

Optimalisasi Keandalan Robot Sealer Menggunakan Metode FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) Dan RCM (Reliability Centered Maintenance) Di Line Body Shop Di Industri Otomotif

Willy Rio Fernando¹, Hana Silvia Dwi Putri²

¹²³ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa, Bekasi, Indonesia

Email willyrio96@gmail.com, hana@pelitabangsa.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab penurunan keandalan robot sealer dan menentukan strategi pemeliharaan yang optimal pada Line Body Shop di industri otomotif. Penelitian ini menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Reliability Centered Maintenance (RCM), serta perhitungan Mean Time Between Failure (MTBF) dan Mean Time To Repair (MTTR). Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus di PT XYZ, Cikarang. Peneliti memperoleh data penelitian dari data downtime, frekuensi breakdown, dan waktu perbaikan robot sealer selama periode Januari–Desember 2024. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nozzle clogging, servo motor overheat, sensor error, dan pneumatic leakage menjadi penyebab utama terjadinya breakdown pada robot sealer. Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa nozzle clogging memiliki nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi sehingga menjadi prioritas utama dalam tindakan perbaikan. Selanjutnya, hasil analisis RCM menghasilkan rekomendasi strategi pemeliharaan berupa preventive maintenance, predictive maintenance, inspeksi berkala, dan monitoring kondisi komponen kritis. Strategi tersebut diharapkan mampu menurunkan frekuensi breakdown, meningkatkan keandalan robot sealer, serta mendukung efektivitas dan produktivitas proses produksi pada area Body Shop.

Kata kunci: Robot Sealer, FMEA, RCM, MTBF, MTTR, Breakdown, Pemeliharaan Preventif.

ABSTRACT

This study aims to analyze the causes of the decline in robot sealer reliability and determine the optimal maintenance strategy in the Body Shop Line in the automotive industry. This study uses the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method, Reliability Centered Maintenance (RCM), and the calculation of Mean Time Between Failure (MTBF) and Mean Time To Repair (MTTR). This study uses a quantitative descriptive method with a case study approach at PT XYZ, Cikarang. Researchers obtained research data from downtime data, breakdown frequency, and repair time of the robot sealer during the period January–December 2024. The results of the study indicate that nozzle clogging, servo motor overheating, sensor errors, and pneumatic leakage are the main causes of breakdowns in the robot sealer. The results of the FMEA analysis show that nozzle clogging has the highest Risk Priority Number (RPN) value so it is the main priority for repair actions. Furthermore, the results of the RCM analysis produce recommendations for maintenance strategies in the form of preventive maintenance, predictive maintenance, periodic inspections, and monitoring the condition of critical components. This strategy is expected to reduce the frequency of breakdowns, increase the reliability of the robot sealer, and support the effectiveness and productivity of the production process in the Body Shop area.

Keywords: Robot Sealer, FMEA, RCM, MTBF, MTTR, Breakdown, Preventive Maintenance

Pendahuluan

Industri otomotif modern merupakan sektor manufaktur dengan tingkat persaingan yang sangat tinggi. Dalam kondisi tersebut, efisiensi, kualitas, dan keandalan sistem produksi menjadi faktor kunci untuk mempertahankan daya saing perusahaan. Salah satu teknologi yang menopang produktivitas industri otomotif adalah otomasi dengan robot industri, terutama pada area Body Shop. Area ini berperan dalam pembentukan dan perakitan rangka utama kendaraan atau body in white, sehingga kestabilan operasi robot menjadi sangat penting. Gangguan kecil pada robot dapat berdampak pada kualitas hasil, keterlambatan proses lanjutan, dan peningkatan biaya operasional.

Robot sealer memiliki karakteristik kerja yang berbeda dibandingkan robot welding. Robot welding lebih banyak beroperasi pada proses penyambungan logam, sedangkan robot sealer bekerja pada aplikasi material sealant yang sifatnya kental, dapat mengering, dan membutuhkan kestabilan tekanan serta akurasi gerak. Kondisi ini membuat robot sealer lebih rentan terhadap penyumbatan nozzle, kebocoran hose, gangguan pneumatic, sensor error, dan overheating pada servo motor. Jika gangguan tersebut tidak dikendalikan, maka proses sealing dapat menjadi tidak merata, menyebabkan rework, atau memicu line stop.

Dalam konteks manajemen pemeliharaan, breakdown berulang menunjukkan bahwa sistem perawatan belum sepenuhnya mampu mencegah kegagalan sebelum terjadi. Pola perawatan yang hanya mengandalkan corrective maintenance akan membuat perusahaan bereaksi setelah kegagalan muncul. Pendekatan seperti ini tidak memadai untuk sistem produksi otomotif yang memiliki tuntutan output tinggi dan waktu siklus ketat. Oleh karena itu, strategi pemeliharaan perlu diarahkan pada preventive maintenance, predictive maintenance, dan condition-based maintenance yang berbasis pada data kerusakan aktual.

Metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) banyak digunakan untuk memetakan mode kegagalan, dampak, penyebab, dan tingkat prioritas risiko melalui parameter Severity, Occurrence, dan Detection. Nilai Risk Priority Number (RPN) yang dihasilkan menjadi dasar untuk menentukan mode kegagalan yang harus diprioritaskan. Dalam standar dan praktik industri, FMEA digunakan sebagai alat sistematis untuk mengidentifikasi bagaimana suatu item atau proses dapat gagal sehingga tindakan pengendalian dapat ditentukan[1][2]

Sementara itu, Reliability Centered Maintenance (RCM) digunakan untuk menentukan strategi pemeliharaan paling sesuai berdasarkan fungsi sistem, kegagalan fungsi, failure mode, failure effect, dan konsekuensi kegagalan. RCM menempatkan aktivitas perawatan tidak hanya berdasarkan jadwal umum, tetapi berdasarkan konsekuensi operasional dan karakteristik risiko[31]. Pendekatan ini relevan untuk robot sealer karena setiap failure mode memiliki dampak yang berbeda terhadap kualitas, keamanan, downtime, dan produktivitas produksi.

Penelitian ini memiliki kontribusi praktis karena memadukan RCA.[3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], FMEA [10], [11], [12], [13], MTTR[14], MTBF[15], dan RCM [16], [17], [18] pada objek robot sealer di line Body Shop. Berbeda dari kajian pemeliharaan umum, penelitian ini menekankan pada kebutuhan spesifik robot sealer yang berhubungan langsung dengan sistem dispensi sealant, sensor posisi, servo motor, pneumatic system, dan komunikasi kontrol. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar bagi perusahaan untuk menyusun program pemeliharaan yang lebih terstruktur, berbasis risiko, dan sesuai dengan karakteristik kegagalan aktual di lapangan[33].

Berdasarkan permasalahan tersebut, tujuan penelitian ini adalah: (1) mengidentifikasi faktor penyebab utama penurunan keandalan robot sealer, (2) mengevaluasi tingkat keandalan berdasarkan MTTR, MTBF, dan RPN, serta (3) merumuskan rekomendasi strategi pemeliharaan berbasis RCM untuk meningkatkan keandalan robot sealer pada area Body Shop[34].

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode studi kasus. Objek penelitian adalah robot sealer pada line Body Shop PT XYZ, Cikarang. Pendekatan kuantitatif digunakan karena penelitian ini mengolah data numerik berupa running hours, downtime, jumlah breakdown, frekuensi kerusakan komponen, nilai MTTR, nilai MTBF, serta nilai RPN. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menjelaskan karakteristik kerusakan, akar penyebab, dan rekomendasi pemeliharaan yang sesuai dengan kondisi operasional robot sealer. Data penelitian berupa data sekunder yang diperoleh dari catatan maintenance perusahaan selama periode Januari–Desember 2024. Data yang digunakan terdiri atas data running hours, data downtime, data breakdown bulanan, frekuensi aktivitas maintenance, dan data kerusakan komponen. Selain itu, informasi kualitatif diperoleh dari observasi lapangan dan diskusi dengan tim maintenance untuk memperkuat interpretasi penyebab kerusakan dan relevansi tindakan perawatan.

Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi masalah, pengumpulan data historis, pengelompokan failure mode, analisis Pareto, RCA, perhitungan MTTR dan MTBF, FMEA, serta penyusunan maintenance task berbasis RCM. Analisis Pareto digunakan untuk menentukan failure mode dominan berdasarkan kontribusi frekuensi breakdown. RCA digunakan untuk menelusuri akar penyebab kerusakan sehingga usulan perbaikan tidak hanya menargetkan gejala, tetapi juga penyebab mendasar.

MTTR digunakan untuk mengukur rata-rata waktu perbaikan setelah robot mengalami kerusakan. Semakin kecil nilai MTTR, semakin cepat mesin dapat dikembalikan ke kondisi operasi. MTBF digunakan untuk mengukur rata-rata waktu operasi robot sebelum mengalami kerusakan berikutnya. Semakin tinggi nilai MTBF, semakin baik tingkat keandalan robot. Dalam penelitian ini, MTTR dihitung dengan membagi total downtime dengan jumlah breakdown, sedangkan MTBF dihitung dengan membagi total operating time dengan jumlah breakdown.

