

Pengaruh Implementasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Terhadap *Unplanned Downtime* Sistem Kelistrikan *Loader Underground* Di Tambang PT. X

Muhamad Rajiv¹, Iwan Susanto^{1*}, dan Muhammad Todaro¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

*Corresponding author E-mail address: iwan.susanto@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Sistem kelistrikan (*electrical system*) merupakan salah satu sistem kritis yang mempengaruhi keandalan dan ketersediaan *loader underground*. Berdasarkan data *unplanned downtime* PT. X periode Agustus–Desember 2025, sistem kelistrikan memberikan kontribusi *downtime* terbesar sebesar 26,53% atau 1.186 jam. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya strategi pemeliharaan yang efektif untuk mengurangi kerusakan dan meningkatkan keandalan komponen. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi *failure mode* komponen kritis sistem kelistrikan, menentukan strategi pemeliharaan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), serta mengevaluasi pengaruh implementasinya terhadap *unplanned downtime*. Metode yang digunakan meliputi analisis Pareto, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), RCM Decision Worksheet, serta analisis keandalan menggunakan parameter *Mean Time To Failure* (MTTF), *failure rate* (λ), dan *reliability* (R). Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen kritis terdiri dari sensor, wiring harness, battery, alternator, dan starting motor dengan total 1.137 kejadian kerusakan. Sensor memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sebesar 640. Implementasi RCM menghasilkan rekomendasi interval pemeliharaan 250–1000 jam operasi. Evaluasi implementasi menunjukkan frekuensi kerusakan menurun sebesar 18,73% dan *unplanned downtime* berkurang dari 1.186 jam menjadi 918 jam atau sebesar 22,60%. Dengan demikian, penerapan RCM efektif meningkatkan keandalan sistem kelistrikan dan menurunkan *unplanned downtime loader underground* di PT. X.

Kata-kata kunci: RCM, FMEA, sistem kelistrikan, *loader underground*.

Abstract

The electrical system is a critical subsystem affecting the reliability and availability of underground loaders. Based on unplanned downtime data at PT. X during August–December 2025, the electrical system contributed the highest downtime, accounting for 26.53% or 1,186 hours. This condition indicates the need for an effective maintenance strategy to reduce failures and improve system reliability. This study aims to identify failure modes of critical electrical components, determine maintenance strategies using the *Reliability Centered Maintenance* (RCM) method, and evaluate their impact on unplanned downtime. The methods employed include Pareto analysis, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), RCM Decision Worksheet, and reliability analysis using *Mean Time To Failure* (MTTF) and *failure rate* (λ). The results identified five critical components: sensors, wiring harnesses, batteries, alternators, and starting motors, with 1,137 failure events. Sensors had the highest *Risk Priority Number* (RPN) value of 640. RCM implementation recommended maintenance intervals of 250–1,000 operating hours. Failure frequency decreased by 18.73%, while unplanned downtime decreased from 1,186 to 918 hours (22.60%). Therefore, RCM effectively improved electrical system reliability and reduced underground loader unplanned downtime at PT. X.

Keywords: RCM, FMEA, electrical system, underground loader.

