FMEA, ketiga mode kegagalan tersebut dapat diidentifikasi, dianalisis, dan ditangani dengan solusi yang tepat. Pendekatan ini berkontribusi dalam meningkatkan keandalan sistem komunikasi pada radio lokomotif sehingga mendukung kelancaran operasi kereta api secara keseluruhan.

3.2 Pembahasan Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini mengungkapkan analisis dan evaluasi gangguan pada sistem komunikasi radio lokomotif di Divisi Regional III Palembang, dimulai dengan identifikasi unit radio dan pemeliharaan yang diterapkan untuk mengevaluasi efektivitasnya serta kelemahan yang ada. Melalui analisis FMEA, teridentifikasi bahwa *Locomotive Transceiver Unit* (LTU) menjadi komponen dengan frekuensi gangguan tertinggi (14 gangguan), diikuti oleh *console* (11 gangguan) dan antena (5 gangguan), yang masing-masing menyebabkan masalah yang serius dalam komunikasi antara masinis dan PPKA. Sebagai contoh, pada 15 Maret 2020, durasi perbaikan LTU memakan waktu 1 jam 45 menit akibat kerusakan, sedangkan perbaikan tercepat terjadi pada 5 Januari 2022 dengan durasi 23 menit. Evaluasi tingkat kegagalan menunjukkan bahwa MTBF untuk *console*, LTU, dan antena masing-masing adalah 1.298 jam, 1.253 jam, dan 8.026 jam, dengan keandalan keseluruhan sistem selama 1.000 jam hanya sebesar 18,3%, yang dapat meningkat menjadi 42,8% jika waktu operasional dikurangi menjadi 500 jam. Melalui penerapan analisis ini, langkah-langkah pencegahan dan rencana pemeliharaan yang lebih efisien dapat direkomendasikan untuk meningkatkan keandalan sistem komunikasi, memastikan kelancaran operasional kereta api, dan mengurangi risiko kegagalan di masa depan.

4. KESIMPULAN

Permasalahan komunikasi pada radio lokomotif di wilayah Divisi Regional III Palembang sebagian besar disebabkan oleh kerusakan pada komponen *console*, LTU, dan antena. Berdasarkan analisis menggunakan metode FMEA, LTU tercatat sebagai komponen yang paling sering mengalami gangguan, yaitu sebanyak 14 kali, dengan nilai MTBF sebesar 1.253 jam. Sementara itu, *console* mengalami 11 gangguan dengan MTBF 1.297 jam, dan antena mengalami 5 gangguan dengan nilai

