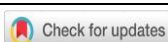


ANALISIS EFISIENSI BIAYA PEMELIHARAAN MESIN ROBOT WELDING MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) DI PT. XYZ

Hardi Elfandi¹, Yayan Heru Haerudin², Rizky Fajar Ramdhani³

^{1,2,3} Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Indonesia

Email: hardielfandi63@wastukencana.ac.id



DOI: <https://doi.org/10.34125/jkps.v11i3.3272>

Sections Info

Article history:

Submitted: 23 March 2026

Final Revised: 11 April 2026

Accepted: 16 May 2026

Published: 30 June 2026

Keywords:

Reliability Centered

Maintenance (RCM)

Robot Welding

Pemeliharaan Mesin

Failure Mode and Effects

Analysis (FMEA)

Efisiensi Biaya.



ABSTRAK

The Robot Welding machine is one of the primary production equipment at PT. XYZ with a high utilization rate, requiring an effective maintenance system to ensure its operational reliability. The existing maintenance system is predominantly based on corrective maintenance, resulting in recurring failures, increased downtime, and higher maintenance costs. This study aims to identify critical components, determine appropriate maintenance strategies using the Reliability Centered Maintenance (RCM) method, and analyze maintenance cost efficiency. The research employs the Reliability Centered Maintenance (RCM) approach supported by Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Risk Priority Number (RPN), and Logic Tree Analysis (LTA). The analysis identified four critical components: Contact Tip, O-ring, Feeder Roller, and Conduit Cable (Liner). Based on the RCM Decision Worksheet, the Contact Tip is recommended for Time-Based Maintenance (TBM), while the O-ring, Feeder Roller, and Conduit Cable (Liner) are recommended for Condition-Based Maintenance (CBM). The maintenance cost analysis indicates that the total corrective maintenance cost was IDR 5,177,177, whereas the proposed preventive maintenance cost was reduced to IDR 4,650,000, resulting in a cost saving of IDR 527,177 or approximately 10.18%. The findings demonstrate that the implementation of the Reliability Centered Maintenance method can improve the effectiveness of the maintenance system while reducing maintenance costs for the Robot Welding machine at PT. XYZ.

ABSTRAK

Mesin Robot Welding merupakan salah satu peralatan utama dalam proses produksi di PT. XYZ yang memiliki tingkat utilisasi tinggi sehingga memerlukan sistem pemeliharaan yang efektif untuk menjaga keandalan mesin. Sistem pemeliharaan yang masih didominasi corrective maintenance menyebabkan kerusakan berulang, meningkatnya downtime, dan tingginya biaya pemeliharaan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi komponen kritis, menentukan strategi pemeliharaan menggunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM), serta menganalisis efisiensi biaya pemeliharaan. Metode yang digunakan meliputi Reliability Centered Maintenance (RCM) dengan pendekatan Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Risk Priority Number (RPN), dan Logic Tree Analysis (LTA). Berdasarkan hasil analisis diperoleh komponen kritis yaitu Contact Tip, O-ring, Feeder Roller, dan Conduit Cable (Liner). Hasil Decision Worksheet menunjukkan bahwa Contact Tip direkomendasikan menggunakan Time Based Maintenance (TBM), sedangkan O-ring, Feeder Roller, dan Conduit Cable menggunakan Condition Based Maintenance (CBM). Analisis biaya menunjukkan bahwa total biaya corrective maintenance sebesar Rp5.177.177, sedangkan usulan preventive maintenance sebesar Rp4.650.000 sehingga diperoleh penghematan biaya sebesar Rp527.177 atau sekitar 10,18%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode Reliability Centered Maintenance mampu meningkatkan efektivitas sistem pemeliharaan sekaligus menekan biaya pemeliharaan mesin Robot Welding di PT. XYZ.

Kata kunci: Reliability Centered Maintenance, FMEA, Logic Tree Analysis, Robot Welding, Efisiensi Biaya Pemeliharaan

PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur pada era Revolusi Industri 4.0 telah mendorong perusahaan untuk mengimplementasikan sistem otomasi guna meningkatkan produktivitas, kualitas produk, serta efisiensi proses produksi. Salah satu bentuk implementasi otomasi tersebut adalah penggunaan mesin Robot Welding yang mampu menghasilkan kualitas pengelasan secara konsisten, meningkatkan kapasitas produksi, mengurangi kesalahan akibat faktor manusia, serta mempercepat proses manufaktur. Di sisi lain, tingginya tingkat pemanfaatan mesin otomatis menuntut perusahaan memiliki sistem pemeliharaan yang mampu menjaga keandalan peralatan agar proses produksi berlangsung tanpa gangguan. Oleh karena itu, strategi pemeliharaan menjadi faktor penting dalam mendukung keberlangsungan operasi industri manufaktur modern (Moubray, 1997; Jardine et al., 2022).

Keandalan mesin merupakan indikator utama yang menentukan keberhasilan sistem produksi. Mesin yang beroperasi secara terus-menerus akan mengalami penurunan performa akibat keausan komponen maupun degradasi material sehingga meningkatkan probabilitas terjadinya kegagalan fungsi. Apabila kegagalan tersebut tidak ditangani melalui sistem pemeliharaan yang tepat, maka perusahaan akan menghadapi peningkatan downtime, terganggunya target produksi, meningkatnya biaya operasional, serta menurunnya tingkat produktivitas perusahaan. Oleh sebab itu, aktivitas pemeliharaan tidak lagi dipandang sebagai biaya tambahan, melainkan sebagai investasi untuk menjaga keberlangsungan proses produksi (Wireman, 2019; Sharma & Yadava, 2023).

PT. XYZ merupakan perusahaan manufaktur yang memproduksi komponen otomotif dengan memanfaatkan Robot Welding Yaskawa sebagai salah satu mesin utama dalam proses produksi. Berdasarkan data operasional perusahaan selama Januari hingga Juni 2025, mesin Robot Welding beroperasi selama 1.024 jam dengan rata-rata waktu operasi antara 160–176 jam setiap bulan. Tingginya tingkat utilisasi tersebut menunjukkan bahwa mesin Robot Welding memiliki kontribusi yang sangat besar terhadap kelancaran proses produksi perusahaan sehingga setiap gangguan pada mesin akan berdampak langsung terhadap pencapaian target produksi.

