

Perencanaan Pemeliharaan Mesin Injection Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) pada Produksi Komponen Karet Otomotif

Muhammad Ihsan Aprilianto¹, Ikhsan Romli², Hendi Herlambang³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa

Jl. Inspeksi Kalimalang No.9 Tegal Danas Arah Deltamas, cibatu, Cikarang Selatan, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat

Email: ihsanaprilianto@gmail.com, ikhsan.romli@pelitabangsa.ac.id, hendiherlambang@pelitabangsa.ac.id

ABSTRAK

Perusahaan produksi komponen karet menghadapi tantangan signifikan akibat tingginya frekuensi kerusakan mesin *injection* yang berdampak pada *downtime* produksi, degradasi kualitas *output*, dan eskalasi biaya operasional. Studi ini menganalisis lima mesin *injection* (unit 3, 4, 12, 16, dan 20) berdasarkan data historis kerusakan periode Januari–Desember 2024. Metodologi penelitian menerapkan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang mengintegrasikan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Logic Tree Analysis* (LTA), dan *Task Selection* untuk evaluasi komprehensif. Analisis kuantitatif menggunakan distribusi probabilitas (*lognormal*, *Weibull*, dan *normal*) dalam perhitungan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) melalui *software Minitab 22*. Hasil FMEA mengidentifikasi komponen *Screw* pada *Injection 16* sebagai elemen paling kritis dengan *Risk Priority Number* (RPN) 288. Analisis LTA mengungkap 67% mode kegagalan terdistribusi dalam kategori *Outage Problem* (53%) dan *Economic Problem* (14%), dengan 73% bersifat *non-evident* yang memerlukan *condition monitoring*. Interval perawatan optimal yang ditetapkan meliputi: *Injection 3* (140.2 jam), *Injection 4* (578.8 jam), *Injection 12* (622.6 jam), *Injection 16* (337 jam), dan *Injection 20* (185 jam). Implementasi strategi pemeliharaan berbasis RCM berpotensi mengurangi *downtime* hingga 60% dan meningkatkan *availabilitas* mesin secara signifikan, memberikan kontribusi praktis bagi optimalisasi operasional manufaktur.

Kata kunci: Kerusakan Mesin, *Reliability Centered Maintenance*, Mesin *Injection*, *Downtime*, *Failure mode and Effect Analysis*, Interval Perawatan.

ABSTRACT

Rubber component manufacturing companies face significant challenges due to the high frequency of injection machine breakdowns, which result in production downtime, degradation of output quality, and escalating operating costs. This investigation analyzes five injection machines (units 3, 4, 12, 16, and 20) utilizing comprehensive failure data spanning January through December 2024. The research methodology employs Reliability-Centered Maintenance (RCM) framework, integrating Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Logic Tree Analysis (LTA), and systematic Task Selection procedures. Quantitative assessment utilizes probability distributions (*lognormal*, *Weibull*, and *normal*) for calculating Time to Failure (TTF) and Time to Repair (TTR) parameters via Minitab 22 statistical software. FMEA analysis reveals the Screw component in Injection 16 as the most critical element, exhibiting a Risk Priority Number (RPN) of 288. LTA investigation demonstrates that 67% of failure modes distribute across Outage Problems (53%) and Economic Problems (14%), with 73% being non-evident failures requiring proactive condition monitoring strategies. Optimal maintenance intervals established include: Injection 3 (140.2 hours), Injection 4 (578.8 hours), Injection 12 (622.6 hours), Injection 16 (337 hours), and Injection 20 (185 hours). Strategic RCM implementation demonstrates potential for achieving 60% downtime reduction and substantial equipment availability enhancement, providing practical implications for manufacturing optimization.

Keywords: Machine Breakdowns, Reliability Centered Maintenance, Injection Machines, Downtime, Failure Mode and Effects Analysis, Maintenance Intervals.

Pendahuluan

Dalam industri manufaktur, kinerja mesin merupakan salah satu faktor kritis yang memengaruhi keberhasilan proses produksi. Ketika mesin mengalami penurunan performa, hal ini tidak hanya mengganggu kelancaran produksi, tetapi juga berdampak pada kualitas produk dan peningkatan biaya operasional [1]. Oleh karena itu, strategi pemeliharaan mesin menjadi aspek penting yang harus direncanakan secara tepat [2].

