Mutiara: Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah
Volume 4, Nomor 4, Agustus 2026
e-ISSN: 2988-3148; p-ISSN: 2988-313X, Hal. 128-148
DOI: https://doi.org/10.59059/mutiara.v4i4.3519
Tersedia: https://journal.staiypiqbaubau.ac.id/index.php/Mutiara

Peningkatan Efektivitas Perawatan Point Machine di Stasiun Labakkang Lintas Mandai–Garongkong

Yunanda Raharjanto[1*], Wisnu Wardan Kusuma[2], Muhammad Isnu Bilhalal[3]
[1] Program Studi Pemasaran Inovasi dan Teknologi, Politeknik Transportasi Darat Indonesia-STTD, Indonesia
[2,3] Program Studi Manajemen Transportasi Jalan, Politeknik Transportasi Darat Indonesia-STTD, Indonesia
[*]*Penulis Korespondensi: yunanda.r@ptdisttd.ac.id[1]*

Abstract. *The reliability of point machines is essential to ensure the safety, continuity, and operational readiness of railway services. This study aims to identify the most critical point machine and determine an effective preventive maintenance interval at Labakkang Station on the Mandai–Garongkong railway line. A quantitative reliability analysis was conducted using operational facility data logger records collected from 15 February 2023 to 8 May 2024. Critical equipment was identified using ABC/Pareto analysis, followed by evaluation of Time Between Failure (TBF), Time To Repair (TTR), Mean Time Between Failure (MTBF), Mean Time To Repair (MTTR), reliability, availability, and maintainability. Statistical distribution fitting was performed using Minitab. The results show that point machines accounted for the highest proportion of operational facility failures, with 24 events or 42% of 57 recorded failures. Point machine W11/31A was identified as the most critical unit, with six failures or approximately 33% of all point machine failures. TBF data were best represented by a Weibull distribution with a shape parameter of 0.819918 and a scale parameter of 22,146.8 minutes, producing an MTBF of 24,535.288 minutes or approximately 17 days. The evaluated reliability was 33.7%. TTR data followed a lognormal distribution, resulting in an MTTR of 5.1677 minutes. The optimal preventive maintenance interval was determined to be 25 days, yielding 99.77% availability, while maintainability reached 100% within 30 minutes. These findings support data-driven preventive maintenance focused on inspection, adjustment, mechanical movement, and position-detection performance to improve the reliability and availability of point machine W11/31A under actual railway operating conditions.*

Keywords: *Availability; Point Machine; Preventive Maintenance; Reliability; Railway Maintenance.*

Abstrak. Keandalan *point machine* merupakan aspek penting dalam menjamin keselamatan, kelancaran, dan kesiapan operasional perjalanan kereta api. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi *point machine* yang paling kritis serta menentukan interval pemeliharaan preventif yang efektif di Stasiun Labakkang pada lintas Mandai–Garongkong. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif melalui analisis keandalan berdasarkan data *logger* fasilitas operasi yang dikumpulkan pada periode 15 Februari 2023 hingga 8 Mei 2024. Peralatan kritis diidentifikasi menggunakan analisis ABC/Pareto, kemudian dilanjutkan dengan evaluasi *Time Between Failure* (TBF), *Time To Repair* (TTR), *Mean Time Between Failure* (MTBF), *Mean Time To Repair* (MTTR), *reliability*, *availability*, dan *maintainability*. Pemodelan distribusi statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak Minitab. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *point machine* memiliki proporsi gangguan tertinggi, yaitu 24 kejadian atau 42% dari 57 gangguan fasilitas operasi. *Point machine* W11/31A teridentifikasi sebagai unit paling kritis dengan enam gangguan atau sekitar 33% dari keseluruhan gangguan *point machine*. Data TBF paling sesuai dengan distribusi Weibull dengan parameter bentuk 0,819918 dan parameter skala 22.146,8 menit, menghasilkan MTBF sebesar 24.535,288 menit atau sekitar 17 hari. Nilai *reliability* yang diperoleh sebesar 33,7%. Data TTR mengikuti distribusi lognormal dengan MTTR sebesar 5,1677 menit. Interval pemeliharaan preventif optimal ditetapkan selama 25 hari, dengan nilai *availability* sebesar 99,77%, sedangkan *maintainability* mencapai 100% dalam waktu 30 menit. Temuan ini mendukung penerapan pemeliharaan preventif berbasis data yang berfokus pada inspeksi, penyetelan, mekanisme pergerakan, dan sistem deteksi posisi untuk meningkatkan keandalan dan ketersediaan *point machine* W11/31A dalam kondisi operasional aktual perkeretaapian.

Kata Kunci: *Availability*; Pemeliharaan Kereta Api; Pemeliharaan Preventif; *Point Machine*; *Reliability*.

1. LATAR BELAKANG

Transportasi perkeretaapian berperan strategis dalam mendukung mobilitas masyarakat, konektivitas antarwilayah, dan pertumbuhan ekonomi. Keamanan, keandalan, dan efisiensi operasi dipengaruhi oleh kesiapan prasarana serta pemeliharaan fasilitas operasi. Gangguan pada fasilitas dapat menyebabkan *downtime* dan mengganggu kelancaran perjalanan, sehingga

Naskah Masuk: 22 Juni 2026; Revisi: 31 Juli 2026; Diterima: 25 Agustus 2026; Terbit: 30 Agustus 2026

diperlukan strategi pemeliharaan berdasarkan karakteristik kegagalan dan kondisi aktual peralatan. Lintas Makassar–Parepare merupakan bagian dari pengembangan jaringan Trans Sulawesi dengan uji coba pengoperasian di Sulawesi Selatan sejak 29 Oktober 2022. Lintas ini melayani 10 stasiun, yaitu Mandai, Maros, Rammang-Rammang, Pangkajene, Labakkang, Ma'rang, Mandalle, Tanete Rilau, Barru, dan Garongkong. Salah satu stasiun tersebut adalah Stasiun Labakkang di Desa Kassi Loe, Kecamatan Labakkang, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan, yang memiliki tiga jalur dan fasilitas operasi untuk mendukung perjalanan kereta api. Salah satu fasilitas penting dalam pengaturan rute adalah *point machine*, yang berfungsi menggerakkan dan mengunci wesel sesuai rute perjalanan. Kegagalan *point machine* dapat menyebabkan wesel tidak berpindah atau tidak terkunci secara sempurna sehingga berpotensi menghambat perjalanan dan meningkatkan gangguan operasional. Berdasarkan data *data logger* Stasiun Labakkang periode Februari 2023 hingga Mei 2024, tercatat 57 gangguan fasilitas operasi, dengan 42% berasal dari *point machine*. Proporsi tersebut menunjukkan bahwa *point machine* perlu menjadi perhatian dalam evaluasi kinerja dan strategi pemeliharaan.

Pemeliharaan *point machine* di Stasiun Labakkang dilakukan secara berkala satu kali dalam sebulan. Namun, interval yang seragam belum tentu mencerminkan karakteristik kegagalan setiap komponen. Perbedaan beban kerja, kondisi lingkungan, tingkat keausan, dan pola kerusakan dapat menyebabkan kebutuhan pemeliharaan yang berbeda. Oleh karena itu, data historis gangguan perlu dianalisis untuk menentukan interval pemeliharaan yang lebih terukur dan sesuai dengan karakteristik kegagalan aktual. Sejumlah penelitian telah mengembangkan pendekatan berbasis data untuk meningkatkan keandalan *point machine*. (Sun et al., 2023) menggunakan sinyal getaran untuk pemantauan kondisi dan diagnosis gangguan *point machine*. (Reetz et al., 2024) mengembangkan sistem diagnosis berbasis *expert system* dengan jaringan Bayesian dan data operasional. (Rachman et al., 2024) menganalisis *railroad switch machine* menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk mengidentifikasi komponen kritis dan mendukung strategi pemeliharaan. (Inaba et al., 2024) membandingkan data inspeksi berkala dengan pemantauan kondisi *point machine*, sedangkan (Jiang et al., 2025) mengembangkan kerangka pemeliharaan prediktif berbasis kondisi melalui integrasi pemantauan kondisi, diagnosis gangguan, dan keputusan pemeliharaan.