Meskipun memiliki tingkat utilisasi yang tinggi, hasil observasi menunjukkan bahwa mesin Robot Welding masih mengalami berbagai gangguan operasional seperti burnback, ketidakstabilan hasil pengelasan, penumpukan spatter, serta gangguan pada wire feeder. Gangguan tersebut menyebabkan terjadinya penghentian operasi mesin (downtime) yang menghambat proses produksi. Berdasarkan data historis perusahaan selama Januari–Juni 2025, total downtime mesin mencapai 11,3 jam, dengan downtime tertinggi terjadi pada bulan Mei sebesar 2,3 jam dan terendah pada bulan Juni sebesar 1,3 jam. Walaupun persentase downtime relatif kecil dibandingkan total jam operasi, kerusakan yang terjadi bersifat berulang pada beberapa komponen kritis sehingga menunjukkan bahwa sistem pemeliharaan yang diterapkan belum mampu mencegah terjadinya kegagalan secara optimal.

Sistem pemeliharaan yang diterapkan di PT. XYZ masih didominasi oleh corrective maintenance, yaitu tindakan perbaikan yang dilakukan setelah komponen mengalami kerusakan. Pendekatan tersebut menyebabkan perusahaan harus menanggung biaya penggantian suku cadang, biaya tenaga kerja pemeliharaan, serta kerugian akibat kehilangan waktu produksi. Semakin tinggi frekuensi kerusakan yang terjadi maka semakin besar pula biaya pemeliharaan yang harus dikeluarkan perusahaan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa strategi corrective maintenance belum mampu memberikan efisiensi biaya maupun meningkatkan keandalan mesin secara optimal.

Dalam praktik manajemen pemeliharaan modern, pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM) telah banyak digunakan untuk meningkatkan efektivitas sistem pemeliharaan. RCM merupakan metode yang berorientasi pada fungsi mesin dengan mengidentifikasi mode kegagalan, menganalisis konsekuensi kegagalan, kemudian menentukan strategi pemeliharaan yang paling sesuai berdasarkan tingkat risiko setiap komponen. Pendekatan ini memungkinkan perusahaan memfokuskan sumber daya pemeliharaan pada komponen yang benar-benar kritis sehingga mampu meningkatkan keandalan mesin sekaligus mengoptimalkan biaya pemeliharaan (Moubray, 1997; IEC 60300-3-11, 2021).

Penerapan RCM umumnya dipadukan dengan metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) untuk mengidentifikasi potensi kegagalan setiap komponen serta menghitung tingkat prioritas risiko menggunakan Risk Priority Number (RPN). Selanjutnya dilakukan Logic Tree Analysis (LTA) untuk mengklasifikasikan tingkat kekritisan komponen berdasarkan dampak kegagalan terhadap keselamatan kerja, kontinuitas operasi, serta aspek ekonomi perusahaan. Integrasi ketiga metode tersebut memungkinkan perusahaan menentukan strategi pemeliharaan berbasis Time Based Maintenance (TBM) maupun Condition Based Maintenance (CBM) secara lebih tepat sasaran (Jardine et al., 2022; Sharma & Yadava, 2023).

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa implementasi Reliability Centered Maintenance mampu menurunkan frekuensi kerusakan mesin, mengurangi downtime, meningkatkan availability peralatan, serta menekan biaya pemeliharaan. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada identifikasi komponen kritis dan penyusunan strategi pemeliharaan tanpa mengevaluasi efisiensi biaya setelah penerapan usulan pemeliharaan. Padahal analisis biaya merupakan indikator penting dalam menentukan keberhasilan implementasi suatu sistem pemeliharaan karena berkaitan langsung dengan efisiensi operasional perusahaan (Eti et al., 2021; Alsyoud, 2022).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menerapkan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) yang didukung oleh Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) serta Logic Tree Analysis (LTA) untuk mengidentifikasi komponen kritis pada mesin Robot Welding PT. XYZ, menentukan strategi pemeliharaan yang paling tepat, serta mengevaluasi efisiensi biaya pemeliharaan setelah penerapan usulan program pemeliharaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen kritis terdiri atas Contact Tip, O-ring, Feeder Roller, dan Conduit Cable (Liner), dengan rekomendasi Time Based Maintenance pada Contact Tip serta Condition Based Maintenance pada tiga komponen lainnya. Selain itu, usulan strategi pemeliharaan mampu menurunkan biaya pemeliharaan dari Rp5.177.177 menjadi Rp4.650.000 atau menghasilkan penghematan sebesar Rp527.177 (10,18%), sehingga diharapkan dapat menjadi rekomendasi bagi perusahaan dalam meningkatkan keandalan mesin sekaligus efisiensi biaya pemeliharaan.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode studi kasus pada sistem pemeliharaan mesin Robot Welding Yaskawa di PT. XYZ. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi aktual sistem pemeliharaan mesin, sedangkan pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis tingkat keandalan mesin, mengidentifikasi komponen kritis, menentukan prioritas kegagalan, serta menghitung efisiensi biaya pemeliharaan menggunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM).

Pendekatan tersebut dipilih karena mampu menghasilkan rekomendasi pemeliharaan berdasarkan data aktual yang diperoleh dari perusahaan sehingga hasil penelitian dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam penyusunan kebijakan pemeliharaan mesin. Metode studi kasus memungkinkan peneliti melakukan analisis secara mendalam terhadap karakteristik mesin Robot Welding beserta seluruh komponen yang memengaruhi kontinuitas proses produksi (Moubray, 1997; Jardine et al., 2022).

Penelitian difokuskan pada analisis keandalan sistem pemeliharaan dengan mengintegrasikan metode **Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)**, **Logic Tree Analysis (LTA)**, serta **Decision Worksheet Reliability Centered Maintenance**. Kombinasi ketiga metode tersebut digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan, menentukan tingkat prioritas risiko berdasarkan nilai **Risk Priority Number (RPN)**, mengelompokkan tingkat kekritisan komponen, serta memilih strategi pemeliharaan yang paling sesuai bagi setiap komponen mesin. Pendekatan tersebut telah banyak diterapkan pada industri manufaktur karena mampu meningkatkan efektivitas program pemeliharaan sekaligus mengurangi biaya operasional perusahaan (Wireman, 2019; Sharma & Yadava, 2023).