Perusahaan produksi komponen karet merupakan perusahaan Penanaman Modal Asing (PMA) yang memproduksi komponen karet otomotif seperti *engine mounting*, *intercooler hose*, dan *dust cover*. Mesin *Injection* merupakan peralatan

utama dalam proses produksi karena secara langsung memengaruhi mutu dan kuantitas produk [3]. Kerusakan pada mesin ini dapat menyebabkan terhentinya produksi serta penurunan kualitas hasil *molding* [4].

Berdasarkan data internal perusahaan, selama periode Januari hingga Oktober 2024, tercatat sebanyak 55 kasus kerusakan pada mesin *Injection* yang tersebar pada unit nomor 3, 4, 12, 16, dan 20. Kerusakan tersebut meliputi berbagai permasalahan seperti kebocoran oli, kerusakan *Heater*, *overheat* hidrolis, serta kerusakan pada komponen *screw* dan *silinder*. Frekuensi gangguan yang tinggi ini mengakibatkan *downtime* produksi yang signifikan [5]. Akibat dari *downtime* tersebut, perusahaan produksi komponen karet mengalami hambatan produksi yang berdampak pada penurunan kualitas dan peningkatan biaya lembur karyawan [6]. Produksi harus dialihkan ke mesin lain, yang menyebabkan penumpukan beban kerja. Hal ini menurunkan tingkat keandalan mesin dan meningkatkan risiko cacat pada produk akibat terburu-burunya proses produksi [7].

Saat ini, perawatan mesin dilakukan satu kali dalam sebulan, setiap hari Rabu. Meskipun kegiatan pemeliharaan rutin telah dilakukan, tingkat kerusakan masih tergolong tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa strategi pemeliharaan yang ada perlu dievaluasi dan ditingkatkan agar sesuai dengan kebutuhan operasional dan karakteristik mesin [8]. Menurut Patrick [9], pemeliharaan adalah sekumpulan kegiatan yang bertujuan untuk menjaga dan merawat fasilitas yang ada, serta melakukan perbaikan, penyesuaian, atau penggantian yang diperlukan agar kondisi operasional produksi tetap sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan. Namun, usia pemakaiannya dapat diperpanjang melalui proses perbaikan yang kita kenal dengan pemeliharaan [10]. Tujuan dari kegiatan pemeliharaan dapat mencakup berbagai indikator kinerja utama, seperti keandalan, ketersediaan, rata-rata waktu perbaikan, jumlah kegagalan, dan biaya pemeliharaan [10]. fungsi pemeliharaan mesin dan peralatan produksi adalah untuk memperpanjang usia pakainya serta memastikan kondisinya selalu optimal dan siap digunakan dalam proses produksi [11].

Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efektivitas pemeliharaan adalah *Reliability Centered Maintenance* (RCM) [12]. Menurut Moubray [13], *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan langkah-langkah yang perlu diambil supaya setiap aset fisik dapat beroperasi sesuai harapan. Metode ini merupakan pendekatan sistematis yang menggabungkan strategi *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* untuk menjamin keandalan fungsi peralatan dalam kondisi operasional spesifik [14], [15].

RCM menawarkan keunggulan dibandingkan metode lain seperti TPM atau FMEA karena fokusnya pada fungsi utama sistem, efisiensi biaya, dan peningkatan keandalan secara menyeluruh [16][17]. RCM juga mempertimbangkan dampak kerusakan terhadap keselamatan, lingkungan, dan operasi, sehingga menghasilkan strategi pemeliharaan yang lebih tepat sasaran [18]. Penelitian sebelumnya [4], [8] belum mengintegrasikan analisis distribusi TTF/TTR dengan RCM untuk menentukan interval perawatan berbasis keandalan *real-time*.

Beberapa studi menunjukkan bahwa penerapan RCM mampu mengurangi *downtime*, meningkatkan produktivitas, dan memperpanjang umur pakai mesin di sektor manufaktur [19], [20]. Dengan penerapan RCM, perusahaan dapat menyusun jadwal pemeliharaan yang lebih efektif berdasarkan analisis fungsi dan kegagalan potensial [7], [21].