FMEA dilakukan dengan mengidentifikasi failure mode, effect of failure, penyebab potensial, serta nilai Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D). Severity menggambarkan tingkat keparahan dampak kegagalan, Occurrence menunjukkan frekuensi atau kemungkinan kejadian, dan Detection menunjukkan kemampuan sistem atau kegiatan perawatan dalam mendeteksi kegagalan sebelum berdampak pada proses. Nilai RPN dihitung dengan mengalikan S, O, dan D. Failure mode dengan nilai RPN tertinggi menjadi prioritas utama perbaikan.

RCM digunakan untuk menerjemahkan hasil analisis risiko menjadi strategi pemeliharaan. Proses RCM dalam penelitian ini meliputi identifikasi fungsi sistem, functional failure, failure mode, failure effect, consequence analysis, penentuan jenis maintenance, dan penetapan interval perawatan. Jenis maintenance yang digunakan meliputi preventive maintenance, predictive maintenance, condition-based maintenance, scheduled replacement,

dan scheduled restoration. Penentuan interval dilakukan dengan mempertimbangkan frekuensi breakdown, nilai RPN, pola MTBF, dan konsekuensi kegagalan terhadap proses produksi.

Rumus yang digunakan dalam penelitian: $MTTR = \text{Total Downtime} / \text{Jumlah Breakdown}$; $MTBF = \text{Operating Time} / \text{Jumlah Breakdown}$; $RPN = S \times O \times D$.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Data Operasional Robot Sealer

Selama periode Januari–Desember 2024, robot sealer memiliki total running hours sebesar 4.224 jam. Jumlah total breakdown yang tercatat adalah 111 kejadian dengan total downtime sebesar 114 jam. Setiap bulan memiliki operating time yang sama, yaitu 352 jam, sehingga variasi nilai MTTR dan MTBF terutama dipengaruhi oleh jumlah breakdown dan downtime yang terjadi pada masing-masing bulan.

Bulan Agustus menjadi periode paling kritis karena memiliki jumlah breakdown tertinggi, yaitu 12 kejadian, downtime 14,1 jam, MTTR 1,18 jam, dan MTBF 29,33 jam. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada bulan tersebut robot sealer mengalami kerusakan paling sering dan membutuhkan waktu perbaikan relatif lebih lama dibandingkan bulan lain. Sebaliknya, bulan Maret menunjukkan kondisi terbaik dengan breakdown 7 kejadian, downtime 6,0 jam, MTTR 0,86 jam, dan MTBF 50,29 jam.

Tabel 1. Ringkasan Data Breakdown, Downtime, MTTR, dan MTBF Robot Sealer Tahun 2024

Bulan	Breakdown	Downtime (jam)	Operating Time (jam)	MTTR (jam)	MTBF (jam)
Januari	8	7,0	352	0,88	44,00
Februari	9	8,6	352	0,96	39,11
Maret	7	6,0	352	0,86	50,29
April	10	10,7	352	1,07	35,20
Mei	9	8,8	352	0,98	39,11
Juni	11	11,8	352	1,07	32,00
Juli	8	7,4	352	0,93	44,00
Agustus	12	14,1	352	1,18	29,33
September	9	9,3	352	1,03	39,11
Oktober	10	10,9	352	1,09	35,20
November	8	7,8	352	0,98	44,00
Desember	10	11,5	352	1,15	35,20
Total/Rata-rata	111	114,0	4224	1,03	38,05

Analisis Pareto dan Root Cause Analysis

Pengelompokan kerusakan menunjukkan bahwa failure mode robot sealer terkonsentrasi pada beberapa komponen kritis. Nozzle clogging merupakan kerusakan paling dominan dengan 30 kejadian atau 27,03% dari total breakdown. Sensor error berada pada urutan kedua dengan 26 kejadian (23,42%), sedangkan servo motor overheat berada pada urutan ketiga dengan 19 kejadian (17,12%). Tiga kegagalan ini berkontribusi sebesar 67,57% terhadap total breakdown, sehingga menjadi fokus utama perbaikan.

Hasil Pareto menunjukkan bahwa prioritas perbaikan sebaiknya tidak disebarakan secara merata pada seluruh komponen, tetapi difokuskan pada penyebab dominan. Pneumatic leakage memiliki kontribusi sebesar 13,51% dan membuat akumulasi empat kerusakan terbesar mencapai 81,08%. Dengan demikian, nozzle, sensor, servo motor, dan pneumatic system merupakan area kritis yang perlu dimasukkan ke dalam program pemeliharaan prioritas.

Tabel 2. Diagram Pareto Kerusakan Robot Sealer

Failure Mode	Frekuensi	Persentase (%)	Kumulatif (%)
Nozzle Clogging	30	27,03	27,03
Sensor Error	26	23,42	50,45
Servo Motor Overheat	19	17,12	67,57
Pneumatic Leakage	15	13,51	81,08
PLC Communication Error	9	8,11	89,19
Hose Leakage	7	6,31	95,50
Axis Overload	5	4,50	100,00



Gambar 1. Diagram Pareto Kerusakan Robot Sealer

RCA menunjukkan bahwa nozzle clogging disebabkan oleh material sealant yang mengering pada nozzle. Penyebab ini sangat terkait dengan karakteristik material dan frekuensi pembersihan nozzle. Jika nozzle tidak dibersihkan secara konsisten, sealant yang tersisa dapat mengering dan menghambat aliran material pada siklus berikutnya. Dampaknya adalah sealant tidak keluar sempurna, kualitas aplikasi menurun, dan robot berpotensi mengalami line stop.

Sensor error dipicu oleh sensor yang kotor dan kabel yang longgar. Pada area Body Shop, debu, partikel produksi, dan getaran operasional dapat mempercepat penurunan akurasi sensor. Servo motor overheat disebabkan oleh pendinginan motor yang belum optimal dan beban kerja yang tinggi. Pneumatic leakage terutama disebabkan oleh hose dan fitting yang bocor, sedangkan PLC communication error berhubungan dengan gangguan jaringan kontrol. Hasil RCA ini menegaskan bahwa strategi perawatan perlu menggabungkan aktivitas pembersihan, inspeksi, kalibrasi, pemantauan temperatur, dan pemeriksaan komunikasi kontrol.

Tabel 3. Ringkasan Root Cause Failure Mode Utama

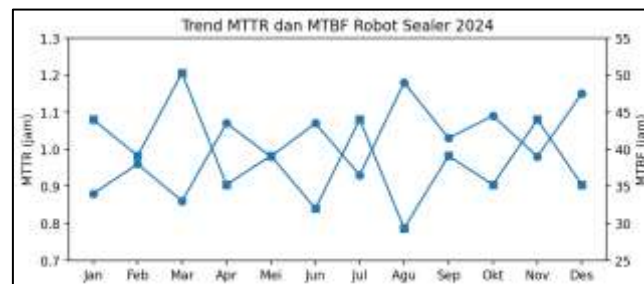
Failure Mode	Root Cause	Dampak Operasional
Nozzle clogging	Sealant mengering pada nozzle	Aliran sealant terhambat, potensi line stop, dan kualitas sealing menurun.
Sensor error	Sensor kotor dan kabel longgar	Robot gagal membaca posisi bodi sehingga jalur sealing dapat bergeser.
Servo motor overheat	Pendinginan motor kurang optimal	Robot dapat berhenti total atau mengalami ketidakstabilan gerakan.
Pneumatic leakage	Hose dan fitting bocor	Tekanan udara turun sehingga aktuator dan sistem dispensi tidak stabil.
PLC communication error	Gangguan jaringan kontrol	Robot kehilangan komunikasi dengan sistem kendali dan proses berhenti.

Analisis MTTR dan MTBF

Nilai MTTR robot sealer berada pada rentang 0,86–1,18 jam. Rata-rata MTTR sebesar 1,03 jam menunjukkan bahwa proses perbaikan oleh tim maintenance relatif cepat. Meskipun demikian, MTTR yang rendah belum cukup untuk menyatakan sistem sudah andal, karena keandalan juga dipengaruhi oleh frekuensi kerusakan. Dalam kasus ini, kerusakan masih terjadi cukup sering, sehingga fokus perbaikan tidak hanya mempercepat perbaikan, tetapi juga memperpanjang interval antarkedang.

Nilai MTBF robot sealer berada pada rentang 29,33–50,29 jam dengan rata-rata 38,05 jam. Nilai ini menunjukkan bahwa robot rata-rata mengalami satu kali breakdown setiap 38 jam operasi. Pada industri otomotif dengan target produksi tinggi, interval tersebut masih relatif pendek. Oleh karena itu, program pemeliharaan perlu diarahkan untuk menurunkan kejadian breakdown pada failure mode dominan, khususnya nozzle clogging, error sensor, dan overheat pada servo motor.

Kombinasi MTTR dan MTBF memberikan gambaran yang lebih lengkap. MTTR menunjukkan kemampuan pemulihan setelah terjadi kerusakan, sedangkan MTBF menunjukkan kemampuan mesin untuk bertahan tanpa gangguan. Pada robot sealer, maintainability sudah cukup baik karena waktu perbaikan relatif singkat, tetapi reliability masih perlu diperbaiki karena interval antar kerusakan belum panjang dan fluktuasi bulanan masih terlihat jelas.



Gambar 2. Trend MTTR dan MTBF Robot Sealer Tahun 2024

Analisis FMEA dan Prioritas Risiko

FMEA dilakukan untuk mengukur tingkat risiko setiap failure mode berdasarkan nilai S, O, dan D. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nozzle clogging memiliki RPN tertinggi sebesar 320. Nilai ini berasal dari Severity 8, Occurrence 8, dan Detection 5. Nilai Severity yang tinggi menunjukkan bahwa kegagalan nozzle berdampak besar terhadap kualitas sealing dan kelancaran produksi. Nilai Occurrence yang tinggi menunjukkan bahwa kejadian ini sering terjadi, sedangkan Detection 5 menunjukkan bahwa kemampuan deteksi masih perlu diperkuat melalui inspeksi harian dan indikator kondisi nozzle.

Sensor error memiliki RPN sebesar 270 dengan Severity 9, Occurrence 6, dan Detection 5. Tingkat severity sensor error lebih tinggi karena kesalahan pembacaan posisi bodi dapat menyebabkan robot melakukan sealing pada posisi yang tidak tepat. Servo motor overheat memiliki RPN 245 dengan Severity 7, Occurrence 7, dan Detection 5. Mode kegagalan ini penting karena dapat menyebabkan robot berhenti total dan memicu downtime produksi.

Pneumatic leakage dan PLC communication error memiliki RPN kategori tinggi, masing-masing sebesar 168 dan 160. Hose leakage dan axis overload memiliki RPN lebih rendah, namun tetap perlu dikendalikan karena dapat berkembang menjadi kegagalan yang lebih serius apabila tidak ditangani secara berkala. Berdasarkan hasil FMEA, tindakan perbaikan harus diprioritaskan pada tiga failure mode tertinggi, tetapi tetap menyertakan seluruh komponen dalam jadwal maintenance terstruktur.

Tabel 4. Hasil FMEA Robot Sealer

No	Failure Mode	Effect of Failure	Penyebab Potensial	S	O	D	RPN	Prioritas
1	Nozzle Clogging	Sealant tidak keluar sempurna	Sealant mengering pada nozzle	8	8	5	320	Sangat Tinggi
2	Sensor Error	Robot salah posisi sealing	Sensor kotor/kabel longgar	9	6	5	270	Sangat Tinggi
3	Servo Motor Overheat	Robot stop total	Pendinginan kurang optimal	7	7	5	245	Sangat Tinggi
4	Pneumatic Leakage	Tekanan udara turun	Hose/fitting bocor	7	6	4	168	Tinggi
5	PLC Communication Error	Robot kehilangan komunikasi	Gangguan jaringan kontrol	8	4	5	160	Tinggi
6	Hose Leakage	Area sealing kotor	Hose aus	6	5	5	150	Sedang
7	Axis Overload	Gerakan robot abnormal	Beban kerja berlebih	8	3	5	120	Sedang



Gambar 3. Nilai RPN Failure Mode Robot Sealer

Strategi Pemeliharaan Berbasis RCM

Hasil FMEA kemudian digunakan sebagai input dalam penyusunan strategi pemeliharaan berbasis RCM. Prinsip utama RCM adalah menjaga fungsi sistem tetap berjalan sesuai kebutuhan operasi. Dalam penelitian ini, maintenance task ditentukan berdasarkan karakteristik failure mode dan konsekuensi operasionalnya. Failure mode yang memiliki pola kejadian berulang dan dapat dicegah melalui tindakan sederhana diarahkan pada preventive maintenance. Failure mode yang berkaitan dengan kondisi fisik komponen diarahkan pada condition-based maintenance atau scheduled replacement.

Nozzle clogging direkomendasikan untuk ditangani melalui cleaning nozzle dan flushing sealant setiap hari. Interval harian dipilih karena failure mode ini memiliki frekuensi tertinggi dan RPN terbesar. Cleaning harian dapat mencegah sealant mengering pada nozzle, menjaga kelancaran aliran material, dan mengurangi potensi line stop. Selain itu, perlu dibuat checklist harian yang ditandatangani operator atau teknisi agar aktivitas pembersihan lebih konsisten.

Sensor error direkomendasikan menggunakan cleaning dan kalibrasi sensor setiap minggu. Aktivitas ini penting karena sensor kotor atau kabel longgar dapat memengaruhi akurasi posisi robot. Servo motor overheat direkomendasikan menggunakan predictive maintenance melalui monitoring temperatur setiap minggu. Monitoring temperatur membantu teknisi mendeteksi gejala overheating sebelum robot berhenti total. Pneumatic leakage perlu dikendalikan melalui inspeksi hose dan fitting setiap minggu, karena kebocoran kecil dapat menurunkan tekanan udara dan mengganggu stabilitas sistem dispensi.