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PT. XYZ, yaitu perusahaan manufaktur yang menggunakan mesin Robot Welding Yaskawa sebagai salah satu fasilitas utama dalam proses produksi. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada tingginya intensitas penggunaan mesin Robot Welding serta masih ditemukannya berbagai kerusakan yang menyebabkan downtime selama proses produksi. Berdasarkan data perusahaan, penelitian menggunakan data historis pemeliharaan periode Januari–Juni 2025 sebagai dasar analisis keandalan mesin dan penyusunan strategi pemeliharaan.

Periode penelitian dipilih karena telah mewakili kondisi operasional mesin dalam satu siklus produksi sehingga mampu menggambarkan pola kerusakan, frekuensi kegagalan, serta biaya pemeliharaan yang terjadi selama mesin beroperasi. Penggunaan data historis tersebut memungkinkan proses identifikasi mode kegagalan dilakukan secara objektif berdasarkan kondisi nyata di lapangan sehingga rekomendasi yang dihasilkan lebih akurat dan dapat diterapkan oleh perusahaan.

Objek Penelitian

Objek penelitian adalah mesin Robot Welding Yaskawa beserta seluruh komponen yang berperan dalam proses pengelasan otomatis. Mesin tersebut dipilih karena memiliki tingkat utilisasi yang tinggi dalam proses produksi sehingga setiap gangguan operasional akan berdampak langsung terhadap pencapaian target produksi perusahaan. Berdasarkan hasil identifikasi awal, beberapa komponen yang sering mengalami kegagalan antara lain Contact Tip, O-ring, Feeder Roller, Conduit Cable (Liner), Nozzle, Solenoid Valve, serta beberapa komponen pendukung lainnya. Komponen-komponen tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan metode Reliability Centered Maintenance untuk menentukan tingkat kekritisan serta strategi pemeliharaan yang paling sesuai.

Jenis dan Sumber Data

Penelitian memanfaatkan dua jenis data, yaitu **data primer** dan **data sekunder**. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap proses pemeliharaan mesin, wawancara dengan teknisi maintenance dan operator produksi, serta diskusi dengan supervisor yang bertanggung jawab terhadap operasional Robot Welding. Data primer digunakan untuk mengidentifikasi fungsi mesin, mode kegagalan, penyebab kerusakan,

dampak kegagalan, serta prosedur pemeliharaan yang selama ini diterapkan oleh perusahaan.

Sementara itu, data sekunder diperoleh dari dokumen perusahaan berupa data downtime, histori kerusakan mesin, data penggantian suku cadang, jadwal pemeliharaan, biaya pemeliharaan, serta spesifikasi teknis mesin Robot Welding. Data tersebut menjadi dasar dalam proses analisis Reliability Centered Maintenance karena menggambarkan kondisi aktual sistem pemeliharaan selama periode penelitian. Selain itu, penelitian juga menggunakan berbagai literatur ilmiah mengenai Reliability Centered Maintenance, Failure Mode and Effects Analysis, Logic Tree Analysis, serta Condition Based Maintenance sebagai dasar penyusunan kerangka analisis (IEC 60300-3-11, 2021; Jardine et al., 2022).

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa teknik agar informasi yang diperoleh bersifat komprehensif. Teknik pertama adalah observasi, yaitu melakukan pengamatan langsung terhadap aktivitas pemeliharaan mesin Robot Welding untuk mengetahui kondisi aktual peralatan, prosedur kerja teknis, serta karakteristik kerusakan yang terjadi selama proses produksi. Observasi juga dilakukan untuk mengidentifikasi komponen-komponen yang sering mengalami kegagalan sehingga dapat dijadikan fokus analisis.

Teknik kedua adalah wawancara dengan teknisi maintenance, operator mesin, serta supervisor produksi. Wawancara dilakukan secara semi terstruktur untuk memperoleh informasi mengenai riwayat kerusakan, penyebab utama kegagalan, tindakan pemeliharaan yang selama ini dilakukan, serta kendala yang dihadapi dalam pelaksanaan maintenance. Informasi tersebut digunakan sebagai pendukung dalam penyusunan tabel Failure Mode and Effects Analysis.

Teknik ketiga adalah studi dokumentasi, yaitu mengumpulkan berbagai dokumen perusahaan berupa data downtime, laporan kerusakan, jadwal pemeliharaan, data biaya maintenance, serta data penggantian komponen. Studi dokumentasi bertujuan memperoleh data kuantitatif yang diperlukan dalam perhitungan nilai Risk Priority Number (RPN), penyusunan Logic Tree Analysis, dan analisis efisiensi biaya pemeliharaan.

Tahapan Analisis Data

Analisis data dilakukan secara sistematis mengikuti tahapan Reliability Centered Maintenance (RCM). Tahap pertama adalah mengidentifikasi fungsi utama mesin Robot Welding beserta standar kinerja yang harus dipenuhi selama proses produksi. Pada tahap ini ditentukan fungsi operasional setiap komponen sehingga dapat diketahui konsekuensi apabila terjadi kegagalan fungsi. Identifikasi fungsi merupakan dasar dalam menentukan kebutuhan pemeliharaan yang sesuai dengan karakteristik mesin (Moubray, 1997).

Tahap kedua adalah mengidentifikasi **Failure Mode** dan penyebab kegagalan menggunakan metode **Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)**. Setiap komponen dianalisis berdasarkan potensi kegagalan, penyebab kerusakan, dampak terhadap sistem produksi, serta tindakan pemeliharaan yang telah dilakukan perusahaan. Selanjutnya dilakukan penilaian terhadap tiga parameter utama FMEA yaitu **Severity (S)**, **Occurrence (O)**, dan **Detection (D)** untuk memperoleh nilai **Risk Priority Number (RPN)** melalui persamaan:

$$\text{RPN} = \text{Severity} \times \text{Occurrence} \times \text{Detection}$$

Semakin besar nilai RPN maka semakin tinggi prioritas komponen tersebut untuk mendapatkan tindakan pemeliharaan.

Tahap ketiga adalah melakukan Logic Tree Analysis (LTA). Analisis ini bertujuan mengelompokkan setiap mode kegagalan berdasarkan aspek Evidence, Safety, Outage, dan Category sehingga dapat diketahui apakah suatu komponen termasuk kategori Safety Problem, Outage Problem, Economic Problem, atau Hidden Failure. Pengelompokan tersebut menjadi dasar dalam menentukan strategi pemeliharaan yang paling efektif terhadap setiap komponen mesin.