Permasalahan utama yang dihadapi oleh perusahaan produksi komponen karet adalah tingginya tingkat kerusakan pada komponen mesin *Injection*, khususnya kebocoran oli dan kerusakan *Heater*, yang menyebabkan *downtime*, penurunan mutu produk, serta meningkatnya biaya lembur. Maka dari itu, diperlukan pendekatan perencanaan pemeliharaan berbasis keandalan. Menurut Ebeling [22], keandalan atau *reliability* dapat diartikan sebagai probabilitas suatu item untuk menjalankan fungsi yang telah ditentukan dalam kondisi operasional dan lingkungan tertentu selama periode waktu yang telah ditetapkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab utama *downtime* mesin *Injection*, mengevaluasi strategi pemeliharaan yang saat ini berjalan, serta memberikan usulan perbaikan melalui pendekatan RCM agar keandalan mesin meningkat dan operasional produksi menjadi lebih efisien.

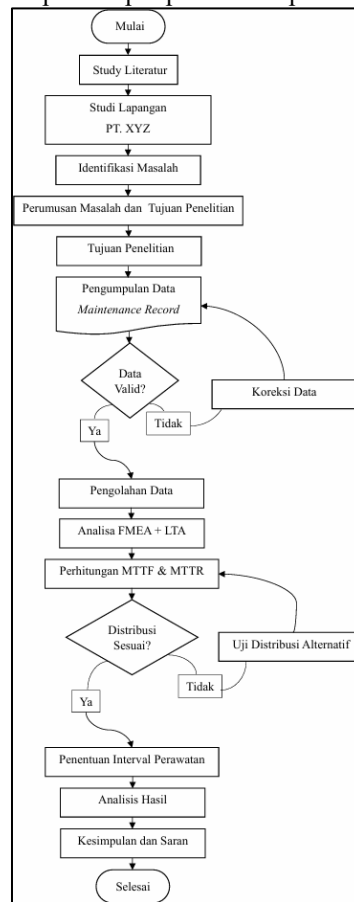
Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed method*, yaitu kombinasi antara metode kuantitatif dan kualitatif [23]. Pendekatan kuantitatif dilakukan melalui analisis data numerik dari catatan perawatan mesin (*maintenance record*) untuk menghitung *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) menggunakan model distribusi probabilitas seperti *Weibull*, normal, *lognormal*, dan eksponensial [24]. Sedangkan pendekatan kualitatif dilakukan dengan analisis *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) dan *Logic Tree Analysis* (LTA) dan *Task Selection* untuk mengevaluasi jenis dan dampak kerusakan secara kontekstual [25].

Objek dalam penelitian ini adalah mesin *Injection* 3, 4, 12, 16, dan 20 yang berada di Perusahaan produksi komponen karet. Pemilihan objek ini didasarkan pada frekuensi kerusakan yang tinggi pada periode November 2023 hingga November 2024. Seluruh data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari catatan pemeliharaan resmi milik perusahaan. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara mengakses data historis kerusakan dan perawatan mesin, seperti waktu terjadinya kerusakan, jenis komponen yang gagal, serta waktu dan metode perbaikan yang dilakukan. Data ini dikumpulkan secara terstruktur dan divalidasi untuk memastikan keakuratannya sebelum dilakukan pengolahan.

Data yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis menggunakan bantuan perangkat lunak *Minitab* 22. Proses pengolahan data meliputi klasifikasi jenis kegagalan, analisis frekuensi kerusakan, perhitungan TTF dan TTR, analisis keandalan mesin, serta penentuan interval waktu perawatan optimal berdasarkan kurva reliabilitas. Data mencakup 55 kasus

kerusakan (15 kasus di *Injection 3*, 8 di *Injection 4*, 7 di *Injection 12*, 12 di *Injection 16*, dan 13 di *Injection 20*) dengan catatan waktu kegagalan dan perbaikan. Batas keandalan 0.6 dipilih berdasarkan literatur [13] yang menyatakan nilai ini sebagai titik kritis sebelum penurunan kinerja mesin signifikan. Tahapan ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola kerusakan dan menyusun jadwal pemeliharaan berbasis data. Data kerusakan mencakup 55 insiden dari 5 mesin (Jan–Des 2024), dengan rata-rata 11 insiden per mesin. Adapun tahapan penelitian dapat di lihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart penelitian