MTBF tertinggi yaitu 8.064 jam. Jenis gangguan yang paling sering terjadi meliputi suara yang tidak tersampaikan ke petugas PPKA, kegagalan dalam proses pergantian *channel*, serta kerusakan antena yang mengganggu komunikasi. Waktu perbaikan untuk setiap gangguan bervariasi. Gangguan paling lama terjadi selama 1 jam 45 menit akibat kesalahan pada LTU, sedangkan gangguan tercepat diselesaikan dalam waktu 23 menit karena *blank area*. Evaluasi terhadap efektivitas strategi pemeliharaan yang telah digunakan menunjukkan bahwa tingkat keandalan sistem masih tergolong rendah yaitu hanya sebesar 18,3% untuk periode 1.000 jam. Namun demikian, tingkat keandalan meningkat menjadi 42,8% ketika waktu pengamatan dipersingkat menjadi 500 jam. Berdasarkan temuan tersebut, diperlukan perbaikan strategi pemeliharaan dengan menyusun jadwal perawatan (*maintenance scheduling*) yang mengacu pada tingkat kritikalitas masing-masing komponen. Pendekatan yang disarankan meliputi kombinasi antara pemeliharaan preventif (*preventive maintenance*) dan korektif (*corrective maintenance*), dan perencanaan kebutuhan suku cadang untuk meningkatkan keandalan sistem komunikasi radio pada lokomotif secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Biomantara and H. Herdiansyah, "Peran Kereta Api Indonesia (KAI) Sebagai Infrastruktur Transportasi Wilayah Perkotaan", *Cakrawala - Jurnal Humaniora*, vol.19, no.1, pp.1-8, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal.bsi.ac.id/ejurnal/index.php/cakrawala/article/view/4356>.
- [2] I. Dewi, "Analisa Analisa Pemilihan Sistem Moda Transportasi Antara Bus Angkutan Kota Dengan Kereta Api Rute Medan Tanjung Balai", *Jurnal Mesil (Mesin, Elektro, Sipil)*, vol.1, no.2, pp. 116-122, 2020, [Online]. Available: <https://doi.org/10.53695/jm.v1i2.717>.
- [3] L. O. Stini, "Evaluasi Kondisi Angkutan Masal di Jabodetabek Akibat PSBB", *Journal of Civil Engineering and Planning*, vol.1, no.2, pp.111-122, 2020, [Online]. Available: <https://doi.org/10.37253/jcep.v1i2.806>.
- [4] M. Trianah, D. W. Saputra, and S. Irnaningsih, "Pengaruh Sejarah Perkembangan Alat Transportasi Darat, Laut, dan Udara di Indonesia Serta Dampaknya Terhadap Masyarakat", *Prosiding SEMNASFIP (Seminar Nasional dan Publikasi Ilmiah)*, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/SEMNASFIP/article/view/24066>.
- [5] B. S. Wibawanto, J. P. Hapsari, A. Suprajitno, and T. Arifianto, "Analisis Peralatan Persinyalan Kereta Api Dengan Persinyalan Elektrik Silsafe4000 di Stasiun Lempuyangan Yogyakarta", *Jurnal Perkeretaapian Indonesia (Indonesian Railway Journal)*, vol.6, no.2, pp.42-48, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.37367/jpi.v6i2.219>.
- [6] A. P. E. Wibowo and F. W. Putra, "Perancangan Visualisasi "Driver Machine Interface Display" Pada Kereta Api Berbasis ATO/ATP Menggunakan Aplikasi Visual Studio", *Jurnal Teknologi Terpadu*, vol.7, no.1, pp.45-50, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.54914/jtt.v7i1.311>.
- [7] E. N. S. Marsusiadi, Y. Wiarco, L. M. Wijayanti, and A. P. Iswanto, "Kajian Penggunaan Bahasa Baku dalam Mewujudkan Komunikasi Efektif Awak Sarana Prasarana Melayani Perjalanan Kereta Api", *Edukasia: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, vol.4, no.2, pp.1331-1346, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.62775/edukasia.v4i2.439>.
- [8] T. Arifianto and P. Manalu, "Peran Teknologi dan Sumber Daya Manusia Dalam Pengembangan Perkeretaapian dan Transportasi Publik", Riau: CV Bravo Press Indonesia, 2024.
- [9] F. Hendra, D. Rarasanti, K. Putranto, A. Saptari, and Riki Effendi, "Assesment for Technical Disruption Priority of Facilities by Used DMAIC Approach With FMEA Tool for Commuter Electric Train", *AIP Conference Proceedings*, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1063/5.0105280>.
- [10] A. R. Julianto, I. Kurnia, and M. N. Assidiq, "Menurunkan Reject Berlubang Pada NYY Cable Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) di PT. Kabelindo Murni Tbk", *Jurnal Industrikrisna*, vol.13, no.2, pp.41-50, 2024, [Online]. Available: <https://jurnalteknik.unkris.ac.id/index.php/inkris/article/view/577>.
- [11] I. P. Raharja, I. B. Suardika, and H. Galuh W, "Analisis Sistem Perawatan Mesin Bubut Menggunakan Metode RCM (Reliability Centered Maintenance) di CV. Jaya Perkasa Teknik", *Inovatif : Jurnal Teknik Industri*, vol.11, no.1, pp.39-48, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.36040/industri.v11i1.3414>.
- [12] E. S. Ningsih, F. S. Fatimah, R. J. Sarwadhmana, and E. Sulistyarningsih, "Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen Kuesioner Manajemen Talenta", *Indonesian Journal of Hospital Administration*, vol.4, no.2, pp.52-55, 2021, [Online]. Available: [http://dx.doi.org/10.21927/ijhaa.2021.4\(2\).52-55](http://dx.doi.org/10.21927/ijhaa.2021.4(2).52-55).
- [13] A. R. Pratiwi and M. Muzakki, "Perceived Organizational Support Terhadap Komitmen Organisasi dan Kinerja Karyawan", *Jurnal Ilmiah Manajemen dan Bisnis*, vol.22, no.1, pp.111-120, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.30596/jimb.v22i1.5282>.
- [14] A. A. I. C. Dewiyani and R. Fadila, "Uji Validitas dan Reliabilitas Kuesioner Pengetahuan Masyarakat Tentang Program JKN", *Jurnal Kesehatan Qamarul Huda*, vol.11, no.1, pp.307-315, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.37824/jkqh.v11i1.2023.462>.

- [15] A. Sumantika, B. A. Prasetyo, and G. Sirait, “Mitigasi Risiko pada Proses Produksi Tahu Menggunakan Pendekatan Metode Failure Mode and Effect Analysis dan Risk Priority Number”, *Jurnal Surya Teknik*, vol.11, no.1, pp.40-45, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.37859/jst.v11i1.7084>.
- [16] J. Sodikin, U. S. Jati, and L. P. Wanti, “Analisa Kerusakan Transmisi Otomatis dengan Metode Failures Mode and Effects Analysis (FMEA) dan Logic Tree Anaysis (LTA)”, *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, vol.3, no.1, pp.13-21, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.35970/accurate.v3i1.1510>.
- [17] H. R. Ardyansyah and N. U. Handayani, “Analisis Pengendalian Kualitas Produk Kain Grey PS 946 Dalam Upaya Mengurangi Tingkat Kecacatan Produk Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Pendekatan Kaizen (Studi Kasus PT. Primissima)”, *Industrial Engineering Online Journal*, vol.12, no.3, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/ieoj/article/view/40325/>.