Tahap keempat adalah menyusun Decision Worksheet Reliability Centered Maintenance. Pada tahap ini ditentukan jenis tindakan pemeliharaan yang paling sesuai berdasarkan hasil analisis FMEA dan Logic Tree Analysis. Strategi yang dipilih meliputi Time Based Maintenance (TBM) bagi komponen yang memerlukan penggantian secara berkala serta Condition Based Maintenance (CBM) bagi komponen yang memerlukan pemantauan kondisi sebelum dilakukan tindakan pemeliharaan. Pendekatan tersebut bertujuan meningkatkan keandalan mesin sekaligus mengoptimalkan biaya pemeliharaan perusahaan.

Tahap terakhir adalah melakukan analisis efisiensi biaya pemeliharaan. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan total biaya pemeliharaan aktual perusahaan dengan biaya setelah penerapan usulan Reliability Centered Maintenance. Selisih kedua biaya tersebut digunakan untuk mengetahui besarnya penghematan yang diperoleh perusahaan setelah implementasi strategi pemeliharaan yang direkomendasikan. Berdasarkan hasil penelitian, penerapan Reliability Centered Maintenance mampu menurunkan biaya pemeliharaan sebesar Rp527.177 atau 10,18% dibandingkan sistem pemeliharaan sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Gambaran Umum Objek Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada mesin **Robot Welding Yaskawa** yang digunakan PT. XYZ dalam proses pengelasan komponen otomotif. Mesin ini termasuk kategori mesin produksi utama karena beroperasi hampir setiap hari selama proses produksi berlangsung. Tingginya intensitas penggunaan menyebabkan mesin memiliki risiko kegagalan yang relatif tinggi apabila sistem pemeliharaan tidak dilakukan secara optimal. Oleh karena itu, perusahaan memerlukan strategi pemeliharaan yang mampu menjaga tingkat keandalan mesin sekaligus mengurangi biaya pemeliharaan (Moubray, 1997).

Berdasarkan data historis perusahaan, selama periode Januari hingga Juni 2025 mesin Robot Welding beroperasi selama **1.024 jam**. Selama periode tersebut masih ditemukan beberapa gangguan operasional yang menyebabkan downtime sehingga target produksi berpotensi terganggu. Data operasional tersebut menjadi dasar dalam analisis Reliability Centered Maintenance untuk menentukan komponen kritis yang memerlukan prioritas pemeliharaan.

2. Data Downtime Mesin Robot Welding

Data downtime menunjukkan frekuensi berhentinya operasi mesin akibat kerusakan selama periode penelitian.

Tabel 1. Data Downtime Mesin Robot Welding Januari-Juni 2025

Bulan	Jam Operasi Downtime (Jam)	
Januari	176	1,8
Februari	160	1,7
Maret	176	2,0
April	168	2,2
Mei	176	2,3
Juni	168	1,3
Total	1.024	11,3

Sumber: Data PT. XYZ (2025).

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa total downtime mesin Robot Welding selama periode penelitian mencapai 11,3 jam. Downtime tertinggi terjadi pada bulan Mei sebesar 2,3 jam, sedangkan downtime terendah terjadi pada bulan Juni sebesar 1,3 jam. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kerusakan mesin masih terjadi secara berulang meskipun perusahaan telah melaksanakan kegiatan pemeliharaan rutin. Tingginya downtime mengindikasikan bahwa sistem pemeliharaan yang diterapkan masih bersifat reaktif sehingga belum mampu mencegah munculnya kegagalan secara optimal (Wireman, 2019).

3. Identifikasi Komponen Kritis

Tahap berikutnya adalah mengidentifikasi seluruh komponen yang mengalami kerusakan selama periode penelitian. Identifikasi dilakukan berdasarkan histori perbaikan, hasil observasi lapangan, serta wawancara dengan teknisi maintenance.

Tabel 2. Komponen Mesin yang Mengalami Kerusakan

No	Komponen	Jenis Kerusakan
1	Contact Tip	Aus dan burnback
2	Nozzle	Spatter menumpuk
3	Feeder Roller	Aus sehingga wire slip
4	Conduit Cable (Liner)	Tersumbat
5	O-ring	Robek dan bocor
6	Solenoid Valve	Tidak bekerja optimal

Sumber: Data PT. XYZ (2025).

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa sebagian besar kerusakan terjadi pada komponen yang secara langsung berhubungan dengan proses pengumpanan kawat las. Kerusakan pada Contact Tip, Feeder Roller, Conduit Cable, dan O-ring menyebabkan kualitas hasil pengelasan menurun serta mengakibatkan penghentian operasi mesin untuk proses penggantian komponen. Oleh karena itu, komponen-komponen tersebut menjadi fokus utama dalam analisis Reliability Centered Maintenance.

4. Analisis Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

Analisis FMEA dilakukan untuk mengetahui tingkat risiko setiap mode kegagalan melalui penilaian terhadap parameter Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D). Nilai ketiga parameter tersebut kemudian dikalikan untuk memperoleh nilai Risk Priority Number (RPN).

Tabel 3. Hasil Perhitungan Risk Priority Number (RPN)

Komponen	S	O	D	RPN
Contact Tip	8	6	4	192
O-ring	7	6	4	168
Feeder Roller	7	5	4	140
Conduit Cable	6	5	4	120
Nozzle	5	4	4	80
Solenoid Valve	5	3	4	60

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian.

Hasil analisis menunjukkan bahwa Contact Tip memiliki nilai RPN tertinggi, yaitu 192, sehingga menjadi komponen dengan tingkat prioritas pemeliharaan paling tinggi. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kegagalan Contact Tip memiliki tingkat keparahan yang besar, frekuensi kejadian relatif tinggi, serta belum mudah dideteksi sebelum kerusakan terjadi. Komponen dengan nilai RPN tinggi harus menjadi prioritas dalam penyusunan strategi pemeliharaan agar risiko downtime dapat diminimalkan (IEC 60300-3-11, 2021).

Selain Contact Tip, komponen O-ring, Feeder Roller, dan Conduit Cable juga memiliki nilai RPN yang cukup tinggi. Keempat komponen tersebut merupakan bagian utama dalam proses pengelasan sehingga kegagalannya dapat menyebabkan kualitas hasil pengelasan menurun bahkan menghentikan proses produksi. Oleh karena itu, strategi pemeliharaan yang diterapkan perlu mempertimbangkan tingkat kekritisannya masing-masing komponen agar penggunaan sumber daya pemeliharaan menjadi lebih efektif.