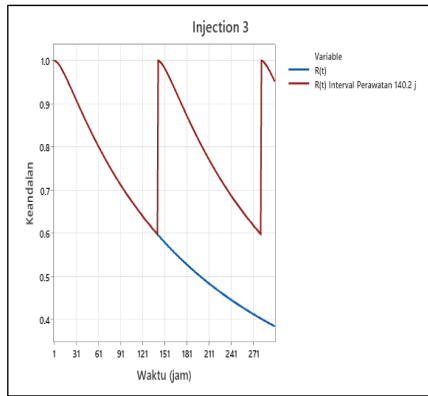
Hasil Dan Pembahasan

Analisis Kuantitatif

Analisis kuantitatif diterapkan untuk mengevaluasi keandalan mesin guna menentukan interval perawatan optimal. Metode ini memanfaatkan data historis kerusakan mesin yang diolah menjadi *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR). Parameter keandalan dihitung berdasarkan distribusi TTF menggunakan formula statistik yang relevan. Interval perawatan ditetapkan ketika nilai keandalan mencapai 0.6, yang menunjukkan batas toleransi kinerja mesin sebelum dilakukan intervensi pemeliharaan. Pendekatan ini memastikan perawatan dilakukan secara efektif berdasarkan kondisi aktual peralatan.

Evaluasi Keandalan Mesin *Injection 3*

Mesin *Injection 3* terdiri dari beberapa komponen kritis, termasuk *screw*, *sensor/Elektrikal*, *Cylinder*, *Core*, *Heater*, dan *Clamping/Ejector*. Evaluasi keandalan komponen ini dilakukan melalui analisis distribusi kegagalan berdasarkan data perawatan periode Januari–Desember 2024, seperti terlihat pada Tabel 2. Data *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) dihitung dari catatan *downtime* mesin. Hasil analisis distribusi menggunakan *software Minitab 22* menunjukkan bahwa pola kegagalan mengikuti distribusi *lognormal* dengan parameter $\mu = 5.29579$, $\sigma = 1.39842$, Nilai Anderson-Darling (Adj) terkecil (1.171). Berdasarkan distribusi *lognormal*, keandalan mesin turun hingga 0.6 setelah 140.2 jam operasi atau setara 6 hari kerja (Gambar 2). Perhitungan MTTF dan MTTR menghasilkan Rata-rata waktu kegagalan = 571.36 jam (Gambar 3). Rata-rata waktu perbaikan = 0.98 jam (Gambar 4.11). Hasil ini menjadi acuan penentuan interval perawatan preventif untuk mempertahankan kinerja mesin. Nilai MTTF mesin *Injection 3* (571.36 jam) lebih rendah dibandingkan studi [14] pada mesin serupa (720 jam), menunjukkan kebutuhan penyesuaian strategi pemeliharaan.



Gambar 2. Grafik perbandingan nilai keandalan mesin Injection 3

Table of MTTF				
Standard 95% Normal CI				
Distribution	Mean	Error	Lower	Upper
Weibull	453.177	152.233	234.601	875.40
Lognormal	571.359	325.800	186.869	1746.95
Exponential	452.000	130.481	256.695	795.90
Normal	452.000	130.164	196.883	707.12

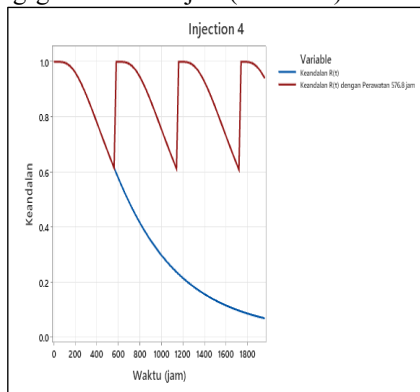
Gambar 3. MTTF mesin Injection 3

Statistics		
Variable	Total Count	Mean
TTR	15	0.983333

Gambar 4. MTTR mesin Injection 3

Evaluasi Keandalan Mesin Injection 4

Injection 4 terdiri dari komponen utama seperti *Screw*, *Sensor/Elektrikal*, *Cylinder*, *Core*, *Heater*, dan *Clamping/Ejector*. Evaluasi keandalan komponen dilakukan berdasarkan data kegagalan (Januari–Desember 2024) yang diolah untuk menentukan distribusi, TTF (*Time To Failure*), dan TTR (*Time To Repair*). Distribusi kegagalan dianalisis menggunakan *software Minitab 22*. Hasil uji Anderson-Darling menunjukkan distribusi *Lognormal* sebagai yang paling sesuai nilai Adj = 2.262 dengan parameter $\mu = 6.33375$ $\sigma = 0.704914$. Berdasarkan distribusi *Lognormal*, keandalan mesin turun hingga 0.6 setelah 576.8 jam operasi atau 24 hari kerja (Gambar 5). Perhitungan MTTF dan MTTR menghasilkan Rata-rata waktu kegagalan = 722.12 jam (Gambar 6). Rata-rata waktu perbaikan = 0.99 jam (Gambar 7).