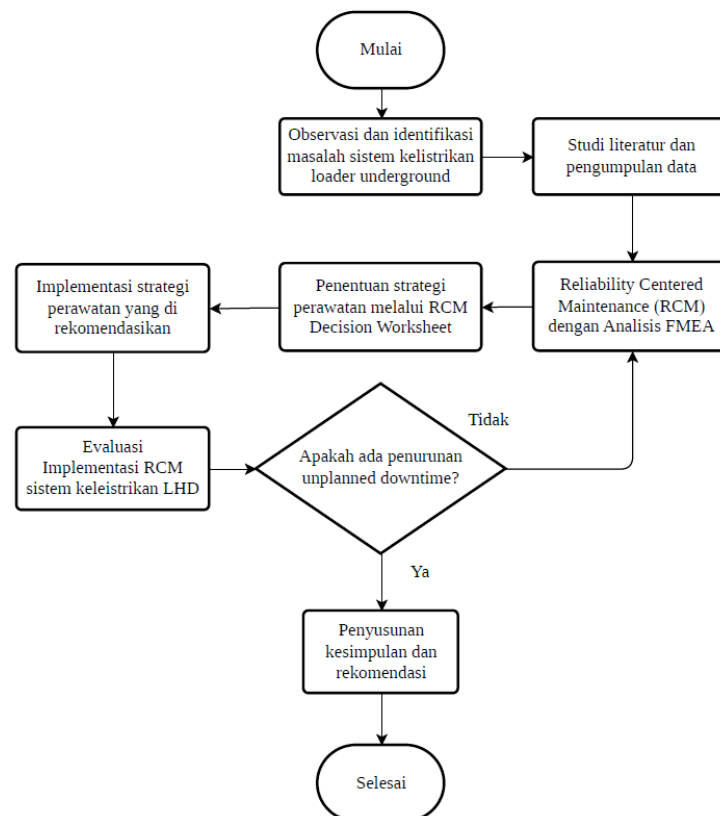
1. PENDAHULUAN

Loader underground (*Load-Haul-Dump*) merupakan alat utama dalam kegiatan penambangan bawah tanah yang berperan dalam proses pemuatan, pengangkutan, dan pemindahan material hasil peledakan. Tingginya intensitas operasi serta kondisi lingkungan tambang bawah tanah yang memiliki tingkat kelembapan tinggi, paparan debu, getaran, dan ruang kerja terbatas menyebabkan peralatan memiliki risiko mengalami gangguan operasional atau *unplanned downtime*. Kondisi tersebut dapat berdampak pada penurunan produktivitas, meningkatnya biaya pemeliharaan, serta terganggunya pencapaian target produksi tambang [1][2]. Berdasarkan data *unplanned downtime* loader underground di PT. X periode Agustus–Desember 2025, sistem kelistrikan (*electrical system*) merupakan penyumbang *downtime* terbesar dengan total durasi 1.186 jam atau sebesar 26,53% dari keseluruhan *downtime* alat. Tingginya *downtime* tersebut menunjukkan bahwa kegagalan komponen sistem kelistrikan masih menjadi faktor utama yang mempengaruhi keandalan dan ketersediaan loader underground.

Sistem kelistrikan terdiri dari beberapa komponen penting seperti *sensor*, *wiring harness*, *battery*, *alternator*, dan *starting motor*. Kegagalan komponen-komponen tersebut dapat menyebabkan gangguan operasi alat dan meningkatkan *unplanned downtime*. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan keandalan komponen adalah *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang didukung oleh *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi komponen kritis dan menentukan strategi pemeliharaan yang sesuai [3][4]. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi *failure mode* komponen kritis sistem kelistrikan loader underground, menentukan strategi pemeliharaan menggunakan metode RCM, serta mengevaluasi pengaruh implementasinya terhadap *unplanned downtime* di PT. X.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada sistem kelistrikan (*electrical system*) loader underground di PT. X yang terdiri dari *sensor*, *wiring harness*, *battery*, *alternator*, dan *starting motor*. Data yang digunakan merupakan data primer yang diperoleh dari departemen maintenance PT. X, meliputi data *unplanned downtime*, frekuensi kerusakan komponen, *operating hour*, dan data hasil implementasi pemeliharaan. Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Penelitian

Reliability Centered Maintenance (RCM)

Metode RCM digunakan untuk menentukan strategi pemeliharaan yang paling efektif berdasarkan fungsi komponen, *failure mode*, konsekuensi kegagalan, dan karakteristik kerusakan [5]. RCM dilakukan untuk mengetahui tingkat keandalan komponen sistem kelistrikan berdasarkan data historis kerusakan dan menghitungnya dengan parameter yang meliputi *Mean Time To Repair* (MTTR), *Mean Time To Failure* (MTTF), dan *failure rate* (λ) [6][7].

Laju kegagalan (λ)

Laju kegagalan (*failure rate*) menyatakan frekuensi terjadinya kegagalan suatu komponen atau sistem dalam satuan waktu tertentu dan dilambangkan dengan simbol λ (lambda). Secara matematis, laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{N_f}{T} \quad (1)$$

dengan :

λ = laju kegagalan
 N_f = jumlah kegagalan
 T = total waktu operasi

Mean Time to Failure (MTTF)

Merupakan rata-rata waktu operasi suatu komponen atau sistem hingga terjadi kegagalan. Parameter ini digunakan untuk menggambarkan tingkat keandalan sistem. MTTF dapat dihitung dengan persamaan berikut [8]:

$$MTTF = \frac{T}{N_f} \quad (2)$$

atau, untuk sistem dengan laju kegagalan konstan :

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

Mean Time to Repair (MTTR)

Merupakan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan setelah terjadi kegagalan hingga sistem kembali beroperasi normal. MTTR dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [9]:

$$MTTR = \frac{T_r}{N_f} \quad (4)$$

dengan:

MTTR = *Mean Time to Repair*
 T_r = total waktu perbaikan
 N_f = jumlah kegagalan

Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Metode FMEA digunakan untuk mengidentifikasi *failure mode*, penyebab kegagalan, serta dampak yang ditimbulkan pada setiap komponen. Tingkat kritikalitas komponen ditentukan berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang diperoleh dari perkalian nilai *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) [10].

$$RPN = S \times O \times D \quad (5)$$

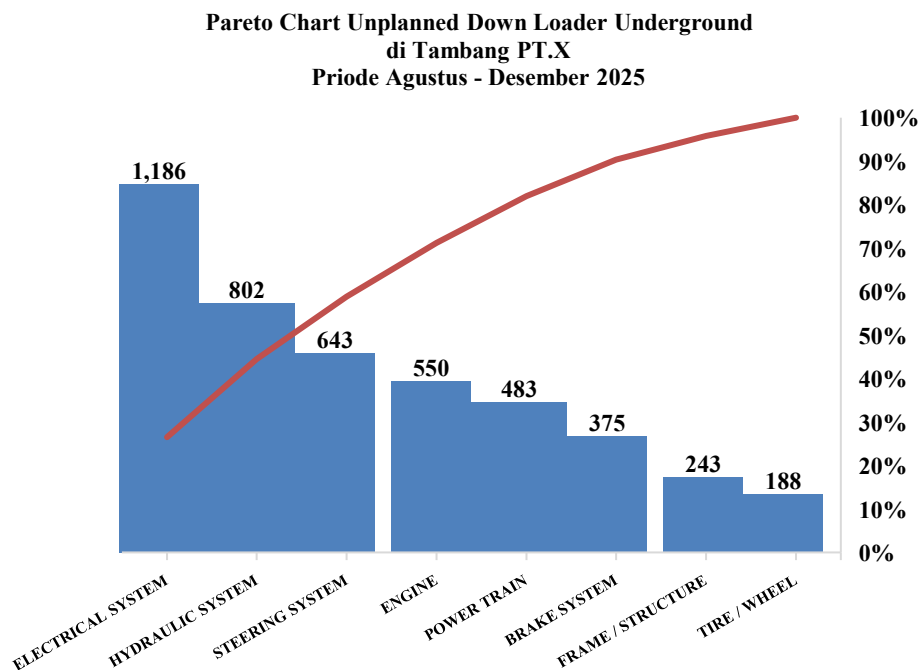
Evaluasi Implementasi

Efektivitas penerapan RCM dievaluasi dengan membandingkan frekuensi kerusakan, *unplanned downtime*, dan parameter keandalan sebelum dan sesudah implementasi. Hasil perbandingan digunakan untuk menilai pengaruh strategi pemeliharaan berbasis RCM terhadap peningkatan keandalan sistem kelistrikan loader underground.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Sistem Kritis Menggunakan Analisis Pareto

Analisis Pareto dilakukan untuk mengidentifikasi sistem yang memberikan kontribusi terbesar terhadap *unplanned downtime* loader underground. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem kelistrikan (*electrical system*) merupakan sistem dengan tingkat *downtime* tertinggi dibandingkan sistem lainnya. Berdasarkan data *unplanned downtime* periode Agustus–Desember 2025, sistem kelistrikan mencatat total *downtime* sebesar 1.186 jam atau 26,53% dari total *unplanned downtime* loader underground. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan sistem hidrolik, steering system, engine, *power train*, *brake system*, *frame/structure*, dan *tire/wheel*. Oleh karena itu, sistem kelistrikan dipilih sebagai fokus penelitian karena memiliki pengaruh paling signifikan terhadap ketersediaan alat.