5. Logic Tree Analysis (LTA)

Setelah dilakukan analisis FMEA, setiap mode kegagalan diklasifikasikan menggunakan **Logic Tree Analysis (LTA)**.

Tabel 4. Hasil Logic Tree Analysis

Komponen	Evidence	Safety	Outage	Kategori
Contact Tip	Ya	Tidak	Ya	B
O-ring	Ya	Tidak	Ya	B
Feeder Roller	Ya	Tidak	Ya	B
Conduit Cable	Ya	Tidak	Ya	B
Nozzle	Ya	Tidak	Tidak	C
Solenoid Valve	Ya	Tidak	Tidak	C

Sumber: Hasil analisis penelitian.

Berdasarkan hasil Logic Tree Analysis diketahui bahwa Contact Tip, O-ring, Feeder Roller, dan Conduit Cable termasuk Kategori B (Outage Problem). Hal tersebut menunjukkan bahwa kegagalan pada komponen tersebut secara langsung menyebabkan berhentinya proses produksi sehingga memerlukan prioritas pemeliharaan yang lebih tinggi dibandingkan komponen lainnya. Sementara itu, Nozzle dan Solenoid Valve termasuk kategori Economic Problem karena lebih banyak memengaruhi efisiensi biaya dibandingkan penghentian produksi.

6. Decision Worksheet Reliability Centered Maintenance

Tahap berikutnya adalah menentukan strategi pemeliharaan berdasarkan hasil analisis RCM.

Tabel 5. Usulan Strategi Pemeliharaan

Komponen	Strategi
Contact Tip	Time Based Maintenance
O-ring	Condition Based Maintenance
Feeder Roller	Condition Based Maintenance
Conduit Cable	Condition Based Maintenance

Sumber: Hasil analisis RCM.

Hasil Decision Worksheet menunjukkan bahwa Contact Tip direkomendasikan menggunakan Time Based Maintenance (TBM) karena memiliki tingkat keausan yang relatif dapat diprediksi berdasarkan jam operasi. Penggantian secara berkala dinilai lebih efektif dibandingkan menunggu terjadinya kerusakan. Sebaliknya, komponen O-ring, Feeder Roller, dan Conduit Cable direkomendasikan menggunakan Condition Based Maintenance (CBM) karena kondisi kerusakan dapat diketahui melalui inspeksi visual maupun pemantauan performa mesin. Strategi tersebut memungkinkan tindakan pemeliharaan dilakukan berdasarkan kondisi aktual komponen sehingga biaya pemeliharaan dapat ditekan tanpa mengurangi tingkat keandalan mesin.

7. Analisis Efisiensi Biaya Pemeliharaan

Tahap terakhir adalah membandingkan biaya pemeliharaan aktual dengan biaya setelah penerapan Reliability Centered Maintenance.

Tabel 6. Perbandingan Biaya Pemeliharaan

Keterangan	Biaya (Rp)
Biaya Aktual	5.177.177
Biaya Usulan RCM	4.650.000
Penghematan	527.177
Efisiensi	10,18%

Sumber: Hasil analisis penelitian.

Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan Reliability Centered Maintenance mampu menurunkan biaya pemeliharaan sebesar Rp527.177 atau sekitar 10,18% dibandingkan sistem pemeliharaan sebelumnya. Penurunan biaya tersebut diperoleh melalui penentuan interval pemeliharaan yang lebih tepat serta penerapan strategi Condition Based Maintenance pada komponen yang tidak memerlukan penggantian secara periodik. Hasil ini menunjukkan bahwa metode RCM tidak hanya meningkatkan keandalan mesin tetapi juga memberikan manfaat ekonomi bagi perusahaan melalui pengurangan biaya pemeliharaan.

Pembahasan

1. Analisis Tingkat Keandalan Mesin Robot Welding

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pemeliharaan yang diterapkan pada mesin Robot Welding PT. XYZ masih didominasi oleh pendekatan **corrective maintenance**, yaitu tindakan pemeliharaan yang dilakukan setelah komponen mengalami kerusakan. Pendekatan tersebut menyebabkan mesin masih mengalami downtime selama periode

Januari-Juni 2025 dengan total waktu henti sebesar **11,3 jam**. Meskipun secara persentase downtime tersebut relatif kecil dibandingkan total jam operasi mesin, frekuensi kerusakan yang terjadi secara berulang pada komponen tertentu menunjukkan bahwa sistem pemeliharaan yang diterapkan belum mampu mengendalikan potensi kegagalan sejak dini. Kondisi tersebut mengakibatkan proses produksi harus dihentikan sementara setiap kali terjadi kerusakan sehingga berdampak terhadap produktivitas perusahaan.

Menurut Moubray (1997), keberhasilan sistem pemeliharaan tidak hanya diukur dari kemampuan memperbaiki mesin setelah terjadi kerusakan, tetapi lebih menitikberatkan pada kemampuan menjaga fungsi peralatan agar tetap beroperasi sesuai kebutuhan proses produksi. Oleh karena itu, pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM) memandang bahwa strategi pemeliharaan harus disusun berdasarkan fungsi peralatan, konsekuensi kegagalan, serta tingkat risiko masing-masing komponen. Dengan demikian, perusahaan tidak lagi hanya berorientasi pada kegiatan perbaikan, tetapi juga melakukan tindakan pencegahan terhadap potensi kegagalan sebelum benar-benar terjadi.

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa tingginya intensitas penggunaan Robot Welding menyebabkan beberapa komponen mengalami keausan lebih cepat dibandingkan komponen lainnya. Kondisi tersebut merupakan karakteristik umum pada mesin produksi otomatis yang beroperasi secara kontinu. Semakin tinggi jam operasi mesin, maka probabilitas kegagalan komponen juga semakin meningkat apabila tidak diimbangi dengan program pemeliharaan yang sistematis. Oleh sebab itu, implementasi Reliability Centered Maintenance menjadi solusi yang tepat karena mampu mengarahkan sumber daya pemeliharaan pada komponen yang benar-benar kritis sehingga efektivitas pemeliharaan dapat ditingkatkan (Jardine et al., 2022).