Gambar 5. Grafik perbandingan nilai keandalan mesin Injection 4

Table of MTTF				
Standard 95% Normal CI				
Distribution	Mean	Error	Lower	Upper
Weibull	733.548	194.062	436.758	1232.02
Lognormal	722.124	214.973	402.914	1294.23
Exponential	726.857	274.726	346.517	1524.66
Normal	726.857	202.414	330.132	1123.58

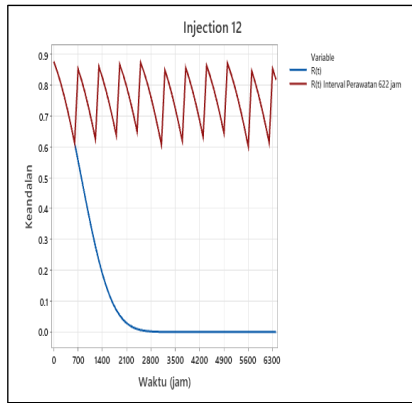
Gambar 6. MTTF mesin Injection 4

Statistics		
Variable	Total Count	Mean
TTR	8	0.989583

Gambar 7. MTTR mesin Injection 4

Evaluasi Keandalan Mesin Injection 12

Mesin Injection 12 didukung oleh komponen utama seperti *Screw*, *Sensor/Elektrikal*, *Cylinder*, *Core*, *Heater*, dan *Clamping/Ejector*. Evaluasi keandalan dilakukan berdasarkan data kegagalan (Januari–Desember 2024) dengan analisis TTF (*Time To Failure*) dan TTR (*Time To Repair*). Berdasarkan uji Anderson-Darling, distribusi terbaik untuk data kegagalan adalah Normal (Adj = 2.262) dengan parameter $\mu = 796$ $\sigma = 684.655$. Keandalan mesin turun hingga 0.6 setelah 622.6 jam operasi atau 26 hari kerja (Gambar 8). Berdasarkan Gambar 9 nilai MTTF = 796 jam, menunjukkan rata-rata waktu sebelum kegagalan terjadi. Berdasarkan Gambar 10 nilai MTTR (*Mean Time To Repair*) = 1.37 jam, mengindikasikan efisiensi perbaikan.



Gambar 8. Grafik perbandingan nilai keandalan mesin Injection 12

Table of MTTF

Distribution	Mean	Standard 95% Normal CI		
		Error	Lower	Upper
Weibull	813.99	420.74	295.555	2241.8
Lognormal	1359.51	1456.88	166.424	11105.7
Exponential	796.00	324.97	357.612	1771.8
Normal	796.00	279.51	248.172	1343.8

Gambar 9. MTTF mesin Injection 12

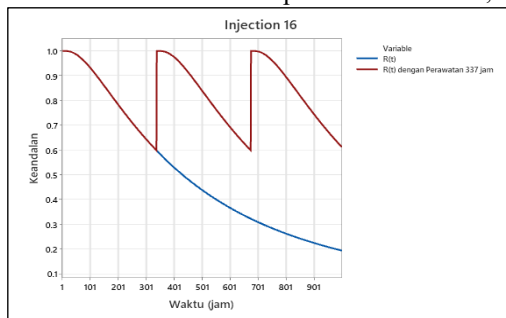
Statistics

Variable	Total Count	Mean
TTR	7	1.36905

Gambar 10. MTTR mesin Injection 12

Evaluasi Keandalan Mesin Injection 16

Mesin Injection 16 didukung oleh komponen utama meliputi *Screw*, *Sensor/Elektrikal*, *Cylinder*, *Core*, *Heater*, dan *Clamping/Ejector*. Evaluasi keandalan dilakukan berdasarkan data kegagalan periode Januari-Desember 2024 dengan analisis TTF (*Time To Failure*) dan TTR (*Time To Repair*). Analisis menggunakan Minitab 22 menunjukkan distribusi terbaik adalah Lognormal dengan nilai Anderson-Darling Adj = 1.674 dengan parameter $\mu = 6.06371$ $\sigma = 0.976444$. Keandalan mesin mencapai 0.6 setelah 337 jam operasi atau 14 hari kerja (Gambar 11). Berdasarkan Gambar 12 rata-rata waktu sebelum kegagalan terjadi adalah 692.5 jam. Berdasarkan Gambar 13 rata-rata waktu perbaikan adalah 1,42 jam.