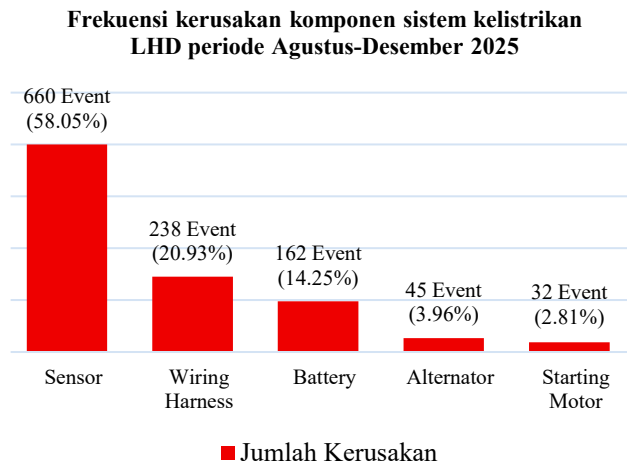


Gambar 2. Pareto Chart *Unplanned Downtime Loader Underground* di Tambang PT. X periode Agustus-Desember 2025 (Sumber: Data *Unplanned Downtime* PT. X, 2025)

Hasil analisis Pareto menunjukkan bahwa peningkatan keandalan sistem kelistrikan berpotensi memberikan dampak signifikan terhadap penurunan *unplanned downtime* loader underground secara keseluruhan.

Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Analisis FMEA dilakukan untuk mengidentifikasi *failure mode*, penyebab kegagalan, dampak kegagalan, serta menentukan tingkat kritikalitas masing-masing komponen melalui nilai *Risk Priority Number* (RPN). Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat lima komponen utama yang paling dominan mengalami kegagalan pada sistem kelistrikan, yaitu *sensor*, *wiring harness*, *battery*, *alternator*, dan *starting motor*. Frekuensi kerusakan masing-masing komponen ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Frekuensi Kerusakan Komponen Sistem Kelistrikan
(Sumber: Data diolah)

Berdasarkan hasil perhitungan RPN, *sensor* memiliki nilai tertinggi yaitu 640 sehingga menjadi komponen paling kritis. Tingginya nilai RPN *sensor* menunjukkan bahwa kegagalan komponen tersebut memiliki frekuensi kejadian yang tinggi, sulit dideteksi sebelum terjadi kegagalan, serta berdampak langsung terhadap kinerja sistem kelistrikan.

Tabel 1. Analisis FMEA dan Hasil Perhitungan RPN

Komponen	Mode Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Dampak Kegagalan	Metode Deteksi	S	O	D	RPN
<i>Sensor</i>	<i>Sensor</i> gagal membaca parameter	Debu, kelembaban, dan vibrasi	Sistem <i>monitoring</i> terganggu dan unit mengalami <i>derating</i>	<i>Monitoring fault code</i> dan pemeriksaan visual	8	10	8	640
<i>Wiring Harness</i>	Kabel putus atau <i>short circuit</i>	Vibrasi, kerusakan isolasi kabel, dan konektor longgar	Sistem kontrol elektronik terganggu dan unit <i>shutdown</i>	Pemeriksaan kontinuitas kabel dan inspeksi visual	7	8	8	448
<i>Battery</i>	Tegangan <i>battery drop</i>	Korosi terminal dan penurunan kapasitas <i>battery</i>	Unit gagal <i>starting</i>	Pengukuran tegangan <i>battery</i>	7	7	5	245
<i>Alternator</i>	Sistem charging abnormal	Kerusakan rotor, stator, dan belt <i>alternator</i>	<i>Battery</i> tidak terisi optimal	Pengukuran output charging	8	4	6	192
<i>Starting Motor</i>	Starter gagal bekerja	Brush aus dan <i>overheating</i>	Engine tidak dapat hidup	Pemeriksaan arus starter dan inspeksi visual	9	3	5	135

Berdasarkan hasil tersebut, *sensor* menjadi prioritas utama dalam penyusunan strategi pemeliharaan menggunakan metode RCM.

Penentuan Strategi Pemeliharaan Menggunakan RCM

Analisis RCM dilakukan menggunakan RCM *Decision Worksheet* untuk menentukan strategi pemeliharaan yang paling sesuai berdasarkan karakteristik kegagalan dan konsekuensi operasional masing-masing komponen. Hasil analisis menunjukkan bahwa *sensor* dan *alternator* direkomendasikan menggunakan *Scheduled On-Condition Task* karena keagalannya masih dapat dideteksi melalui pemantauan kondisi komponen sebelum terjadi *functional failure*. Sementara itu, *wiring harness* dan *starting motor*

direkomendasikan menggunakan *Scheduled Restoration Task* melalui inspeksi dan pemulihan kondisi komponen secara berkala. Untuk *battery*, strategi yang dipilih adalah *Scheduled Discard Task* karena penurunan performanya berkaitan dengan umur pakai komponen.

Tabel 2. Rekomendasi strategi pemeliharaan berdasarkan RCM

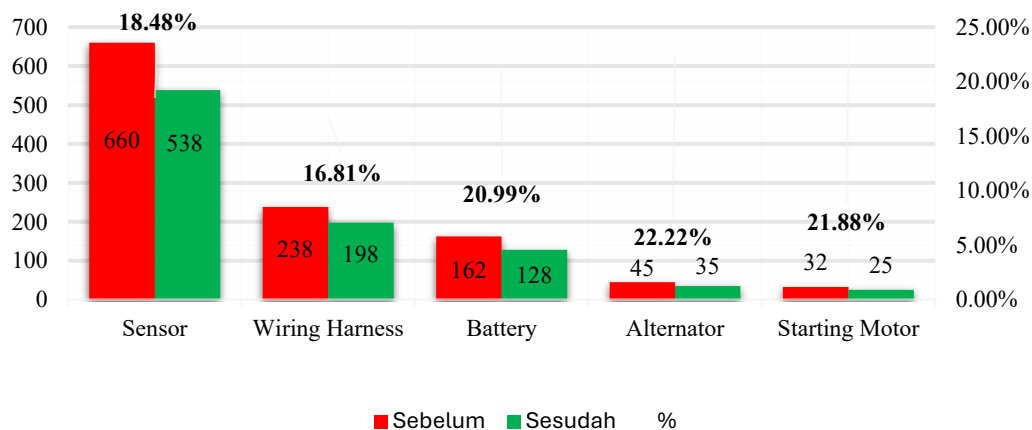
Komponen	Maintenance Task	Interval
<i>Sensor</i>	<i>Scheduled On-Condition Task</i>	250 jam
<i>Wiring Harness</i>	<i>Scheduled Restoration Task</i>	500 jam
<i>Battery</i>	<i>Scheduled Discard Task</i>	1000 jam
<i>Alternator</i>	<i>Scheduled On-Condition Task</i>	500 jam
<i>Starting Motor</i>	<i>Scheduled Restoration Task</i>	750 jam

Penentuan interval pemeliharaan dilakukan berdasarkan hasil analisis RCM yang mempertimbangkan data historis kerusakan, tingkat kritikalitas komponen berdasarkan FMEA, konsekuensi operasional kegagalan, serta kesesuaian dengan program pemeliharaan yang diterapkan perusahaan.

Evaluasi Keandalan dan Dampak Implementasi RCM

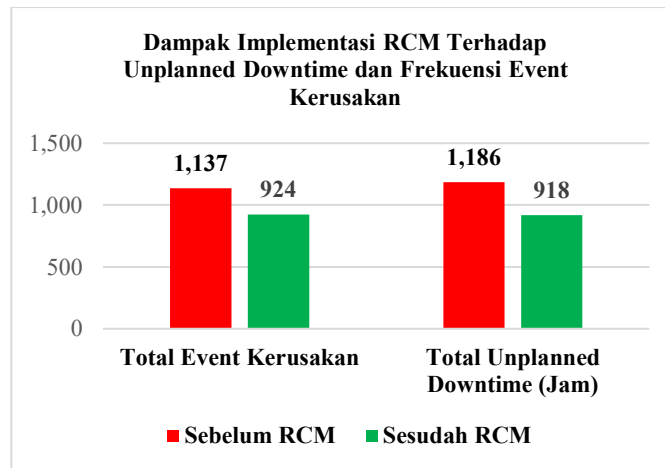
Evaluasi efektivitas RCM dilakukan dengan membandingkan frekuensi kerusakan, *failure rate*, MTTF, dan *reliability* sebelum dan sesudah implementasi. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa total frekuensi kerusakan komponen sistem kelistrikan menurun dari 1.137 kejadian menjadi 924 kejadian atau sebesar 18,73%. Penurunan tersebut terjadi pada seluruh komponen kritis sehingga menunjukkan bahwa strategi pemeliharaan yang diterapkan mampu mengurangi tingkat kegagalan komponen. Selain itu, total *unplanned downtime* sistem kelistrikan mengalami penurunan dari 1.186 jam menjadi 918 jam atau sebesar 22,60%. Penurunan *downtime* menunjukkan bahwa implementasi strategi pemeliharaan berbasis RCM mampu meningkatkan ketersediaan alat dan mengurangi gangguan operasi loader underground.