2. Analisis Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

Berdasarkan hasil Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), diketahui bahwa Contact Tip merupakan komponen dengan tingkat risiko tertinggi karena memiliki nilai Risk Priority Number (RPN) sebesar 192. Nilai tersebut diperoleh dari kombinasi tingkat keparahan kegagalan (Severity), frekuensi terjadinya kegagalan (Occurrence), serta kemampuan sistem mendeteksi kegagalan (Detection). Nilai RPN yang tinggi menunjukkan bahwa kegagalan Contact Tip mempunyai dampak besar terhadap proses pengelasan sehingga memerlukan prioritas utama dalam program pemeliharaan. Tingginya nilai tersebut juga menunjukkan bahwa komponen mengalami keausan relatif cepat akibat kontak langsung dengan kawat las selama proses produksi.

Selain Contact Tip, penelitian ini juga menunjukkan bahwa O-ring, Feeder Roller, dan Conduit Cable (Liner) memiliki nilai RPN yang relatif tinggi. Keempat komponen tersebut merupakan bagian yang secara langsung memengaruhi stabilitas proses pengumpanan kawat las sehingga kegagalannya menyebabkan kualitas hasil pengelasan menurun bahkan dapat menghentikan proses produksi. Apabila kerusakan tidak segera ditangani, maka perusahaan berpotensi mengalami peningkatan downtime, pemborosan material, serta meningkatnya biaya pemeliharaan. Oleh karena itu, hasil FMEA memberikan dasar yang objektif dalam menentukan urutan prioritas pemeliharaan berdasarkan tingkat risiko setiap komponen.

Temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian Sharma dan Yadava (2023) yang menyatakan bahwa FMEA merupakan metode yang efektif dalam mengidentifikasi komponen kritis pada sistem produksi karena mampu memberikan prioritas perbaikan berdasarkan nilai Risk Priority Number. Penggunaan FMEA juga membantu perusahaan mengalokasikan sumber daya pemeliharaan secara lebih efisien sehingga kegiatan

maintenance difokuskan pada komponen yang memiliki dampak terbesar terhadap keberlangsungan operasi.

3. Pembahasan Logic Tree Analysis (LTA)

Setelah dilakukan analisis Failure Mode and Effects Analysis, setiap mode kegagalan kemudian diklasifikasikan menggunakan Logic Tree Analysis (LTA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Contact Tip, O-ring, Feeder Roller, dan Conduit Cable termasuk dalam Kategori B (Outage Problem). Artinya, kegagalan pada komponen-komponen tersebut secara langsung menyebabkan penghentian proses produksi sehingga membutuhkan tindakan pemeliharaan yang lebih serius dibandingkan komponen lain.

Pengelompokan tersebut menunjukkan bahwa perusahaan tidak dapat lagi menerapkan strategi corrective maintenance pada seluruh komponen secara seragam. Pendekatan tersebut berpotensi meningkatkan biaya pemeliharaan karena setiap kerusakan harus diperbaiki setelah mesin berhenti beroperasi. Sebaliknya, melalui Logic Tree Analysis perusahaan mampu mengetahui komponen mana yang benar-benar memerlukan perhatian utama sehingga strategi pemeliharaan dapat disusun secara lebih efisien.

Menurut standar Reliability Centered Maintenance, klasifikasi menggunakan Logic Tree Analysis sangat penting karena mempertimbangkan aspek keselamatan, kontinuitas operasi, serta konsekuensi ekonomi yang ditimbulkan oleh suatu kegagalan. Dengan demikian, hasil klasifikasi tidak hanya digunakan sebagai dasar teknis, tetapi juga sebagai pertimbangan manajemen dalam menyusun kebijakan pemeliharaan jangka panjang.

4. Evaluasi Strategi Time Based Maintenance dan Condition Based Maintenance

Hasil Decision Worksheet Reliability Centered Maintenance menunjukkan bahwa Contact Tip lebih tepat dipelihara menggunakan Time Based Maintenance (TBM), sedangkan O-ring, Feeder Roller, dan Conduit Cable direkomendasikan menggunakan Condition Based Maintenance (CBM). Perbedaan strategi tersebut didasarkan pada karakteristik kegagalan masing-masing komponen. Contact Tip mengalami keausan yang relatif dapat diprediksi berdasarkan jam operasi sehingga penggantian berkala dinilai lebih efektif dibandingkan menunggu hingga terjadi kerusakan. Sebaliknya, kondisi O-ring, Feeder Roller, dan Conduit Cable masih dapat dipantau melalui inspeksi rutin sehingga penggantian dilakukan ketika indikator kerusakan mulai terlihat.

Strategi tersebut sesuai dengan konsep Reliability Centered Maintenance yang menyatakan bahwa tidak semua komponen harus diperlakukan menggunakan metode pemeliharaan yang sama. Komponen dengan pola kerusakan yang dapat diprediksi lebih sesuai menggunakan pemeliharaan berbasis waktu, sedangkan komponen yang tingkat kerusakannya dipengaruhi kondisi operasi lebih tepat menggunakan pemeliharaan berbasis kondisi. Pendekatan tersebut memberikan keseimbangan antara tingkat keandalan mesin dengan efisiensi biaya pemeliharaan (Moubray, 1997).

Selain meningkatkan efektivitas pemeliharaan, penerapan kombinasi TBM dan CBM juga memberikan fleksibilitas bagi perusahaan dalam mengatur jadwal maintenance. Komponen yang masih berada dalam kondisi baik tidak perlu diganti hanya karena telah mencapai interval waktu tertentu sehingga perusahaan dapat mengurangi pemborosan penggunaan suku cadang. Sebaliknya, komponen yang menunjukkan gejala awal kerusakan dapat segera diperbaiki sebelum menyebabkan kegagalan total pada mesin.

5. Analisis Efisiensi Biaya Pemeliharaan

Salah satu temuan utama penelitian ini adalah keberhasilan Reliability Centered

Maintenance dalam meningkatkan efisiensi biaya pemeliharaan. Berdasarkan hasil analisis, total biaya pemeliharaan sebelum penerapan usulan sebesar Rp5.177.177, sedangkan setelah penerapan strategi Reliability Centered Maintenance menjadi Rp4.650.000. Dengan demikian, perusahaan memperoleh penghematan sebesar Rp527.177 atau sekitar 10,18% dibandingkan sistem pemeliharaan sebelumnya.