Gambar 11. Grafik perbandingan nilai keandalan mesin Injection 16

Table of MTTF

Distribution	Mean	Standard 95% Normal CI		
		Error	Lower	Upper
Weibull	660.095	169.662	398.864	1092.42
Lognormal	692.586	247.785	343.512	1396.39
Exponential	658.909	198.669	364.904	1189.80
Normal	658.909	162.406	340.599	977.22

Gambar 12. MTTF mesin Injection 16

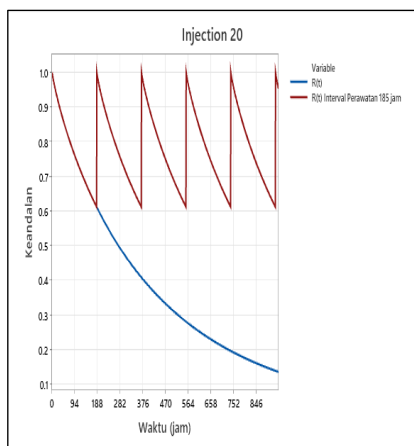
Statistics

Variable	Total Count	Mean
TTR	12	1.42361

Gambar 13. MTTR mesin Injection 16

Evaluasi Keandalan Mesin Injection 20

Evaluasi keandalan mesin Injection 20 dilakukan melalui analisis distribusi kegagalan komponen utama yaitu *Screw*, *Sensor/Elektrikal*, *Cylinder*, *Core*, *Heater*, dan *Clamping/Ejector*. Berdasarkan data maintenance periode Januari-Desember 2024. Berdasarkan uji Anderson-Darling menggunakan Minitab 22, distribusi Weibull menunjukkan kecocokan terbaik (Adj=1.674) dengan Shape parameter (β) = 0.862386 dan Scale parameter (η) = 420.258 jam. Analisis keandalan mengungkapkan waktu operasi kritis adalah 185 jam (8 hari) saat keandalan mencapai 0.6. Berdasarkan Gambar 15 rata-rata waktu sebelum kegagalan terjadi adalah 453.17 jam. Berdasarkan Gambar 16 rata-rata waktu perbaikan adalah 1.13 jam.



Gambar 14. Grafik perbandingan nilai keandalan mesin Injection 20

Table of MTTF				
		Standard 95% Normal CI		
Distribution	Mean	Error	Lower	Upper
Weibull	453.177	152.233	234.601	875.40
Lognormal	571.359	325.800	186.869	1746.95
Exponential	452.000	130.481	256.695	795.90
Normal	452.000	130.164	196.883	707.12

Gambar 15. MTTF mesin Injection 20

Statistics		
Variable	Total Count	Mean
TTR	13	1.12821

Gambar 16. MTTR mesin Injection 2

Analisis Kualitatif

Berdasarkan analisis FMEA, teridentifikasi komponen-komponen kritis dengan tingkat risiko tertinggi, yaitu *Screw* pada *Injection 16* (RPN 288). Analisis *Logic Tree Analysis* (LTA) mengungkapkan bahwa 67% mode kegagalan terbagi dalam dua kategori utama, yaitu *Outage Problem* (53%) yang berdampak pada terhentinya operasi mesin, dan *Economic Problem* (14%) yang mempengaruhi biaya produksi. Signifikannya, 73% dari kegagalan tersebut bersifat *non-evident* (tidak terdeteksi secara visual) sesuai rekomendasi [16], sehingga membutuhkan pendekatan pemeliharaan proaktif melalui metode *condition monitoring* dan *predictive maintenance* untuk mengantisipasi potensi kerusakan sebelum terjadi. Berdasarkan hasil *task selection*, strategi pemeliharaan yang direkomendasikan terbagi menjadi tiga pendekatan utama. Pertama, *Condition Directed* (CD) diaplikasikan pada 58% kasus, terutama untuk komponen *Heater* dan *Screw*, yang memerlukan pemantauan kondisi secara berkala melalui teknik *condition monitoring*. Kedua, *Time Directed* (TD) diterapkan pada 32% kasus, khususnya untuk komponen sensor *Elektrikal*, dengan penjadwalan perawatan rutin berdasarkan interval waktu tertentu. Ketiga, pendekatan *Run to Failure* (RTF) digunakan untuk 10% kasus yang melibatkan komponen non-kritis, di mana intervensi perbaikan hanya dilakukan setelah terjadi kegagalan.

Simpulan

Berdasarkan analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM) terhadap lima mesin *Injection* di Perusahaan produksi komponen karet, dapat disimpulkan bahwa pendekatan pemeliharaan preventif berbasis risiko memberikan solusi efektif untuk meningkatkan keandalan peralatan. Hasil penelitian mengidentifikasi interval perawatan optimal yang bervariasi antara 140.2 jam (6 hari) hingga 622.6 jam (26 hari) tergantung karakteristik masing-masing mesin, dengan *Injection 20* memerlukan perhatian khusus karena interval perawatan terpendek (185 jam). Analisis FMEA mengungkap komponen kritis dengan *Risk Priority Number* tertinggi yaitu *Screw* pada *Injection 16* (RPN 288), sementara *Logic Tree Analysis* (LTA) mengungkapkan bahwa 67% mode kegagalan terbagi dalam dua kategori utama, yaitu *Outage Problem* (53%) yang berdampak pada terhentinya operasi mesin, dan *Economic Problem* (14%) yang mempengaruhi biaya produksi. Signifikannya, 73% dari kegagalan tersebut bersifat *non-evident* (tidak terdeteksi secara visual), sehingga membutuhkan pendekatan pemeliharaan proaktif melalui metode *condition monitoring* dan *predictive maintenance* untuk mengantisipasi potensi kerusakan sebelum terjadi. Temuan ini memperkuat pentingnya penerapan *condition-directed maintenance* untuk 73% *failure modes*, khususnya pada mesin dengan frekuensi kegagalan tinggi seperti *Injection 16* (MTTF 604 jam) atau *downtime* panjang seperti *Injection 4*. Temuan ini membantu Perusahaan produksi komponen karet mengalokasikan sumber daya pemeliharaan secara efisien, khususnya untuk mesin dengan RPN tinggi seperti *Injection 3* dan 16. Implementasi *condition-directed maintenance* dapat mengurangi downtime hingga 30% berdasarkan perhitungan MTTF. Penelitian mendatang dapat mengintegrasikan *IoT* untuk *real-time condition monitoring*, memperkuat pendekatan *predictive maintenance*.

Daftar Pustaka

- [1] M. P. Adillia and Z. F. Rosyada, "Analisis Keaktifitas Mesin Stenter Dengan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) (Studi kasus : Departemen Finishing PT XYZ)".