Meskipun penelitian terdahulu telah membahas diagnosis, pemantauan kondisi, dan strategi pemeliharaan *point machine*, masih terdapat kebutuhan untuk mengintegrasikan identifikasi komponen kritis, analisis *reliability*, penentuan interval pemeliharaan, serta evaluasi *availability* dan *maintainability* berdasarkan data gangguan aktual di Stasiun

Labakkang. Pendekatan tersebut dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kinerja pemeliharaan dan kemampuan peralatan dalam mempertahankan fungsi serta dipulihkan setelah mengalami kegagalan. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan mengoptimalkan pemeliharaan *point machine* di Stasiun Labakkang Lintas Mandai–Garongkong melalui identifikasi komponen kritis, analisis *reliability*, penentuan interval pemeliharaan optimal, serta evaluasi *availability* dan *maintainability*. Hasil penelitian diharapkan menghasilkan rekomendasi teknis berbasis data untuk meningkatkan efektivitas pemeliharaan, mempertahankan keandalan fasilitas operasi, dan mendukung keselamatan serta kelancaran operasional kereta api.

2. KAJIAN TEORITIS

Point Machine pada Sistem Persinyalan Perkeretaapian

Point machine merupakan perangkat aktuator persinyalan yang berfungsi menggerakkan dan mengunci lidah wesel sesuai rute perjalanan kereta. Keandalannya berpengaruh terhadap keselamatan dan ketersediaan operasi karena kegagalan dapat menyebabkan wesel tidak mencapai posisi yang dipersyaratkan. Sebagai sistem elektromekanis, point machine memiliki mekanisme penggerak, deteksi, dan penguncian yang dapat mengalami gangguan. (Hu et al., 2023) menempatkan point machine sebagai perangkat penting dalam sistem railway switching and crossing, sedangkan (Narges et al., 2022) menunjukkan bahwa kondisi dan modus kegagalannya dapat diidentifikasi melalui analisis sinyal arus motor. Oleh karena itu, pemeliharaan perlu mempertimbangkan pola dan frekuensi kegagalan.

Pemeliharaan *Point Machine*

Pemeliharaan merupakan aktivitas untuk mempertahankan atau mengembalikan peralatan agar berfungsi sesuai persyaratan. Pada point machine, kegiatan ini meliputi pemeriksaan, pengujian, penyetelan, pembersihan, pelumasan, penggantian komponen, dan perbaikan. Fixed interval maintenance memiliki keterbatasan apabila tidak mempertimbangkan kondisi dan karakteristik kegagalan aktual. (Hu et al., 2023) menunjukkan bahwa data kondisi point machine dapat mendukung diagnosis dan penentuan tindakan pemeliharaan, sedangkan (Hu et al., 2023) dan (Reetz et al., 2024) menekankan pemanfaatan condition monitoring serta data historis untuk mendukung diagnosis dan keputusan pemeliharaan. Dalam penelitian ini, data historis digunakan untuk menentukan interval pemeliharaan berdasarkan karakteristik keandalan peralatan.

Analisis ABC dan Pareto

Analisis ABC/Pareto digunakan untuk menentukan komponen prioritas berdasarkan kontribusi frekuensi kegagalannya. Pada data data logger Stasiun Labakkang periode Februari 2023–Mei 2024, tercatat 57 gangguan fasilitas operasi, dengan 24 gangguan atau 42% berasal dari point machine. Berdasarkan kontribusi tersebut, point machine ditetapkan sebagai komponen kritis untuk dianalisis lebih lanjut. Analisis ABC/Pareto selanjutnya digunakan untuk mengidentifikasi point machine dengan frekuensi gangguan tertinggi, yaitu W11/31A yang mengalami 6 gangguan atau sekitar 33% dari keseluruhan gangguan *point machine*. Hasil identifikasi ini menjadi dasar dalam analisis reliability, maintainability, dan penentuan interval pemeliharaan W11/31A.

Time Between Failure (TBF)

Distribusi *Weibull* merupakan salah satu distribusi probabilitas yang banyak digunakan dalam analisis keandalan dan karakteristik kegagalan peralatan. Distribusi ini memiliki fleksibilitas dalam merepresentasikan beberapa pola laju kegagalan melalui parameter bentuk (shape parameter, β) dan parameter skala *(scale parameter, θ atau η)*. Fungsi keandalan distribusi *Weibull* dapat dinyatakan sebagai:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} (Zhang\ et\ al., 2019)$$

dengan:

$R(t)$ = probabilitas peralatan masih berfungsi sampai waktu t

t = waktu operasi

θ = parameter skala

β = parameter bentuk

Distribusi Weibull digunakan untuk menganalisis pola kegagalan *point machine* berdasarkan data TBF. Nilai β<1 menunjukkan *decreasing failure rate*, β≈1 laju kegagalan konstan, dan β>1 *increasing failure rate*. (Tamehiro et al., 2024) menunjukkan penerapan Weibull dalam analisis kegagalan dan penentuan interval pemeliharaan. Dalam penelitian ini, Weibull menjadi model terbaik untuk TBF W11/31A dengan β=0,819918, sehingga digunakan sebagai dasar pemeliharaan preventif dan pemantauan kondisi.

Mean Time Between Failure (MTBF)

Mean Time Between Failure (MTBF) merupakan nilai rata-rata waktu operasi suatu peralatan di antara dua kejadian kegagalan. MTBF digunakan sebagai salah satu indikator kuantitatif untuk menggambarkan karakteristik keandalan peralatan yang dapat diperbaiki *(repairable system).* Secara sederhana, MTBF dapat dihitung dengan:

$$\text{MTBF} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \text{TBF}_i}{n}$$ (Djami et al., 2024)

Dengan (TBF_i) merupakan waktu antar kegagalan ke-(i), sedangkan (n) adalah jumlah interval kegagalan yang dianalisis. Nilai MTBF tidak hanya memberikan informasi mengenai rata-rata waktu operasi sebelum kegagalan, tetapi juga dapat digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi efektivitas strategi pemeliharaan. Semakin besar MTBF, semakin panjang rata-rata periode operasi tanpa kegagalan. Namun, dalam penerapannya, MTBF perlu dianalisis bersama fungsi distribusi kegagalan dan indikator lainnya karena nilai rata-rata saja belum menggambarkan perubahan risiko kegagalan terhadap waktu.

Reliability

Reliability atau keandalan merupakan probabilitas bahwa suatu peralatan mampu melaksanakan fungsi yang dipersyaratkan dalam kondisi operasi tertentu selama periode waktu tertentu tanpa mengalami kegagalan. Pada point machine, reliability menggambarkan probabilitas perangkat mampu melaksanakan fungsi penggerakan dan penguncian wesel sesuai persyaratan selama periode operasi yang ditentukan. Dalam pendekatan Weibull, fungsi reliability dinyatakan sebagai:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}}$$ (Rabhi et al., 2023)

Reliability merupakan indikator yang menunjukkan probabilitas point machine beroperasi tanpa mengalami kegagalan dalam interval waktu tertentu. Penurunan nilai reliability seiring bertambahnya waktu menunjukkan peningkatan probabilitas kegagalan, sehingga dapat menjadi dasar dalam menentukan intervensi pemeliharaan. (Hu et al., 2023) menekankan pentingnya condition monitoring, deteksi anomali, dan diagnosis kegagalan dalam mendukung keandalan point machine. Dalam penelitian ini, reliability digunakan untuk mengevaluasi tingkat keandalan W11/31A berdasarkan karakteristik kegagalannya.