PLC communication error direkomendasikan melalui pemeriksaan jaringan PLC setiap bulan. Pemeriksaan ini mencakup koneksi kabel, kualitas komunikasi, dan kondisi perangkat kontrol. Hose leakage direkomendasikan melalui penggantian hose berdasarkan umur pakai setiap enam bulan. Axis overload direkomendasikan melalui pemeriksaan parameter servo dan beban robot setiap bulan. Dengan pembagian tugas seperti ini, perusahaan dapat menjalankan pemeliharaan yang lebih berbasis risiko dan tidak hanya bergantung pada tindakan korektif setelah kerusakan terjadi.

Tabel 5. Rekomendasi Maintenance Task Berbasis RCM

Failure Mode	RPN	Maintenance Task	Jenis Maintenance	Interval
Nozzle Clogging	320	Cleaning nozzle dan flushing sealant	Preventive Maintenance	Setiap hari
Sensor Error	270	Cleaning dan kalibrasi sensor	Preventive Maintenance	1 minggu
Servo Motor Overheat	245	Monitoring temperatur servo	Predictive Maintenance	1 minggu
Pneumatic Leakage	168	Pemeriksaan hose dan fitting	Condition Based Maintenance	1 minggu
PLC Communication Error	160	Pemeriksaan komunikasi PLC	Preventive Maintenance	1 bulan
Hose Leakage	150	Penggantian hose berdasarkan umur pakai	Scheduled Replacement	6 bulan
Axis Overload	120	Pemeriksaan parameter servo	Condition Based Maintenance	1 bulan

Implikasi Manajerial dan Teknis

Secara manajerial, hasil penelitian menunjukkan bahwa pengambilan keputusan maintenance perlu berbasis data. Selama ini, sistem perawatan yang cenderung reaktif membuat tindakan maintenance baru dilakukan setelah kegagalan terjadi. Dengan menggunakan FMEA dan RCM, perusahaan dapat menentukan prioritas komponen kritis, mengalokasikan sumber daya teknisi secara lebih tepat, dan menyusun jadwal perawatan yang sejalan dengan tingkat risiko masing-masing failure mode.

Secara teknis, perusahaan perlu mengembangkan standard operating procedure yang lebih rinci untuk aktivitas cleaning nozzle, kalibrasi sensor, inspeksi pneumatic, monitoring servo, dan pemeriksaan PLC. Setiap aktivitas sebaiknya memiliki parameter pemeriksaan yang terukur, misalnya kondisi visual nozzle, tekanan udara minimum, batas temperatur servo, status koneksi PLC, dan lifetime hose. Pencatatan digital juga diperlukan agar data breakdown, downtime, dan hasil inspeksi dapat dianalisis secara berkelanjutan.

Penerapan rekomendasi RCM juga perlu disertai evaluasi berkala. Indikator yang dapat digunakan meliputi penurunan frekuensi breakdown, peningkatan MTBF, penurunan downtime, penurunan nilai RPN setelah tindakan perbaikan, dan peningkatan availability. Jika setelah implementasi masih terdapat failure mode dominan, perusahaan dapat melakukan revisi interval perawatan atau menambahkan sensor monitoring untuk mendukung predictive maintenance.

Rekomendasi Implementasi Bertahap

Agar rekomendasi RCM dapat diterapkan secara efektif, perusahaan perlu menyusun rencana implementasi secara bertahap. Tahap awal difokuskan pada komponen dengan RPN tertinggi, yaitu nozzle, sensor, dan servomotor. Pada tahap ini, perusahaan perlu menyiapkan checklist pembersihan nozzle harian, standar kalibrasi sensor, dan batas temperatur servo yang dapat diterima. Tahap kedua difokuskan pada penguatan inspeksi sistem pneumatik dan komunikasi PLC, karena kedua sistem tersebut berperan sebagai pendukung kestabilan proses dispensasi dan koordinasi robot.

Tahap ketiga adalah digitalisasi pencatatan pemeliharaan. Setiap aktivitas perawatan sebaiknya dicatat dalam format yang seragam, mencakup waktu kejadian, jenis kerusakan, komponen terdampak, tindakan perbaikan, durasi perbaikan, teknisi pelaksana, dan hasil verifikasi setelah perbaikan. Pencatatan ini penting agar perusahaan dapat menghitung ulang MTTR, MTBF, downtime, dan RPN secara berkala. Dengan demikian, program maintenance tidak berhenti pada rekomendasi awal, tetapi berkembang menjadi sistem perbaikan yang berkelanjutan.

Tahap keempat adalah evaluasi efektivitas. Setelah rekomendasi dijalankan selama minimal tiga hingga enam bulan, perusahaan dapat membandingkan data sebelum dan sesudah implementasi. Indikator utama yang dapat digunakan adalah penurunan jumlah breakdown akibat nozzle clogging, peningkatan MTBF, penurunan total downtime, serta penurunan kejadian line stop akibat sensor error dan overheat servo motor. Jika target belum tercapai, interval perawatan dapat diperpendek atau metode predictive monitoring dapat diperkuat.

Tabel 6. Rencana Implementasi Rekomendasi Pemeliharaan

Tahap	Fokus	Aktivitas Utama	Periode
Tahap 1	Nozzle, sensor, servo motor	Checklist cleaning, kalibrasi sensor, dan monitoring temperatur	0–1 bulan

Tahap	Fokus	Aktivitas Utama	Periode
Tahap 2	Pneumatic system dan PLC	Inspeksi hose/fitting dan pemeriksaan komunikasi kontrol	1–2 bulan
Tahap 3	Sistem dokumentasi maintenance	Standarisasi form digital breakdown, downtime, MTTR, dan MTBF	2–3 bulan
Tahap 4	Evaluasi efektivitas	Perbandingan data sebelum dan sesudah implementasi RCM	3–6 bulan

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, data yang digunakan hanya mencakup satu area produksi dan satu jenis robot, sehingga generalisasi ke seluruh sistem robotik otomotif perlu dilakukan dengan hati-hati. Kedua, penelitian ini belum menghitung nilai availability dan biaya downtime secara rinci, sehingga dampak finansial dari setiap failure mode belum dapat ditampilkan secara lengkap. Ketiga, rekomendasi interval perawatan masih disusun berdasarkan data historis dan analisis risiko, dan belum melalui uji implementasi jangka panjang di lapangan.

Meskipun demikian, hasil penelitian tetap memberikan kontribusi penting karena mampu menunjukkan prioritas risiko yang jelas dan menyusun rekomendasi maintenance yang dapat langsung digunakan sebagai dasar perbaikan sistem pemeliharaan. Untuk penelitian lanjutan, metode FMEA-RCM dapat dikombinasikan dengan OEE, simulasi biaya perawatan, atau sensor berbasis Internet of Things agar keputusan perawatan dapat dibuat lebih prediktif dan real-time.

Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan keandalan robot sealer di line Body Shop disebabkan oleh kombinasi faktor mesin, manusia, metode, material, dan lingkungan. Faktor paling dominan berasal dari machine dan method, khususnya nozzle clogging, sensor error, servo motor overheats, pneumatic leakage, serta preventive maintenance yang belum optimal. Dari total 111 kejadian breakdown, nozzle clogging memberikan kontribusi terbesar yaitu 30 kejadian atau 27,03%, diikuti sensor error 26 kejadian atau 23,42%, dan servo motor overheat 19 kejadian atau 17,12%.

Hasil analisis keandalan menunjukkan rata-rata MTTR sebesar 1,03 jam dan rata-rata MTBF sebesar 38,05 jam. Nilai MTTR menunjukkan bahwa proses perbaikan relatif cepat, tetapi nilai MTBF menunjukkan bahwa robot sealer masih mengalami frekuensi kerusakan yang cukup tinggi. Hasil FMEA memperlihatkan tiga risiko tertinggi, yaitu nozzle clogging dengan RPN 320, sensor error dengan RPN 270, dan servo motor overheat dengan RPN 245. Dengan demikian, ketiga failure mode tersebut menjadi prioritas utama dalam program perbaikan.

Strategi pemeliharaan berbasis RCM yang direkomendasikan meliputi cleaning nozzle dan flushing sealant setiap hari, cleaning dan kalibrasi sensor setiap minggu, monitoring temperatur servo setiap minggu, inspeksi hose dan fitting pneumatic setiap minggu, pemeriksaan komunikasi PLC setiap bulan, penggantian hose sealant setiap enam bulan, serta pemeriksaan parameter servo axis setiap bulan. Penerapan strategi ini diharapkan dapat menurunkan frekuensi breakdown, memperpanjang MTBF, menekan downtime, dan mendukung stabilitas kualitas produksi Body Shop.

Penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan FMEA-RCM dengan Overall Equipment Effectiveness (OEE), Total Productive Maintenance (TPM), atau sistem monitoring berbasis sensor agar evaluasi keandalan robot sealer menjadi lebih komprehensif dan real-time.

Daftar Pustaka

- [1] H. T. O. Alaka, K. Mpofu, B. I. Ramatsetse, T. A. Adegbola, And M. O. Adeoti, “Developing Reliability Centered Maintenance In Automotive Robotic Welding Machines For A Tier 1 Supplier,” *Front. Robot. Ai*, Vol. 12, 2025, Doi: 10.3389/Frobt.2025.1620370.
- [2] N. Kumar, Komal, And J. S. Lather, “Reliability Analysis Of A Robotic System Using Hybridized Technique,” *Journal Of Industrial Engineering International*, Vol. 14, No. 3, Pp. 443–453, Sep. 2018, Doi: 10.1007/S40092-017-0235-5.
- [3] “Industrial_Robots_2016_Chapter_1_2”.
- [4] M. W. Syawalluddin, “Pendekatan Lean Thinking Dengan Menggunakan Menggunakan Metode Root Cause Analysis Untuk Mengurangi Non Value Added Activities.”
- [5] “Apa Itu Analisis Akar Masalah? | Ibm.” Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/id-id/think/topics/root-cause-analysis>
- [6] “What Is Root Cause Analysis? | Definition From Techtarget.” Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.techtarget.com/Searchitoperations/Definition/Root-Cause-Analysis?>

- [7] “Root Cause Analysis: What It Is And Why It Matters - Certlibrary Blog.” Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.certlibrary.com/blog/root-cause-analysis-what-it-is-and-why-it-matters/>
- [8] S. Hidayat, A. W. Rizki, And M. Jufriyanto, “Analisis Pengendalian Kualitas Defect Produk Sandal Kulit Dengan Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analisis (Fmea) Dan Root Cause Analisis (Rca) (Studi Kasus Di Umkm Chellbie),” Vol. 5, No. 4, 2024.
- [9] “Practical Reliability Engineering I,” 2011.
- [10] M. Sayuti And M. Dan Muhammad Siddiq Rifa, “Evaluasi Manajemen Perawatan Mesin Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Pada Pt. Z,” 2013.
- [11] Supriyati And Hasbullah, “Analisa Cacat Painting Komponen Automotive Dengan Pendekatan Dmaic-Fmea.”
- [12] J. Hasil, P. Dan, K. Ilmiah, A. Wicaksono, E. Dhartikasari Priyana, And Y. P. Nugroho³, “Analisis Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Failure Mode And Effects Analysis (Fmea) Pada Pompa Sentrifugal Di Pt. X.”
- [13] H. Al Rasyid, “Peningkatan Nilai Overall Equipment Effectiveness Pada Proses Pembuatan Kaca Cermin Dengan Metode Fmea.”
- [14] H. Iskandar Madyantoro, A. Adib, R. Ilmal Yaqin, And J. Preston Siahaan, “Penerapan Metode Fmea Dalam Perawatan Mesin Pendingin Kapal Penangkap Ikan (Studi Kasus: Km. Sinar Bayu Utama) Application Of The Fmea Method In Maintenance Of Fishing Ship Refrigeration (Case Study: Km. Sinar Bayu Utama).”
- [15] “Pengertian Reliability - Share28s.” Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.share28s.com/2021/04/pengertian-reliability-adalah.html>
- [16] J. M. Lachin, “The Role Of Measurement Reliability In Clinical Trials,” *Clinical Trials*, Vol. 1, No. 6, Pp. 553–566, 2004, Doi: 10.1191/1740774504cn0570a;Pagegroup:String:Publication.
- [17] “Reliability.” Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: https://www.brainkart.com/article/Reliability_5190/
- [18] A. M. Smith And G. R. Hinchcliffe, “Rcm-Gateway To World Class Maintenance,” 2004. [Online]. Available: www.bh.com
- [19] R. Bachrul Ulum, H. Firmansyah, And R. Fajar Ramdhani, “Reliability Centered Maintenance (Rcm) Dalam Menganalisis Pada Precision Air Conditioning (Pac) Di Pt Xyz Reliability Centered Maintenance (Rcm) In Analyzing Precision Air Conditioning (Pac) At Pt Xyz.”
- [20] “Analisis Efektivitas Mesin Menggunakan Metode Overall.”
- [21] W. M. Silaban And R. Y. Hutapea, “Analisis Efektivitas Penerapan Operation Breakdown (Ob) Di Pt. Dan Liris Melalui Evaluasi Cycle Time Dengan Metode Continuous Improvement,” *Tekinfo: Jurnal Ilmiah Teknik Industri Dan Informasi*, Vol. 11, No. 1, Pp. 77–88, Dec. 2022, Doi: 10.31001/Tekinfo.V11i1.1568.