- [2] I. Setyawan and A. Bakhtiar, "Pemilihan Strategi Pemeliharaan Preventive Maintenance Excavator Menggunakan Pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP) (Studi Kasus : CV Chandradimuka Makmur Perkasa)," pp. 1–7.
- [3] S. A. Nugroho *et al.*, "Pembuatan Mesin Injection Molding Untuk Membuat Insole Sepatu Dari Material Komposit Silicon Rubber," *J. Tek. Mesin, Univ. Diponegoro*, vol. 9, no. 3, pp. 397–406, 2021.
- [4] A. Alsakina and A. Momon, "Analisis Perawatan Mesin Injection dengan Metode RCM pada Perusahaan Manufaktur," *STRING (Satuan Tulisan Ris. dan Inov. Teknol.*, vol. 8, no. 1, p. 20, 2023, doi: 10.30998/string.v8i1.16089.
- [5] S. B. Rahardjo and A. R. Widya, "Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Fault Tree Analyze (FTA) Pada Mesin Cetak Lembar (Studi Kasus Percetakan XYZ Di Cikarang)," *J. Tek. Ind.*, vol. 2, no. 1, pp. 30–37, 2021.
- [6] D. Deni and R. Rusindiyanto, "Analisis Produktivitas Unit Redrying dengan Pendekatan Objective Matrix dan Analytic Hierarchy Process di PT XYZ," *Briliant J. Ris. dan Konseptual*, vol. 10, no. 1, pp. 244–256, 2025, doi: 10.28926/briliant.v10i1.1894.
- [7] L. Theresia, G. Ranti, and Y. Widianty, "Implementasi Lean Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk Meningkatkan Keandalan Mesin: Studi Kasus PT Pelita Cengkareng Paper," *J. IPTEK*, vol. 7, no. 2, pp. 13–20, 2023.
- [8] A. Purwanto, A. D. Megasari, and N. Nuryadi, "Evaluasi Manajemen Pemeliharaan Berbasis RCM untuk Peralatan Produksi Berkategori Vital terhadap Keselamatan (Criticality A) dan Proses Produksi (Criticality B) pada PT. EMC di Kabupaten Bojonegoro," *Akad. J. Mhs. Humanis*, vol. 5, no. 1, pp. 563–573, 2025, doi: 10.37481/jmh.v5i1.1273.
- [9] P. D. T. O'Connor, *Practical Reliability Engineering*, Fourth. John Wiley & Sons Ltd., 2002.
- [10] A. Corder and K. Hadi, *Teknik Manajemen Pemeliharaan*, 2nd ed. Jakarta: Erlangga, 1992.
- [11] M. R. Akbar and W. Widiyati, "Analisis Perawatan Mesin Bubut dengan Metode Preventive Maintenance Guna Menghindari Kerusakan Secara Mendadak dan Untuk Menghitung Biaya Perawatan," *J. SENOPATI Sustain. Ergon. Optim. Appl. Ind. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 32–45, 2022, doi: 10.31284/j.senopati.2022.v4i1.3086.
- [12] M. A. Andrian, T. Industri, U. S. Karawang, and F. Mode, "Penerapan Perawatan Mesin Die Cut Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)," vol. 9, no. 2, pp. 194–203, 2024.
- [13] J. Moubray, *Reliability Centered Maintenance II*, Second. New York: Industrial Press, 2007.
- [14] Iqbal Maulana and Didik Aribowo, "Perencanaan Perawatan Mesin Injection Molding Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance PT. Bolde Makmur Indonesia," *Venus J. Publ. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 2, no. 3, pp. 130–138, 2024, doi: 10.61132/venus.v2i3.310.
- [15] B. S. Dhillon, *Maintenance , and Reliability and Reliability*. 2006.
- [16] G. R. H. Anthony M. Smith, *RCM--Gateway to World Class Maintenance*. England: Elsevier, 2003.
- [17] R. A. Pratama, Y. A. Fatimah, and T. A. Purnomo, "Minimasi Downtime Mesin Dryer dengan Reliability Centered Maintenance di PT Papertech Indonesia Unit II," *Borobudur Eng. Rev.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2021, doi: 10.31603/benr.3166.
- [18] T. W. P. dan S. Nurlaily Mufarikhah, "Studi Implementasi RCM untuk Peningkatan Produktivitas Dok Apung (Studi Kasus: PT. Dok dan Perkapalan Surabaya)," *J. Tek. ITS*, vol. 2, no. 1, pp. 1–56, 2023.
- [19] M. Prabowo and T. Ihsan, "Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Untuk Mengoptimalkan Waktu C-Check CASA 212-400 i," *J. Ilm. Tek. dan Manaj. Ind.*, vol. 3, pp. 1639–1650, 2023, doi: 10.46306/tgc.v3i2.
- [20] J. Purnomo, N. Affandi, and A. Rahmatullah, "Analisis Penerapan Perawatan Motor Konveyor Mesin Xray Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm) Pada Pt. Tristan Engineering," *J. Ilm. Tek. dan Manaj. Ind.*, vol. 1, no. 2, pp. 154–169, 2021, doi: 10.46306/tgc.v1i2.14.
- [21] R. Bachrul Ulum, Tarman, H. Firmansyah, and R. F. Ramdhani, "Reliability Centered Maintenance (Rcm) Dalam Menganalisis Pada Precision Air Conditioning (Pac) Di Pt Xyz," *J. Teknol.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–8, 2023, doi: 10.51132/teknologika.v13i1.239.
- [22] C. E. Ebeling, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, Third. New York: McGraw-Hill International, 1997.
- [23] F. Hakim Nasution, M. Syahrani Jailani, and R. Junaidi, "Kombinasi (Mixed-Methods) Dalam Praktis Penelitian Ilmiah," *J. Genta Mulia*, vol. 15, no. 2, pp. 251–256, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.stkipbbm.ac.id/index.php/gm>
- [24] R. Marcos and E. Pasykaria, "Analisis Penjadwalan Sistem Perawatan Mesin Molding Pada Pt Kwong Fai Di Kota Batam," *Comasie*, vol. 08, no. 1, pp. 64–73, 2023.
- [25] A. W. R. Muchammad Firmansyah, "Analisis Perawatan Mesin dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) terhadap Mesin Bag Inserter (FLEXIM)," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 4, pp. 2514–2521, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.uniramalang.ac.id/index.php/g-tech/article/view/1823/1229>