Penghematan tersebut diperoleh karena perusahaan tidak lagi melakukan penggantian komponen secara reaktif setelah terjadi kerusakan, melainkan menerapkan strategi pemeliharaan yang disesuaikan dengan karakteristik setiap komponen. Pendekatan tersebut mampu mengurangi frekuensi kerusakan mendadak, menekan biaya penggantian suku cadang, mengurangi waktu henti produksi, serta meningkatkan efektivitas penggunaan tenaga kerja pemeliharaan.

Hasil penelitian ini memperkuat teori biaya pemeliharaan yang menjelaskan bahwa keseimbangan antara preventive maintenance dan corrective maintenance merupakan faktor utama dalam mencapai efisiensi operasional. Perusahaan yang terlalu mengandalkan corrective maintenance cenderung memiliki biaya pemeliharaan lebih tinggi karena harus menanggung biaya downtime, kehilangan produksi, serta kerusakan lanjutan pada komponen lainnya. Sebaliknya, penerapan Reliability Centered Maintenance mampu menghasilkan keseimbangan tersebut melalui pemilihan strategi pemeliharaan yang paling sesuai berdasarkan tingkat risiko setiap komponen.

6. Implikasi Penelitian

Secara praktis, hasil penelitian memberikan rekomendasi kepada PT. XYZ untuk mengimplementasikan Reliability Centered Maintenance sebagai kebijakan pemeliharaan utama pada mesin Robot Welding. Implementasi tersebut perlu didukung oleh penyusunan jadwal inspeksi berkala, pencatatan histori kerusakan yang lebih sistematis, peningkatan kompetensi teknisi maintenance, serta evaluasi berkala terhadap efektivitas program pemeliharaan yang telah diterapkan. Dengan demikian, perusahaan dapat meningkatkan availability mesin sekaligus mempertahankan efisiensi biaya operasional.

Dari sisi akademis, penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi metode Reliability Centered Maintenance, Failure Mode and Effects Analysis, serta Logic Tree Analysis mampu menghasilkan keputusan pemeliharaan yang lebih objektif dibandingkan penggunaan metode corrective maintenance secara konvensional. Oleh karena itu, pendekatan ini dapat dijadikan referensi bagi penelitian selanjutnya yang membahas sistem pemeliharaan pada industri manufaktur, khususnya pada mesin produksi berbasis otomasi seperti Robot Welding.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai Analisis Efisiensi Biaya Pemeliharaan Mesin Robot Welding Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) di PT. XYZ, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode Reliability Centered Maintenance mampu memberikan pendekatan pemeliharaan yang lebih sistematis, efektif, dan efisien dibandingkan sistem pemeliharaan yang sebelumnya diterapkan oleh perusahaan. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi komponen kritis berdasarkan tingkat risiko kegagalannya sehingga aktivitas pemeliharaan tidak lagi dilakukan secara reaktif, melainkan berdasarkan fungsi, konsekuensi kegagalan, dan kondisi aktual setiap komponen (Moubray, 1997; Jardine et al., 2022).

Hasil analisis menunjukkan bahwa selama periode Januari hingga Juni 2025, mesin Robot Welding beroperasi selama 1.024 jam dengan total downtime sebesar 11,3 jam.

Meskipun tingkat downtime relatif kecil dibandingkan total jam operasi, masih ditemukan beberapa kerusakan berulang yang mengakibatkan terganggunya kontinuitas proses produksi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem pemeliharaan yang selama ini diterapkan belum mampu mencegah terjadinya kegagalan secara optimal sehingga diperlukan penyempurnaan strategi pemeliharaan melalui pendekatan Reliability Centered Maintenance.

Berdasarkan analisis Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) diperoleh bahwa Contact Tip merupakan komponen yang memiliki tingkat risiko tertinggi dengan nilai Risk Priority Number (RPN) sebesar 192, diikuti oleh O-ring, Feeder Roller, dan Conduit Cable (Liner). Nilai RPN yang tinggi menunjukkan bahwa keempat komponen tersebut mempunyai tingkat keparahan, frekuensi kegagalan, dan tingkat kesulitan deteksi yang relatif tinggi sehingga memerlukan prioritas utama dalam penyusunan program pemeliharaan. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa penggunaan metode FMEA mampu membantu perusahaan dalam menentukan prioritas pemeliharaan secara objektif berdasarkan tingkat risiko masing-masing komponen.

Hasil Logic Tree Analysis (LTA) menunjukkan bahwa komponen Contact Tip, O-ring, Feeder Roller, dan Conduit Cable termasuk dalam kategori Outage Problem (Kategori B) karena kegagalan pada komponen tersebut dapat menyebabkan penghentian proses produksi. Berdasarkan hasil Decision Worksheet Reliability Centered Maintenance, strategi pemeliharaan yang direkomendasikan adalah Time Based Maintenance (TBM) untuk komponen Contact Tip, sedangkan Condition Based Maintenance (CBM) diterapkan pada komponen O-ring, Feeder Roller, dan Conduit Cable. Strategi tersebut dinilai paling sesuai dengan karakteristik kegagalan masing-masing komponen sehingga mampu meningkatkan keandalan mesin sekaligus mengoptimalkan penggunaan sumber daya pemeliharaan.

Dari aspek ekonomi, penerapan Reliability Centered Maintenance memberikan hasil yang signifikan terhadap efisiensi biaya pemeliharaan. Total biaya pemeliharaan yang sebelumnya sebesar Rp5.177.177 dapat ditekan menjadi Rp4.650.000, sehingga perusahaan memperoleh penghematan sebesar Rp527.177 atau sekitar 10,18%. Penghematan tersebut diperoleh melalui penentuan strategi pemeliharaan yang lebih tepat, pengurangan frekuensi kerusakan mendadak, serta optimalisasi jadwal penggantian komponen berdasarkan tingkat risiko dan kondisi aktual mesin. Dengan demikian, Reliability Centered Maintenance tidak hanya meningkatkan keandalan mesin, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi melalui penurunan biaya pemeliharaan.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa integrasi metode Reliability Centered Maintenance (RCM), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), dan Logic Tree Analysis (LTA) merupakan pendekatan yang efektif dalam meningkatkan keandalan mesin Robot Welding di PT. XYZ. Implementasi metode tersebut mampu menghasilkan kebijakan pemeliharaan yang lebih terarah, meningkatkan efektivitas penggunaan sumber daya pemeliharaan, mengurangi downtime, serta menciptakan efisiensi biaya operasional perusahaan. Oleh karena itu, metode Reliability Centered Maintenance layak dijadikan sebagai strategi pemeliharaan utama pada mesin Robot Welding maupun mesin produksi lainnya yang memiliki tingkat utilisasi tinggi dalam lingkungan industri manufaktur modern (Wireman, 2019; Sharma & Yadava, 2023).