Perbandingan Jumlah Kerusakan Komponen Sistem Kelistrikan Loader Underground PT. X Sebelum dan Sesudah RCM



Gambar 4. Perbandingan Sebelum dan Sesudah Implementasi RCM
(Sumber: Data diolah)

Hasil analisis keandalan juga menunjukkan peningkatan nilai MTTF dan *reliability* pada seluruh komponen setelah implementasi RCM. Peningkatan tersebut mengindikasikan bahwa interval waktu antar kerusakan menjadi lebih panjang sehingga keandalan sistem kelistrikan loader underground mengalami peningkatan.



Gambar 5. Dampak Implementasi RCM terhadap sistem kelistrikan LHD
(Sumber: Data diolah)

Gambar 5. menunjukkan bahwa penerapan *Reliability Centered Maintenance* tidak hanya menurunkan frekuensi kerusakan, tetapi juga mampu menurunkan *unplanned downtime* secara keseluruhan melalui penerapan strategi pemeliharaan yang lebih terstruktur dan sesuai dengan karakteristik kegagalan komponen.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen kritis pada sistem kelistrikan loader underground terdiri dari *sensor*, *wiring harness*, *battery*, *alternator*, dan *starting motor*. Berdasarkan analisis FMEA, *sensor* merupakan komponen paling kritis dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sebesar 640. Analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM) menghasilkan rekomendasi strategi pemeliharaan berupa *Scheduled On-Condition Task* untuk *sensor* dan *alternator*, *Scheduled Restoration Task* untuk *wiring harness* dan *starting motor*, serta *Scheduled Discard Task* untuk *battery* dengan interval pemeliharaan 250–1000 jam operasi. Hasil evaluasi implementasi menunjukkan bahwa frekuensi kerusakan menurun dari 1.137 menjadi 924 kejadian atau sebesar 18,73%, sedangkan *unplanned downtime* berkurang dari 1.186 jam menjadi 918 jam atau sebesar 22,60%. Selain itu, nilai MTTF seluruh komponen mengalami peningkatan. Dengan demikian, penerapan metode RCM terbukti efektif dalam meningkatkan keandalan sistem kelistrikan serta menurunkan frekuensi kerusakan dan *unplanned downtime* loader underground di PT. X.

REFERENSI

- [1] S. S. W. Putra and B. D. Rahmawati, "Raw Mill Machine Effectiveness Measurement through the Total Productive Maintenance (TPM) Implementation," *OPSI*, vol. 15, no. 2, p. 153, Dec. 2022, doi: 10.31315/OPSI.V15I1.7729.
- [2] B. Jakkula, G. R. Mandela, and A. K. Tripathi, "Effective Maintenance Planning for Improving the Reliability of Underground Mining Equipment—A Case Study," *Journal of Engineering Management and Systems Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 257–268, Dec. 2025, doi: 10.56578/JEMSE040403.
- [3] John. Moubray, "Reliability-centered maintenance," p. 423, 1997.
- [4] M. Rausand, "Reliability centered maintenance," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 60, no. 2, pp. 121–132, May 1998, doi: 10.1016/S0951-8320(98)83005-6.
- [5] A. S. Margana, W. S. Ayu, and E. I. Khoirunnisaa, "Maintenance System Analysis Using the Reliability Centered Maintenance Method with the Help of Failure Mode Effect Analysis on the Air Handling Unit G4," *Jurnal Mekanik Terapan*, vol. 5, no. 1, pp. 16–24, Apr. 2024, doi: 10.32722/jmt.v5i1.6299.
- [6] C. E. . Ebeling, "An introduction to reliability and maintainability engineering," p. 658, 2019.
- [7] I. Luluk Kusminah, A. Nadia Rachmat, and D. Ayu Nurjanah, "Optimizing Small Excavator Maintenance Activity Planning Using the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Method II," 2024.
- [8] B. S. . Dhillon, "Reliability, maintainability, and safety for engineers," p. 218, 2020.
- [9] B. S. . Blanchard and W. J. . Fabrycky, "Systems engineering and analysis," 2014.
- [10] J. West *et al.*, "Failure Mode and Effect Analysis : Fmea from Theory to Execution , 455 pages ,," 2012.