***Time to Repair* (TTR) dan *Mean Time to Repair* (MTTR)**

Time to Repair (TTR) merupakan waktu yang diperlukan untuk mengembalikan peralatan yang mengalami kegagalan ke kondisi operasional. TTR mencakup aktivitas sejak dimulainya proses perbaikan sampai peralatan dinyatakan kembali dapat beroperasi sesuai fungsi yang dipersyaratkan. Sementara itu, *Mean Time to Repair* (MTTR) merupakan rata-rata waktu perbaikan dari sejumlah kejadian kegagalan dan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{MTTR} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \text{TTR}_i}{n}$$ (Kristjanpoller et al., 2016)

MTTR merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan *point machine* untuk dipulihkan setelah mengalami kegagalan. Nilai MTTR yang rendah menunjukkan proses

pemulihan berlangsung relatif cepat, sedangkan nilai yang tinggi dapat mengindikasikan perlunya evaluasi terhadap diagnosis, ketersediaan suku cadang, kompetensi teknisi, akses peralatan, dan prosedur perbaikan. (Zhang et al., 2019) menunjukkan bahwa informasi kondisi *point machine* melalui sinyal arus dapat digunakan untuk membedakan kondisi operasi dan mendukung penentuan aktivitas pemeliharaan yang sesuai. Dengan demikian, analisis MTTR dapat dilengkapi dengan informasi diagnostik untuk mendukung efektivitas proses pemulihan dan pemeliharaan.

Penentuan Interval Pemeliharaan

Interval pemeliharaan merupakan periode antara dua aktivitas pemeliharaan yang direncanakan. Penentuannya perlu mempertimbangkan karakteristik kegagalan, reliability, risiko kegagalan, waktu perbaikan, dan kebutuhan operasional agar pemeliharaan tidak dilakukan terlalu sering maupun terlambat. (Tamehiro et al., 2024) menunjukkan bahwa model *Weibull* dapat digunakan untuk mengevaluasi perubahan risiko kegagalan terhadap waktu dan keterkaitannya dengan siklus inspeksi point machine. Dalam penelitian ini, interval pemeliharaan ditentukan berdasarkan karakteristik distribusi kegagalan dan tingkat reliability, kemudian dievaluasi melalui indikator downtime dan availability.

Availability

Availability merupakan probabilitas atau kemampuan suatu peralatan untuk berada dalam kondisi operasional dan dapat menjalankan fungsi yang dipersyaratkan pada saat dibutuhkan. *Availability* dipengaruhi oleh frekuensi kegagalan dan kemampuan sistem untuk dipulihkan setelah mengalami kegagalan. Untuk sistem yang dapat diperbaiki, *inherent availability* secara umum dapat direpresentasikan dengan:

$$A = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF+MTTR}} \quad \text{(Kristjanpoller et al., 2016)}$$

Availability menunjukkan kemampuan point machine untuk beroperasi saat dibutuhkan dan dipengaruhi oleh MTBF serta MTTR. (Reetz et al., 2024) menegaskan pentingnya point machine terhadap keandalan dan keselamatan infrastruktur. Dalam penelitian ini, availability digunakan untuk mengevaluasi dampak interval pemeliharaan terhadap kesiapan operasional point machine.

Maintainability

Maintainability merupakan probabilitas bahwa suatu peralatan yang mengalami kegagalan dapat dikembalikan ke kondisi operasional dalam waktu tertentu melalui prosedur pemeliharaan yang telah ditetapkan. Parameter ini berkaitan erat dengan karakteristik TTR dan

MTTR. Secara umum, untuk distribusi eksponensial terhadap waktu perbaikan, maintainability dapat dinyatakan sebagai :

$$M(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\text{MTTR}}} \quad \text{(Kumar et al., 2022)}$$

$M(t)$ = probabilitas perbaikan selesai dilakukan dalam waktu t *(maintainability)*

t = waktu perbaikan yang dialokasikan

MTTR = Mean Time To Repair (rata-rata waktu perbaikan)

Maintainability memiliki arti penting dalam pengelolaan point machine karena keberhasilan pemeliharaan tidak hanya ditentukan oleh kemampuan mencegah kegagalan, tetapi juga oleh kemampuan teknisi untuk melakukan diagnosis dan pemulihan secara cepat ketika kegagalan terjadi. (Reetz et al., 2024) menunjukkan bahwa sistem diagnosis yang mampu mengidentifikasi akar penyebab gangguan secara terstruktur dapat memberikan dukungan langsung bagi teknisi dalam menentukan tindakan pemeliharaan.

***Integrasi* Parameter Keandalan dalam Optimasi Pemeliharaan**

Optimasi pemeliharaan *point machine* dilakukan melalui integrasi frekuensi kegagalan, TBF, distribusi Weibull, MTBF, *reliability*, TTR, MTTR, *availability*, dan *maintainability*. Frekuensi kegagalan digunakan untuk menentukan komponen kritis, TBF dan Weibull untuk menganalisis pola kegagalan, sedangkan MTBF dan *reliability* mengevaluasi keandalan operasi. TTR dan MTTR menilai kemampuan pemulihan, sementara MTBF dan MTTR menjadi dasar evaluasi *availability*. Pendekatan ini sejalan dengan (Hu et al., 2023) mengenai *condition monitoring* dan deteksi kegagalan serta (Tamehiro et al., 2024) mengenai penggunaan Weibull dalam analisis risiko kegagalan dan siklus inspeksi. Dalam penelitian ini, seluruh indikator tersebut diintegrasikan sebagai dasar penentuan interval pemeliharaan berdasarkan karakteristik kegagalan aktual *point machine*.

3. METODE PENELITIAN

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis keandalan (*reliability analysis*) untuk mengevaluasi kinerja pemeliharaan *point machine* pada sistem persinyalan di Stasiun Labakkang, lintas Mandai–Garongkong. Pendekatan kuantitatif digunakan karena analisis didasarkan pada data historis kegagalan (*failure data*), waktu antar kegagalan (*Time Between Failure/TBF*), serta waktu perbaikan (*Time To Repair/TTR*). Tahapan penelitian dirancang untuk mengidentifikasi peralatan yang memiliki kontribusi kegagalan paling besar, menentukan pola distribusi waktu kegagalan, menghitung parameter keandalan

dan kemampuan pemulihan, serta menentukan interval pemeliharaan yang optimal. Hasil analisis selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi pengaruh interval pemeliharaan terhadap *downtime* dan *availability* point machine.

Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Stasiun Labakkang, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan, Sulawesi Selatan, pada lintas Mandai–Garongkong. Objek penelitian adalah point machine tipe *Veostalpine UNISTAR HR EM* yang terdiri atas unit Master dan Slave serta berfungsi menggerakkan dan mengunci wesel pada sistem persinyalan. Data operasional dan kegagalan diperoleh dari data logger fasilitas persinyalan. Data historis tersebut dianalisis berdasarkan jenis dan frekuensi kegagalan untuk menentukan komponen dengan tingkat kritikalitas tertinggi, yang selanjutnya dipilih sebagai objek analisis statistik.

Jenis dan Sumber Data

Data penelitian terdiri atas data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi kondisi, sistem kerja, dan kegiatan pemeliharaan *point machine*. Data sekunder diperoleh dari data logger dan dokumentasi pemeliharaan, meliputi waktu dan jenis kegagalan, identitas point machine, waktu perbaikan, frekuensi kegagalan, TBF, dan TTR. Selanjutnya, data diperiksa dan diolah untuk memastikan konsistensi waktu kejadian, perbaikan, dan status operasional point machine.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis sebagaimana ditunjukkan pada alur berikut: Pengumpulan Data → Identifikasi Kegagalan → Analisis ABC/Pareto → Penentuan Point Machine Kritis → Pengolahan TBF dan TTR → Uji Distribusi → Analisis Reliability dan MTBF → Analisis MTTR → Penentuan Interval Pemeliharaan → Evaluasi Availability dan Maintainability → Rekomendasi Pemeliharaan. Tahapan tersebut dirancang agar proses penentuan interval pemeliharaan didasarkan pada karakteristik kegagalan aktual point machine.

Identifikasi Komponen Kritis dengan Analisis ABC/Pareto

Tahap awal dilakukan dengan mengelompokkan seluruh kejadian kegagalan fasilitas berdasarkan jenis fasilitas dan frekuensi kejadiannya. Selanjutnya, setiap jenis fasilitas diurutkan berdasarkan jumlah kegagalan dari nilai terbesar hingga terkecil. Persentase kontribusi masing-masing fasilitas dihitung menggunakan persamaan:

$$P_i = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i} \times 100\%$$ (Knights, 2001)

dengan:

(P_i) = persentase kegagalan fasilitas ke-(i);

(F_i) = jumlah kegagalan fasilitas ke-(i);

$(\sum F_i)$= total seluruh kegagalan fasilitas.

Selanjutnya dihitung persentase kumulatif untuk menentukan kelompok fasilitas berdasarkan prinsip ABC/Pareto. Fasilitas dengan kontribusi kegagalan terbesar ditetapkan sebagai objek prioritas untuk analisis keandalan. Berdasarkan hasil pengolahan data penelitian, *point machine* memberikan kontribusi kegagalan yang paling signifikan dibandingkan fasilitas lainnya sehingga ditetapkan sebagai objek utama dalam analisis selanjutnya.

Pengolahan *Time Between Failure* (TBF)

Data Time Between Failure diperoleh dari selisih waktu operasi antara dua kejadian kegagalan yang berurutan. TBF dihitung untuk setiap kejadian kegagalan point machine yang memenuhi kriteria data penelitian. Secara matematis, TBF dapat dinyatakan sebagai:

$$\text{TBF}_i = t_i - t_{i-1}$$ (Restel et al., 2021)

dengan:

(TBF_i) = waktu antar kegagalan ke-(i);

(t_i) = waktu terjadinya kegagalan ke-(i);

(t_{i-1}) = waktu terjadinya kegagalan sebelumnya.

Data TBF selanjutnya disusun secara kronologis dan digunakan sebagai input untuk menentukan distribusi probabilitas yang paling sesuai dengan karakteristik kegagalan point machine.

Pengujian Distribusi Data TBF

Pengujian distribusi dilakukan untuk menentukan model probabilitas yang paling sesuai dengan data TBF. Distribusi yang diuji meliputi Weibull, normal, lognormal, dan eksponensial. Pemilihan distribusi dilakukan menggunakan metode *Goodness of Fit* dengan mempertimbangkan nilai statistik pengujian dan tingkat kesesuaian distribusi terhadap data aktual. Dalam penelitian ini digunakan uji *Anderson-Darling* (AD) sebagai salah satu dasar pemilihan distribusi. Distribusi dengan tingkat kesesuaian terbaik digunakan sebagai dasar perhitungan reliability, MTBF, dan penentuan interval pemeliharaan.

Analisis Distribusi *Weibull*

Apabila distribusi Weibull memberikan tingkat kesesuaian terbaik, parameter distribusi ditentukan melalui shape parameter $((\beta))$ dan scale parameter $((\theta))$. Fungsi *reliability Weibull* dirumuskan sebagai:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}}$$

Sedangkan fungsi laju kegagalan *(failure rate)* dapat dinyatakan:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta}\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1}$$ (Tsarouhas & Arvanitoyannis, 2014)

Parameter (β) digunakan untuk mengidentifikasi pola perubahan laju kegagalan, sedangkan parameter (θ) menggambarkan karakteristik skala waktu kegagalan. Interpretasi nilai (β)digunakan untuk menentukan kecenderungan pola kegagalan point machine sehingga strategi pemeliharaan dapat disesuaikan dengan karakteristik kegagalannya.

Perhitungan *Mean Time Between Failure* (MTBF)

MTBF digunakan untuk mengetahui rata-rata waktu operasi point machine sebelum mengalami kegagalan. Perhitungan dilakukan berdasarkan data TBF yang telah diperoleh. Persamaan MTBF secara umum adalah:

$$\text{MTBF} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \text{TBF}_i}{n}$$

Nilai MTBF selanjutnya digunakan sebagai salah satu parameter dalam mengevaluasi tingkat keandalan dan availability point machine. Dalam penelitian ini, hasil pengolahan menunjukkan nilai MTBF sekitar 24.535,29 menit atau 408,92 jam, yang setara dengan sekitar 17 hari. Nilai tersebut digunakan sebagai salah satu dasar dalam evaluasi interval pemeliharaan.

Analisis *Reliability*

Analisis reliability dilakukan untuk mengetahui probabilitas *point machine* dapat beroperasi tanpa mengalami kegagalan sampai waktu tertentu. Berdasarkan distribusi Weibull, reliability dihitung menggunakan persamaan:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}}$$

Nilai reliability dihitung pada beberapa titik waktu operasi untuk mengetahui perubahan probabilitas keberlangsungan operasi point machine. Hasil analisis kemudian digunakan untuk menentukan periode pemeliharaan yang mampu mempertahankan tingkat keandalan peralatan.

Pengolahan *Time To Repair (TTR)*

TTR merupakan waktu yang diperlukan untuk mengembalikan *point machine* dari kondisi gagal menjadi kondisi operasional. Nilai TTR dihitung berdasarkan selisih antara waktu dimulainya proses perbaikan dan waktu *point machine* dinyatakan kembali beroperasi. Persamaan TTR adalah:

$$\text{TTR}_i = t_{\text{repair},i} - t_{\text{failure},i}$$

Data TTR selanjutnya dianalisis untuk mengetahui distribusi waktu perbaikan yang paling sesuai. Distribusi yang memiliki tingkat kesesuaian terbaik digunakan untuk menghitung MTTR dan maintainability.

Perhitungan Mean Time To Repair (MTTR)

MTTR digunakan untuk mengetahui rata-rata waktu yang diperlukan untuk memperbaiki point machine setelah terjadi kegagalan. Persamaan MTTR adalah:

$$\text{MTTR} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \text{TTR}_i}{n}$$

Nilai MTTR digunakan bersama MTBF untuk mengevaluasi availability point machine. Semakin kecil MTTR, semakin singkat waktu pemulihan peralatan sehingga potensi downtime dapat ditekan. Berdasarkan hasil pengolahan data penelitian, waktu perbaikan point machine relatif singkat dengan nilai MTTR sekitar 5 menit.

Penentuan Interval Pemeliharaan Optimal

Interval pemeliharaan ditentukan berdasarkan hasil analisis reliability, karakteristik distribusi kegagalan, downtime, dan availability. Beberapa alternatif interval dievaluasi untuk memperoleh waktu pemeliharaan yang mampu menjaga keandalan dengan downtime rendah serta tetap sesuai dengan kebutuhan operasional. Hasil analisis menunjukkan interval pemeliharaan optimal sebesar 25 hari, yang selanjutnya dibandingkan dengan pola pemeliharaan sebelumnya untuk mengevaluasi perubahan kinerja point machine.

Analisis *Availability*

Availability digunakan untuk mengetahui persentase waktu point machine berada dalam kondisi siap beroperasi. Secara umum, availability dapat dihitung menggunakan :

$$A = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \times 100\%$$

Selain menggunakan parameter MTBF dan MTTR, evaluasi availability dalam penelitian ini juga mempertimbangkan downtime pada interval pemeliharaan yang ditetapkan. Hasil analisis pada interval pemeliharaan 25 hari menunjukkan nilai downtime sebesar 0,002204 dengan availability sebesar 99,77%. Nilai tersebut digunakan untuk mengevaluasi efektivitas interval pemeliharaan yang diusulkan.

Analisis *Maintainability*

Maintainability digunakan untuk mengetahui probabilitas point machine dapat dikembalikan ke kondisi operasional dalam waktu perbaikan tertentu. Untuk distribusi waktu perbaikan eksponensial, fungsi maintainability dapat dinyatakan sebagai :

$$M(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\text{MTTR}}}$$

dengan:

(M(t)) = probabilitas peralatan selesai diperbaiki dalam waktu (t);

(t) = waktu yang tersedia untuk melakukan perbaikan;

(MTTR) = rata-rata waktu perbaikan.

Analisis maintainability digunakan untuk mengetahui kemampuan teknis proses pemulihan point machine setelah terjadi kegagalan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa probabilitas pemulihan mencapai 100% setelah waktu perbaikan 30 menit.

Evaluasi dan Penyusunan Rekomendasi

Tahap akhir dilakukan dengan membandingkan kondisi pemeliharaan yang berjalan dengan interval pemeliharaan hasil analisis. Perbandingan dilakukan berdasarkan indikator reliability, MTBF, MTTR, downtime, availability, dan maintainability. Hasil evaluasi digunakan untuk menyusun rekomendasi pemeliharaan point machine yang berbasis pada karakteristik kegagalan aktual. Rekomendasi diarahkan pada penerapan interval pemeliharaan yang dapat meningkatkan kesiapan operasional peralatan, mengurangi potensi downtime, serta mempertahankan tingkat keandalan *point machine*. Dengan pendekatan tersebut, metode penelitian tidak hanya menghasilkan nilai statistik keandalan, tetapi juga memberikan dasar kuantitatif dalam menentukan strategi pemeliharaan yang dapat diterapkan pada pengelolaan fasilitas persinyalan di Stasiun Labakkang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Fasilitas Kritis Berdasarkan Analisis ABC/Pareto

Berdasarkan data *data logger* fasilitas persinyalan Stasiun Labakkang periode 15 Februari 2023 sampai 8 Mei 2024, diperoleh 57 kejadian gangguan pada fasilitas operasi. Gangguan tersebut terdiri atas *point machine*, peraga sinyal, komunikasi, catu daya, dan *axle counter*. *Point machine* merupakan fasilitas dengan frekuensi gangguan tertinggi, yaitu 24 kejadian atau sebesar 42% dari keseluruhan gangguan. Selanjutnya, peraga sinyal mengalami 16 gangguan (28%), komunikasi 9 gangguan (16%), catu daya 6 gangguan (11%), dan *axle counter* 2 gangguan (4%).

Tabel 1. Distribusi Gangguan Fasilitas Operasi Stasiun Labakkang.

No.	Jenis Fasilitas	Frekuensi	Persentase	Persentase Kumulatif	Kategori
1	Point machine	24	42%	42%	A
2	Peraga sinyal	16	28%	70%	A
3	Komunikasi	9	16%	86%	B
4	Catu daya	6	11%	96%	C
5	Axle counter	2	4%	100%	C
	Total	57	100%		

Hasil klasifikasi ABC menunjukkan bahwa *point machine* termasuk kelompok fasilitas dengan tingkat prioritas tinggi. Kontribusi sebesar 42% menunjukkan bahwa hampir setengah dari seluruh gangguan fasilitas operasi pada periode pengamatan berasal dari sistem penggerak wesel tersebut. Secara teknis, kondisi ini penting karena *point machine* merupakan bagian dari sistem persinyalan yang berfungsi menggerakkan dan memastikan posisi wesel sesuai perintah sistem. Gangguan pada peralatan tersebut tidak hanya berpengaruh terhadap ketersediaan fasilitas, tetapi juga dapat menyebabkan proses perjalanan kereta harus menunggu sampai posisi wesel dapat dipastikan kembali. Dengan demikian, pemilihan *point machine* sebagai objek analisis keandalan memiliki dasar kuantitatif yang kuat. Analisis selanjutnya difokuskan pada identifikasi unit *point machine* yang memiliki kontribusi gangguan paling besar sehingga sumber daya pemeliharaan dapat diarahkan pada peralatan yang memiliki tingkat kritikalitas lebih tinggi.

Penentuan *Point Machine* Kritis

Setelah *point machine* ditetapkan sebagai fasilitas kritis, analisis dilanjutkan berdasarkan distribusi gangguan setiap unit. Hasil pengolahan menunjukkan W11/31A mengalami enam gangguan atau sekitar 33% dari keseluruhan gangguan *point machine*, sehingga dipilih sebagai objek analisis. Gangguan meliputi wesel terganjal pada posisi *normal* dan *reverse*, kegagalan kembali ke posisi semula, serta gangguan deteksi. Penanganan dilakukan dengan memutar *gear* menggunakan engkol untuk mengembalikan wesel ke kondisi operasional. Frekuensi gangguan tersebut menjadi dasar analisis lebih lanjut berdasarkan TBF dan karakteristik kegagalannya.

Tabel 2. Rekapitulasi Gangguan Point Machine W11/31A.

No.	Tanggal	Jenis Gangguan	Penanganan	TTR (menit)
1	08/02/2024	Terganjal di normal dan kembali ke reverse	Memutar gear dengan engkol	5
2	28/02/2024	Terganjal di reverse dan kembali ke normal	Memutar gear dengan engkol	63
3	29/02/2024	Gangguan deteksi	Memutar gear dengan engkol	64
4	08/03/2024	Terganjal di normal dan kembali ke posisi semula	Memutar gear dengan engkol	55
5	01/05/2024	Terganjal di reverse dan kembali ke posisi semula	Memutar gear dengan engkol	4
6	04/05/2024	Gangguan deteksi	Memutar gear dengan engkol	5

Karakteristik gangguan tersebut memperlihatkan bahwa permasalahan W11/31A lebih dominan pada aspek mekanisme pergerakan dan deteksi posisi wesel. Namun, berdasarkan data penelitian yang tersedia, penelitian ini belum melakukan pemeriksaan fisik atau pembongkaran komponen internal untuk menentukan akar penyebab mekanis secara spesifik. Oleh karena itu,

hasil penelitian digunakan untuk mengidentifikasi pola keandalan dan kebutuhan pemeliharaan, bukan untuk menetapkan penyebab kegagalan pada tingkat komponen internal.

Analisis Time Between Failure (TBF) dan Time To Repair (TTR)

Berdasarkan enam kejadian gangguan W11/31A, diperoleh data TTR sebesar 5, 6, 6, 5, 4, dan 5 menit. Sementara itu, TBF antar kejadian berturut-turut adalah 28.579, 1.573, 11.824, 77.482, dan 4.347 menit.

Tabel 3. Nilai TBF dan TTR Point Machine W11/31A.

No.	Tanggal	TTR (menit)	TBF (menit)
1	08/02/2024	5	–
2	28/02/2024	6	28.579
3	29/02/2024	6	1.573
4	08/03/2024	5	11.824
5	01/05/2024	4	77.482
6	04/05/2024	5	4.347

Nilai TBF menunjukkan variasi yang cukup besar. Nilai terendah sebesar 1.573 menit menunjukkan adanya dua gangguan dengan jarak waktu relatif pendek, sedangkan nilai tertinggi sebesar 77.482 menit menunjukkan periode operasi yang jauh lebih panjang tanpa gangguan. Variasi tersebut merupakan indikasi bahwa waktu terjadinya kegagalan tidak bersifat konstan. Secara teknis, variasi TBF tersebut menjadi alasan penggunaan pendekatan distribusi probabilitas. Apabila interval kegagalan relatif konstan, pendekatan sederhana berdasarkan nilai rata-rata dapat memberikan representasi yang memadai. Namun, rentang TBF yang cukup lebar menunjukkan bahwa nilai rata-rata saja belum cukup untuk menggambarkan perilaku kegagalan. Oleh karena itu, distribusi Weibull digunakan untuk merepresentasikan karakteristik probabilistik kegagalan W11/31A. Berbeda dengan TBF, nilai TTR menunjukkan rentang yang sempit, yaitu 4–6 menit. Kondisi ini menunjukkan bahwa waktu pemulihan gangguan relatif konsisten. Keseragaman TTR juga berkaitan dengan pola penanganan yang relatif sama, yaitu pengoperasian mekanisme gear menggunakan engkol. Dengan demikian, variasi utama kinerja W11/31A lebih terlihat pada waktu antar kegagalan dibandingkan waktu yang diperlukan untuk pemulihan.

Penentuan Distribusi TBF dan TTR

Pemilihan distribusi dilakukan menggunakan metode *Goodness of Fit* berdasarkan nilai adjusted Anderson-Darling. Distribusi dengan nilai Anderson-Darling paling kecil dipilih sebagai distribusi yang paling sesuai dengan data pengamatan. Empat distribusi dibandingkan, yaitu Weibull, normal, lognormal, dan eksponensial. Untuk data TTR, distribusi lognormal memberikan nilai Anderson-Darling terkecil sebesar 2,423. Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan distribusi normal sebesar 2,430, Weibull sebesar 2,460, dan eksponensial sebesar

3,676. Dengan demikian, distribusi lognormal digunakan untuk analisis MTTR dan maintainability.

Tabel 4. *Goodness of Fit* Data TTR & Fit Data TBF.

Distribusi	Anderson-Darling (adj.)	*Anderson-Darling (adj.)*
Weibull	2,460	2,435
Normal	2,430	2,741
Lognormal	2,423	2,440
Eksponensial	3,676	2,531

Hasil pengujian menunjukkan distribusi Weibull memiliki nilai *Anderson-Darling* terkecil, yaitu 2,435, dibandingkan lognormal 2,440, eksponensial 2,531, dan normal 2,741. Oleh karena itu, Weibull dipilih sebagai model probabilistik kegagalan W11/31A. Pemilihan ini memungkinkan karakteristik laju kegagalan dianalisis melalui parameter bentuk (β), sehingga dapat menggambarkan kecenderungan perilaku kegagalan terhadap waktu.

Analisis Parameter Weibull dan Mean Time Between Failure

Hasil estimasi parameter distribusi *Weibull* untuk data TBF menghasilkan scale parameter (θ) sebesar 22.146,8 menit dan shape parameter (β) sebesar 0,819918.

Tabel 5. Parameter Distribusi *Weibull* TBF.

Parameter	Nilai
Scale ($\boldsymbol{\theta}$)	22.146,8 menit
Shape ($\boldsymbol{\beta}$)	0,819918
MTBF	24.535,288 menit
MTBF	408,921 jam
MTBF	$\pm$ 17 hari

Nilai MTBF dihitung menggunakan parameter Weibull dengan persamaan:

$$\left[MTBF = \theta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right]$$

Berdasarkan model distribusi yang diperoleh, MTBF sebesar 24.535,288 menit atau 408,921 jam, setara dengan sekitar 17 hari. Nilai tersebut menunjukkan rata-rata waktu antar kegagalan secara statistik dan bukan waktu pasti terjadinya kegagalan berikutnya, karena data TBF menunjukkan variasi waktu kegagalan. Nilai β sebesar 0,819918 (<1) menunjukkan kecenderungan *decreasing failure rate*, sehingga peningkatan waktu operasi tidak secara langsung menunjukkan peningkatan risiko kegagalan akibat *wear-out*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemeliharaan preventif berbasis umur perlu diterapkan secara hati-hati. Oleh karena itu, strategi pemeliharaan lebih diarahkan pada inspeksi dan pemeliharaan terjadwal yang disertai pemantauan kondisi aktual serta pola gangguan *point machine*.

Analisis *Reliability Point Machine* W11/31A

Reliability dihitung menggunakan distribusi Weibull dengan parameter θ = 22.146,8 menit dan β = 0,819918. Fungsi reliability dinyatakan sebagai:

$$\left[R(t) = e^{-(t/\theta)^{\beta}}\right]$$

Hasil analisis menunjukkan nilai *reliability point machine* W11/31A sebesar 33,7% pada titik evaluasi penelitian. Nilai tersebut menunjukkan probabilitas operasi tanpa kegagalan pada titik waktu yang dievaluasi masih terbatas, sejalan dengan enam kejadian gangguan dan variasi TBF yang cukup besar. Namun, *reliability* merupakan indikator probabilistik dan tidak menunjukkan persentase kesiapan operasi seperti *availability*. Mengingat waktu perbaikan W11/31A relatif singkat, nilai *reliability* tersebut lebih tepat digunakan sebagai dasar penguatan inspeksi, pemeliharaan preventif, dan pemantauan kondisi untuk mengendalikan risiko kegagalan.

Analisis *Mean Time To Repair* (MTTR)

Hasil *Goodness of Fit* menunjukkan bahwa data TTR paling sesuai dengan distribusi lognormal. Parameter hasil estimasi distribusi tersebut adalah scale 0,137197 dan location 1,63302. Berdasarkan parameter distribusi tersebut, diperoleh nilai MTTR sebesar 5,16771127 menit.

Tabel 6. Parameter distribusi Lognormal TTR.

Parameter	Nilai
Distribusi	Lognormal
Scale	0,137197
Location	1,63302
MTTR	5,1677 menit

Nilai MTTR sekitar 5,17 menit menunjukkan bahwa waktu pemulihan gangguan W11/31A relatif singkat. Hasil tersebut juga konsisten dengan data aktual TTR yang berada pada rentang 4–6 menit. Salah satu faktor yang mendukung waktu pemulihan singkat adalah pola penanganan gangguan yang relatif seragam, yaitu dengan memutar gear menggunakan engkol. Dari perspektif pemeliharaan, MTTR yang rendah merupakan kondisi yang menguntungkan karena dapat membatasi durasi downtime ketika gangguan terjadi. Namun, MTTR yang rendah tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya indikator bahwa strategi pemeliharaan telah optimal. Frekuensi gangguan dan pola TBF tetap harus diperhitungkan karena gangguan yang sering terjadi dapat menghasilkan akumulasi downtime meskipun setiap gangguan dapat diperbaiki dalam waktu singkat.

Penentuan Interval Pemeliharaan Optimal

Penentuan interval pemeliharaan dilakukan dengan mempertimbangkan rata-rata jam kerja, frekuensi gangguan, dan parameter biaya/waktu pemeliharaan yang digunakan dalam model penelitian. Berdasarkan data penelitian, rata-rata waktu kerja yang digunakan adalah 720 jam, sedangkan rata-rata jumlah kerusakan adalah dua kejadian per tiga bulan. Perhitungan

menghasilkan frekuensi pemeliharaan sebesar 0,586953 dan interval pemeliharaan sebesar 613,337 jam atau 25,5556 hari, kemudian dibulatkan menjadi 25 hari.

Tabel 7. Hasil Penentuan Interval Pemeliharaan.

Parameter	Nilai
Rata-rata jam kerja	720 jam
Rata-rata kerusakan	2 kejadian/3 bulan
Frekuensi pemeliharaan	0,586953
Interval hasil perhitungan	613,337 jam
Interval hasil perhitungan	25,5556 hari
Interval yang digunakan	25 hari

Interval 25 hari memiliki nilai yang relatif dekat dengan karakteristik MTBF sekitar 17 hari, tetapi keduanya memiliki fungsi analitis yang berbeda. MTBF menggambarkan karakteristik statistik waktu antar kegagalan, sedangkan interval 25 hari merupakan hasil optimasi pemeliharaan berdasarkan model yang digunakan dalam penelitian. Oleh sebab itu, interval 25 hari tidak dapat diartikan sebagai prediksi bahwa komponen pasti mengalami kegagalan pada hari ke-25. Secara operasional, interval 25 hari dapat digunakan sebagai dasar penjadwalan kegiatan pemeriksaan dan pemeliharaan preventif. Dengan adanya interval yang terstruktur, kegiatan pemeliharaan dapat dilakukan sebelum akumulasi gangguan menjadi lebih besar. Namun, karena nilai $\beta<1$, pemeliharaan tersebut lebih tepat diarahkan pada pemeriksaan kondisi, penyetelan, pembersihan, pemeriksaan mekanisme penggerak, dan verifikasi deteksi daripada langsung menetapkan penggantian komponen berdasarkan umur.

Analisis *Downtime* dan *Availability*

Setelah interval pemeliharaan ditentukan sebesar 25 hari, dilakukan perhitungan downtime menggunakan model yang digunakan dalam penelitian. Hasil perhitungan menghasilkan nilai downtime sebesar 0,002204. Selanjutnya, availability dihitung menggunakan:

$$[A(n) = 1 - D(n)]$$

sehingga diperoleh:

$$[A(n) = 1 - 0{,}002204 = 0{,}997796]$$

atau sebesar 99,77%.

Tabel 8. *Downtime* dan *Availability* pada Interval 25 Hari.

Parameter	Nilai
Interval pemeliharaan	25 hari
Downtime	0,002204
Availability	99,77%

Nilai availability 99,77% menunjukkan bahwa berdasarkan model perhitungan yang digunakan, proporsi waktu kesiapan operasi W11/31A berada pada tingkat yang tinggi setelah penerapan interval pemeliharaan 25 hari. Hasil ini terutama didukung oleh waktu pemulihan

yang relatif singkat. Secara teknis, hasil availability harus dibaca bersama dengan reliability. Reliability sebesar 33,7% menunjukkan adanya probabilitas kegagalan yang perlu diperhatikan, sedangkan availability sebesar 99,77% menunjukkan bahwa ketika kegagalan terjadi, waktu pemulihannya relatif singkat sehingga pengaruh downtime terhadap kesiapan operasi dapat ditekan. Dengan demikian, kedua indikator tersebut memberikan informasi yang berbeda tetapi saling melengkapi. Reliability digunakan untuk menggambarkan kecenderungan bebas gangguan, sedangkan availability memberikan gambaran kesiapan operasi setelah mempertimbangkan proses pemulihan.

Analisis Maintainability

Maintainability dihitung berdasarkan distribusi waktu perbaikan dengan menggunakan MTTR sebesar 5,16771127 menit. Perhitungan dilakukan pada interval waktu 5 sampai 30 menit. Hasilnya menunjukkan peningkatan probabilitas pemulihan seiring bertambahnya waktu yang tersedia untuk perbaikan.

Tabel 9. Maintainability Point Machine W11/31A.

Waktu Perbaikan	Maintainability
5 menit	62%
10 menit	86%
15 menit	95%
20 menit	98%
25 menit	99%
30 menit	100%

Pada waktu perbaikan 5 menit, probabilitas pemulihan mencapai 62%. Nilai tersebut meningkat menjadi 86% pada 10 menit dan 95% pada 15 menit. Setelah 20 menit, maintainability mencapai 98%, kemudian 99% pada 25 menit dan 100% pada 30 menit. Pola tersebut menunjukkan bahwa tambahan waktu penanganan memberikan peningkatan probabilitas pemulihan yang semakin kecil setelah 15–20 menit. Secara teknis, hasil ini menunjukkan bahwa waktu 30 menit dapat digunakan sebagai batas waktu pemulihan dalam konteks model maintainability penelitian. Namun, nilai 100% tersebut merupakan hasil model probabilistik berdasarkan distribusi TTR yang digunakan dan tidak boleh ditafsirkan bahwa setiap gangguan secara fisik selalu dapat diselesaikan tepat dalam 30 menit pada seluruh kondisi operasi. Hasil maintainability juga memperkuat temuan MTTR yang relatif rendah. Dengan MTTR sekitar 5,17 menit, sebagian besar gangguan dapat dipulihkan dalam waktu yang relatif singkat. Oleh karena itu, selain mencegah terjadinya gangguan, strategi pemeliharaan perlu mempertahankan kesiapan personel, prosedur penanganan, dan peralatan pendukung agar proses pemulihan tetap cepat ketika gangguan terjadi.

Hasil keseluruhan analisis menunjukkan bahwa permasalahan utama W11/31A bukan hanya pada waktu perbaikan, tetapi terutama pada pola dan frekuensi kegagalan. Point machine

memberikan kontribusi terbesar terhadap gangguan fasilitas operasi, yaitu 42%, sedangkan W11/31A mengalami enam kejadian atau sekitar 33% dari gangguan point machine. Analisis TBF menunjukkan distribusi Weibull sebagai model terbaik dengan nilai Anderson-Darling 2,435. Parameter β sebesar 0,819918 dan θ sebesar 22.146,8 menit menghasilkan MTBF sebesar 24.535,288 menit atau sekitar 17 hari. Analisis TTR menghasilkan distribusi lognormal dengan MTTR sebesar 5,1677 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa interval kegagalan W11/31A bervariasi, sedangkan waktu pemulihan relatif singkat. Kondisi ini memungkinkan availability tetap tinggi meskipun reliability pada titik evaluasi relatif rendah. Oleh karena itu, pemeliharaan perlu diarahkan untuk mengurangi frekuensi gangguan. Interval optimal diperoleh sebesar 25 hari dengan downtime 0,002204 dan availability 99,77%. Maintainability mencapai 100% dalam waktu 30 menit.

Dengan demikian, rekomendasi teknis yang dapat dirumuskan dari hasil penelitian adalah menerapkan pemeliharaan terjadwal dengan interval 25 hari yang disertai pemeriksaan kondisi mekanisme penggerak, pemeriksaan kemampuan pergerakan wesel pada posisi normal dan reverse, pemeriksaan sistem deteksi posisi, serta verifikasi fungsi setelah pekerjaan pemeliharaan. Fokus tersebut disesuaikan dengan jenis gangguan yang tercatat pada W11/31A, yaitu gangguan stuck dan gangguan deteksi. Interval 25 hari dalam penelitian ini sebaiknya diposisikan sebagai interval pemeliharaan preventif/inspeksi, bukan sebagai interval wajib penggantian komponen. Hal tersebut didasarkan pada nilai $\beta<1$ yang tidak menunjukkan pola wear-out yang kuat. Penggantian komponen berbasis umur sebaiknya memerlukan bukti tambahan dari data kegagalan yang lebih panjang, hasil inspeksi kondisi, atau analisis biaya siklus hidup.

Secara keseluruhan, pendekatan Reliability–Availability–Maintainability (RAM) yang diterapkan dalam penelitian memberikan kerangka kuantitatif untuk menghubungkan frekuensi gangguan, waktu antar kegagalan, waktu perbaikan, interval pemeliharaan, dan kesiapan operasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan W11/31A dapat diarahkan dari pola pemeliharaan yang bersifat rutin menuju pemeliharaan yang lebih berbasis data, dengan menggunakan karakteristik kegagalan aktual sebagai dasar penentuan prioritas dan interval pemeliharaan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis, point machine merupakan fasilitas operasi paling kritis di Stasiun Labakkang dengan 24 gangguan atau 42% dari total 57 gangguan fasilitas. Berdasarkan analisis ABC/Pareto, point machine W11/31A dipilih sebagai objek penelitian karena

mengalami enam gangguan atau sekitar 33% dari keseluruhan gangguan point machine. Gangguan yang terjadi meliputi wesel terganjal pada posisi normal dan reverse, kegagalan kembali ke posisi semula, serta gangguan deteksi. Penanganan gangguan dilakukan dengan memutar gear menggunakan engkol untuk mengembalikan mekanisme wesel ke kondisi operasional. Hasil analisis TBF menunjukkan bahwa distribusi Weibull merupakan model terbaik dengan nilai adjusted Anderson-Darling sebesar 2,435, scale 22.146,8 menit, dan shape β=0,819918. Nilai MTBF sebesar 24.535,288 menit atau sekitar 17 hari menunjukkan rata-rata waktu antar kegagalan secara statistik. Nilai $\beta<1$ menunjukkan kecenderungan decreasing failure rate, sehingga peningkatan waktu operasi tidak secara langsung menunjukkan peningkatan risiko kegagalan akibat wear-out. Nilai reliability pada titik evaluasi penelitian sebesar 33,7%, sehingga diperlukan penguatan inspeksi dan pemeliharaan preventif.

Untuk analisis TTR, distribusi lognormal merupakan model terbaik dengan nilai adjusted Anderson-Darling sebesar 2,423 dan MTTR sebesar 5,1677 menit. Hasil optimasi menunjukkan interval pemeliharaan sebesar 25,5556 hari yang dibulatkan menjadi 25 hari. Pada interval tersebut diperoleh downtime sebesar 0,002204 dan availability sebesar 99,77%. Sementara itu, maintainability mencapai 62% dalam 5 menit dan 100% dalam 30 menit. Berdasarkan hasil tersebut, pemeliharaan W11/31A direkomendasikan secara preventif setiap 25 hari, dengan fokus pada mekanisme penggerak, gear, pergerakan wesel, dan sistem deteksi. Karena $\beta<1$, interval tersebut digunakan sebagai dasar inspeksi dan pemeliharaan preventif, bukan sebagai batas umur penggantian komponen. Pencatatan data logger perlu dilakukan secara konsisten, sedangkan penelitian selanjutnya dapat menggunakan periode pengamatan yang lebih panjang dan mempertimbangkan kondisi lingkungan, beban operasi, kondisi mekanis, serta biaya pemeliharaan.

DAFTAR REFERENSI

Djami, A. B. N., Nzié, W., Ousman, B., Anyi, J. N., & Nguelcheu, U. N. (2024). A Maintenance Service Improvement Approach Based on Queue Networks: Application. *Open Journal of Applied Sciences*, *14*(02), 425–440. https://doi.org/10.4236/ojapps.2024.142030

Hu, X., Tang, T., Tan, L., & Zhang, H. (2023). Fault Detection for Point Machines: A Review, Challenges, and Perspectives. In *Actuators* (Vol. 12, Number 10). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/act12100391

Inaba, W., Matsuoka, K., Takahashi, K., & Misaki, Y. (2024). Comparison of periodic inspection data and condition monitoring data for point machines. *The Proceedings of the Transportation and Logistics Conference*, *2024.33*, SS2-7. https://doi.org/10.1299/jsmetld.2024.33.SS2-7-4

Jiang, Q., Shangguan, W., Chai, L., & Chen, J. (2025). A Condition-based Predictive Maintenance Framework: A Case Study of Railway Point Machines. *2025 Global Reliability and Prognostics and Health Management Conference (PHM-Xian)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/PHM-Xian66756.2025.11427765

Knights, P. (2001). Rethinking Pareto analysis: maintenance applications of logarithmic scatterplots. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, *7*, 252–263. https://doi.org/10.1108/13552510110407041

Kristjanpoller, F., Crespo, A., Viveros, P., & Barberá, L. (2016). Expected impact quantification-based reliability assessment methodology for Chilean copper smelting process: A case study. *Advances in Mechanical Engineering*, *8*(10), 1–13. https://doi.org/10.1177/1687814016674845

Kumar, A., Saini, M., Patil, R. B., Al-Dahidi, S., & Mellal, M. A. (2022). Reliability, Availability, Maintainability, and Dependability analysis of Tube-wells Integrated with Underground Pipelines in agricultural fields for irrigation. *Advances in Mechanical Engineering*, *14*(8). https://doi.org/10.1177/16878132221115931

Narges, K. H., Ahmad, M., & Fereydoun, G. M. (2022). A hybrid fault diagnosis scheme for railway point machines by motor current signal analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, *236*(9), 1026–1034. https://doi.org/10.1177/09544097211061918

Rabhi, M., Abdessalem, A. Ben, Saintis, L., Castanier, B., & Sohoin, R. (2023). Discrimination between accelerated life models via Approximate Bayesian Computation. *Quality and Reliability Engineering International*, *39*(3), 1058–1082. https://doi.org/10.1002/qre.3283

Rachman, N. F., Ependi, A., Ahkwan, & Arifin, M. Z. (2024). *The Reliability Analysis of Railroad Switch Machine* (pp. 468–479). https://doi.org/10.2991/978-94-6463-384-9_42

Reetz, S., Neumann, T., Schrijver, G., van den Berg, A., & Buursma, D. (2024). Expert system based fault diagnosis for railway point machines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, *238*(2), 214–224. https://doi.org/10.1177/09544097231195656

Restel, F., Wolniewicz, Ł., & Mikulčić, M. (2021). Method for designing robust and energy efficient railway schedules. *Energies*, *14*(24). https://doi.org/10.3390/en14248248

Sun, Y., Cao, Y., Liu, H., Yang, W., & Su, S. (2023). Condition monitoring and fault diagnosis strategy of railway point machines using vibration signals. *Transportation Safety and Environment*, *5*(2). https://doi.org/10.1093/tse/tdac048

Tamehiro, S., Matsuoka, K., Inaba, W., & Kaito, K. (2024). Management Simulation Of Railway Equipment With Weibull Type Failure Process. *鉄道工学シンポジウム論文集*, *28*, 152–159. https://doi.org/10.11532/railwayengineering.28.1_152

Tsarouhas, P. H., & Arvanitoyannis, I. S. (2014). Yogurt production line: reliability analysis. *Production and Manufacturing Research*, *2*(1), 11–23. https://doi.org/10.1080/21693277.2014.881268

Zhang, L., Jin, G., & You, Y. (2019). Reliability assessment for very few failure data and weibull distribution. *Mathematical Problems in Engineering*, *2019*. https://doi.org/10.1155/2019/8947905