REFERENSI

- Alsyouf, I. (2022). Maintenance practices and their impact on manufacturing performance: A review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 28(2), 240–258.
- Andrian, M. A. (2024). *Penerapan Perawatan Mesin Die Cut Menggunakan Metode Reliability*

- Centered Maintenance (RCM)*, 9(2), 194–203.
- Andriani, D., & Prasetyo, H. (2023). Analisis penerapan Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk meningkatkan keandalan mesin produksi. *Jurnal Teknik Industri*, 24(2), 117–128.
- Anthony, J., dkk. (2025). Penerapan Reliability Centered Maintenance pada Perencanaan Waktu Interval Preventive Maintenance Unit Container Crane di Terminal Peti Kemas PT Pelindo IV Bitung. **Jurnal Tekno Mesin**, 10(1), 22–29.
- Crespo Márquez, A. (2019). *The maintenance management framework: Models and methods for complex systems maintenance* (2nd ed.). Springer.
- Dhillon, B. S. (2021). *Engineering maintenance: A modern approach* (2nd ed.). CRC Press.
- Eti, M. C., Ogaji, S. O. T., & Probert, S. D. (2021). Integrating reliability, availability, maintainability and supportability with maintenance strategies. *Applied Energy*, 84(2), 202–215.
- Fauzi, M., & Kurniawan, A. (2022). Penerapan Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) dalam menentukan prioritas pemeliharaan mesin produksi. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 11(3), 185–195.
- Ginting, A. F. (2024). Pengaruh Otomatisasi dan Robotik terhadap Produktivitas di Sektor Manufaktur. **Circle Archive**, 1(6), 1–7.
- Hendryanto, R. L., Hendryanto, R. Y., & Basri, H. (2023). Penerapan Metoda RCM dan Analisis FMECA untuk Menentukan Interval Preventive Maintenance dan Estimasi Biaya Perawatan Mesin Potong Plat YSD HGS 31/30, 9(2), 481–488.
- Hidayat, R., & Saputra, D. (2024). Analisis Reliability Centered Maintenance pada mesin produksi menggunakan metode FMEA dan Logic Tree Analysis. *Jurnal Integrasi Sistem Industri*, 9(1), 32–44.
- IEC. (2021). IEC 60300-3-11: *Dependability management – Application guide – Reliability centered maintenance*. International Electrotechnical Commission.
- Ishak, D. P., Hotmauli, M., Prajadhiana, K. P., Mara, T., Alam, S., & KevalPrajadhiana, M. (2023). *Planning Preventive Maintenance for Press Machines Using Reliability Centered Maintenance (RCM) Method: A Case Study in a Plantation Company*.
- Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2022). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 182, 109565.
- Jatira, A. A. (2021). Metode Perawatan dan Pemeliharaan Mesin. *Jurnal Teknologika*. (2025). Analisis Perawatan Mesin dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM), 1(1), 727–739.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Muhaemin, G., & Nugraha, A. E. (2022). Penerapan Total Productive Maintenance (TPM) Pada Perawatan Mesin Cutter di PT. XYZ. 8, 205–219.
- Nafiuddin, M. R., Mukhtar, M. N. A., dkk. (2025). Penerapan Metode FMEA dan RCM untuk Penjadwalan Preventive Maintenance Mesin CNC Laser Cutting. **Jumantara**, 4(2), 81–90. <https://doi.org/10.28989/jumantara.v4i2.3038>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total productive maintenance*. Productivity Press.
- Nowlan, F. S., & Heap, H. F. (1978). *Reliability-centered maintenance*. United States Department of Defense.
- Prabowo, M., & Ihsan, T. (2023). Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk Mengoptimalkan Waktu C-Check CASA 212-400. hlm. 1639–1650.
- Pratama, Y., & Nugroho, S. (2023). Penentuan strategi preventive maintenance menggunakan Reliability Centered Maintenance pada industri manufaktur. *Jurnal Teknik Mesin*

- Indonesia*, 18(1), 52–63.
- Putri, H. A., & Negoro, P. (2025). *Reliability-Centered Maintenance pada Mesin Bubut menggunakan MTTR, MTTF, MTBF*, 5(4), 377–384.
- Rahman, A., & Wijaya, H. (2022). Analisis efektivitas Condition Based Maintenance dalam meningkatkan keandalan mesin produksi. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 21(2), 101–112.
- Rohmat. (2022). *Analisis Perawatan Mesin Conveyor dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)*, 3(1).
- Rudiana, I. F., Yulia, L., & Nursolih, E. *Analisis Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Metode RCM (Reliability Centered Maintenance) pada PT. Surya Agrolika Reksa*, 65–74.
- Sabela, T. E., Happy, A., & Ariyani, M. *Analisis Risiko Produksi pada Industri Kecil Tahu Menggunakan Metode FMEA*.
- Santoso, G. (2022). *ISSN 2798-3641 (Online)*, 2(1).
- Sari, N., & Kusuma, E. (2023). Analisis biaya pemeliharaan mesin menggunakan pendekatan Reliability Centered Maintenance. *Jurnal Teknologi Industri*, 14(2), 79–90.
- Sharma, A., & Yadava, G. S. (2023). Reliability centered maintenance implementation in manufacturing industries: A systematic review. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 14(4), 1548–1563.
- Siagian, I. I., Johannes, P., & Christine, A. (2024). *Analisis Perawatan Mesin Kritis Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance di Manufaktur Kelapa Sawit*, 7(2).
- Susetyo, A. E. (2021). *Analisis Nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE) Pada Mesin Bartack Bagian Sewing Line Karimun*. 5(1), 25–34.
- Wicaksono, N. R., Duratun, S., & Rosady, N. (2024). *Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk Menentukan Strategi Perawatan Mesin Pencacah Sampah Organik*, 1–15.
- Wireman, T. (2019). *Benchmarking best practices in maintenance management* (3rd ed.). Industrial Press.

Copyright holder:

© Author

First publication right:

Jurnal Kepemimpinan & Pengurusan Sekolah

This article is licensed under:

