

Evaluasi Keberhasilan Implementasi Total Productive Maintenance (TPM)

Oleh:

Muhammad Dwi Yulianto

221020200056

Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Sains Dan Teknologi

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo



PENDAHULUAN

Latar Belakang

- Crane Zoomlion 55 ton merupakan alat berat yang **berperan kritis** dalam kegiatan pengangkatan material. Dalam praktiknya, crane bekerja pada **beban tinggi, durasi panjang, dan lingkungan berat**, sehingga **potensi kegagalan sangat besar**

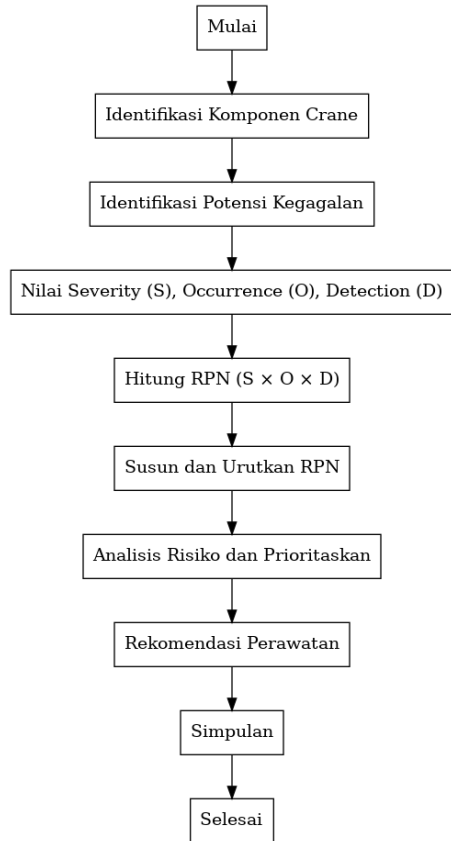
Rumusan Masalah

1. Bagaimana kondisi sistem maintenance crane Zoomlion 55 ton saat ini?
2. Komponen apa saja yang memiliki risiko kegagalan tertinggi?
3. Bagaimana perhitungan Risk Priority Number (RPN) tiap komponen?
4. Bagaimana strategi maintenance optimal berdasarkan hasil RPN?

Tujuan Penelitian

Mengevaluasi sistem maintenance crane Zoomlion 55 ton menggunakan metode **FMEA dan RPN** untuk meningkatkan keandalan dan keselamatan kerja.

METODE PENELITIAN



Identifikasi Komponen Crane

Identifikasi Potensi Kegagalan

- FMEA adalah teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial dalam suatu sistem, proses, atau produk, serta mengevaluasi efek dari kegagalan tersebut. FMEA dikembangkan pertama kali oleh industri aerospace pada tahun 1960-an dan telah diadopsi secara luas di berbagai industri

Nilai SOD (Severity, Occurrence, Detection)

- Severity (S) – Tingkat Keparahan** : Mengukur seberapa serius dampak atau konsekuensi jika kegagalan benar-benar terjadi, skala 1-10: 1 = dampak sangat ringan, 10 = dampak sangat berbahaya/kritis, dan contoh: Kegagalan sistem rem mobil = severity tinggi (9-10), sedangkan kegagalan lampu interior = severity rendah (2-3).
- Occurance (O) – Tingkat Kejadian** : Menilai seberapa sering atau seberapa besar kemungkinan kegagalan tersebut akan terjadi, biasanya juga skala 1-10: 1 = sangat jarang terjadi, 10 = sangat sering terjadi, dan berdasarkan data historis, pengalaman, atau estimasi teknis.
- Detection (D) – Tingkat Deteksi** : Mengukur kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum dampaknya dirasakan, skala 1-10: 1 = sangat mudah dideteksi, 10 = sangat sulit/hampir tidak mungkin dideteksi, dan semakin sulit dideteksi, semakin berbahaya karena kegagalan bisa terjadi tanpa peringatan.

Perhitungan RPN (S x O x D)

Risk Priority Number (RPN) merupakan indeks numerik yang digunakan dalam FMEA untuk memprioritaskan mode kegagalan berdasarkan tingkat risikonya

Interpretasi Nilai RPN

RPN 1-40: Risiko rendah.

RPN 41-100: Risiko sedang.

RPN 101-300: Risiko tinggi.

RPN >300: Risiko sangat tinggi, memerlukan tindakan segera.

Analisis Risiko dan Prioritas

Menentukan komponen atau sistem mana yang paling kritis dan membutuhkan perhatian segera berdasarkan tingkat risiko

Rekomendasi Perawatan

Komponen “Rekomendasi Perawatan” memaparkan output akhir dari suatu platform analisis pemeliharaan, baik dari predictive maintenance maupun condition monitoring system

Sumber penilaian Severity (S):

- Manual alat / SOP crane
- Analisis risiko keselamatan kerja
- Wawancara teknisi & operator
- Literatur FMEA (standar penilaian S)

Sumber penilaian Occurrence (O):

- Data downtime & breakdown
- Log maintenance perusahaan
- Catatan historis kerusakan
- Wawancara teknisi

Sumber penilaian Detection (D):

- Metode inspeksi yang tersedia
- Pengalaman teknisi
- Ada/tidaknya sensor atau indikator
- Prosedur maintenance

Hasil dan pembahasan

- **Hasil Analisis FMEA**

Analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dilakukan untuk menilai tingkat risiko dari sepuluh komponen utama pada crane Zoomlion 55 ton. Setiap komponen memiliki potensi kegagalan yang dapat berdampak pada keselamatan kerja dan efektivitas operasi alat. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan tiga parameter utama, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D), Untuk menghitung nilai RPN menggunakan rumus sebagai berikut

Setiap parameter diberi skor antara 1 sampai 5, berdasarkan tingkat keparahan, frekuensi kejadian, dan kemampuan deteksi. Nilai-nilai tersebut kemudian dikalikan untuk mendapatkan *Risk Priority Number* (RPN), yang digunakan untuk menentukan prioritas risiko setiap komponen. Hasil penilaian disajikan dalam tabel-tabel berikut

- **$RPN = S \times O \times D$**

- Keterangan:

S = Severity (tingkat keparahan),

O = Occurrence (frekuensi kejadian),

D = Detection (kemudahan deteksi).

- Untuk menghitung penurunan persentase setelah mitigasi digunakan rumus:

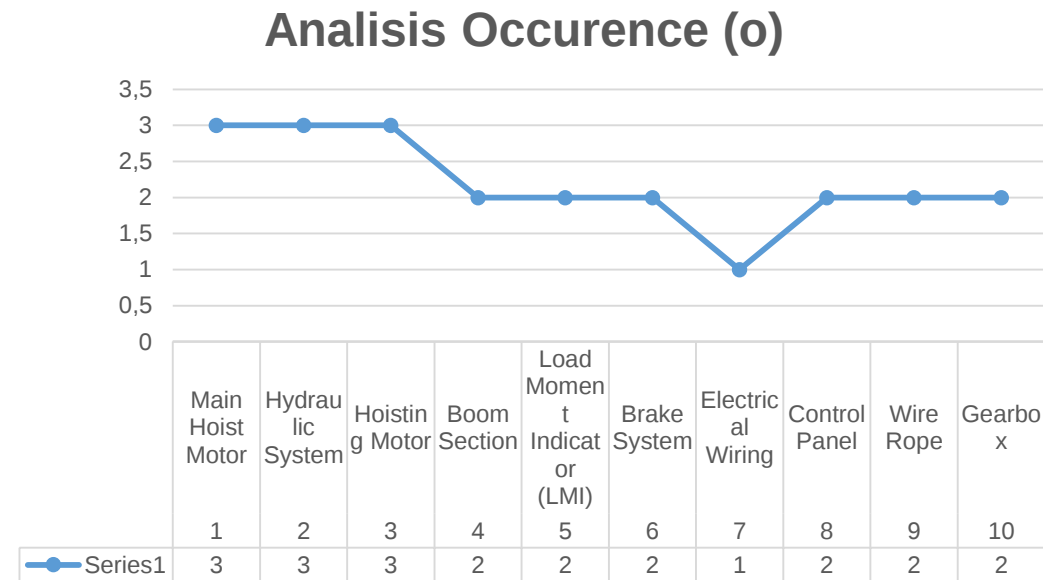
- $$\text{Penurunan (\%)} = \frac{\text{RPN Sebelum} - \text{RPN Setelah}}{\text{RPN Sebelum}} \times 100\%$$

Analisis Occurrence (O)

- Analisis Occurrence (O)

Parameter *Occurrence* menunjukkan frekuensi atau peluang terjadinya suatu kegagalan selama periode operasi. Semakin tinggi nilainya, semakin sering komponen tersebut mengalami gangguan

No	Komponen	Mode Kegagalan	Frekuensi Kejadian	Nilai O
1	Main Hoist Motor	Overheating	Terjadi cukup sering akibat beban berat	3
2	Hydraulic System	Kebocoran	Umum terjadi karena seal aus	3
3	Hoisting Motor	Kerusakan internal	Kadang terjadi pada beban tinggi	3
4	Boom Section	Retak/deformasi	Jarang terjadi, hanya saat overload	2
5	Load Moment Indicator (LMI)	Kesalahan baca	Jarang terjadi	2
6	Brake System	Kausan kampas	Kadang muncul akibat penggunaan intens	2
7	Electrical Wiring	Korsleting	Jarang, akibat lingkungan lembap	1
8	Control Panel	Kerusakan tombol	Jarang terjadi	2
9	Wire Rope	Kausan/putus	Kadang, tergantung perawatan	2
10	Gearbox	Kebocoran oli	Kadang terjadi pada oli lama	2

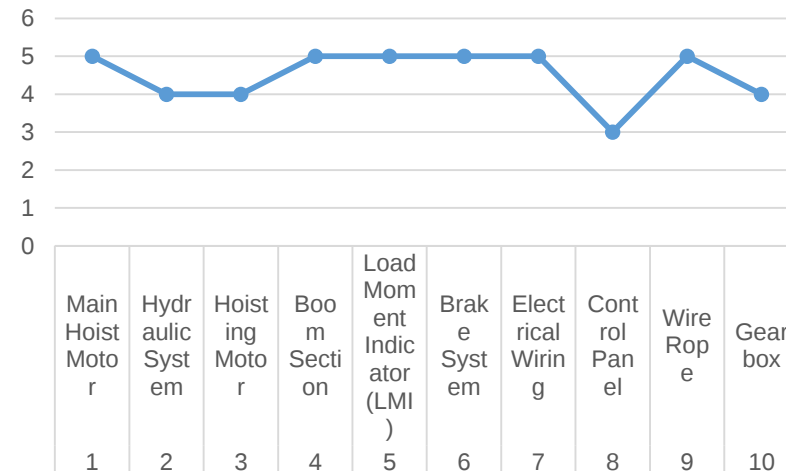


Analisis Severity (S)

Parameter *Severity* digunakan untuk menggambarkan tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan apabila suatu kegagalan terjadi. Nilai *Severity* menunjukkan seberapa besar pengaruh kegagalan terhadap keselamatan kerja dan kelangsungan operasi crane

No	Komponen	Mode Kegagalan	Efek Kegagalan	Nilai S
1	Main Hoist Motor	Overheating	Kerusakan motor, kehilangan beban	5
2	Hydraulic System	Kebocoran	Turunnya tekanan, kehilangan kontrol	4
3	Hoisting Motor	Kerusakan komponen internal	Gangguan pengangkatan beban	4
4	Boom Section	Retak atau deformasi	Penurunan stabilitas crane	5
5	Load Moment Indicator (LMI)	Kesalahan pembacaan data	Risiko overloading	5
6	Brake System	Keausan kampas rem	Risiko kecelakaan	5
7	Electrical Wiring	Korsleting	Risiko kebakaran	5
8	Control Panel	Kerusakan tombol/layar	Gangguan kontrol operasi	3
9	Wire Rope	Keausan atau putus	Risiko beban jatuh	5
10	Gearbox	Kebocoran oli, keausan	Penurunan performa motor	4

Grafik Analisis Severity (s)

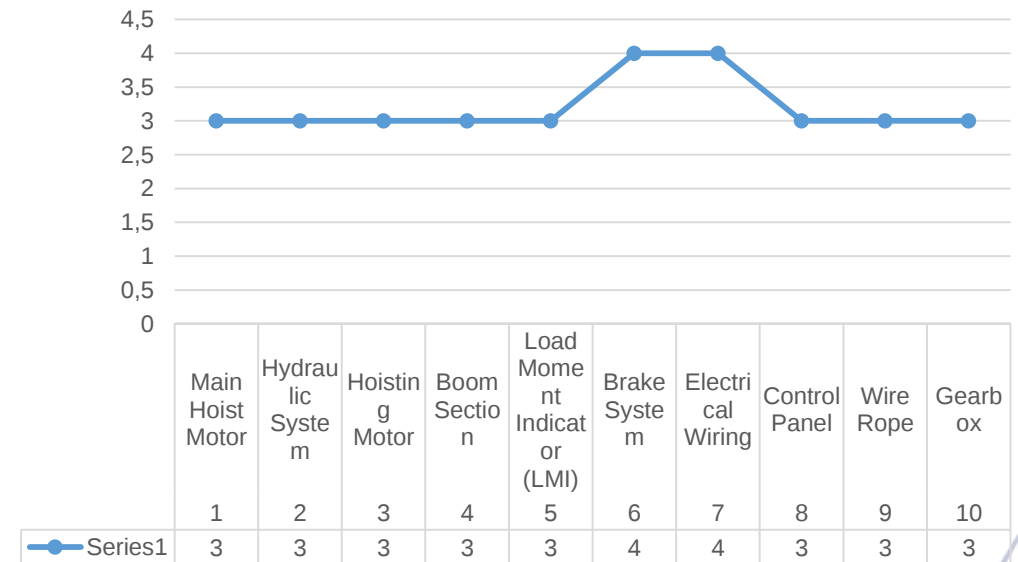


Analisis Detection (D)

Parameter *Detection* menunjukkan kemampuan sistem dalam mendeteksi kegagalan sebelum menyebabkan kerusakan berat. Semakin tinggi nilainya, semakin sulit suatu kerusakan dideteksi secara dini

No	Komponen	Mode Kegagalan	Kemampuan Deteksi	Nilai D
1	Main Hoist Motor	Overheating	Mudah dideteksi dari suhu dan suara motor	3
2	Hydraulic System	Kebocoran	Dapat diketahui dari tekanan dan visual oli	3
3	Hoisting Motor	Kerusakan internal	Dapat dideteksi dari getaran abnormal	3
4	Boom Section	Retak/deformasi	Sulit, perlu inspeksi visual mendalam	3
5	Load Moment Indicator (LMI)	Kesalahan baca	Terlihat dari alarm sistem	3
6	Brake System	Keausan kampas	Sering baru diketahui saat pengereman	4
7	Electrical Wiring	Korsleting	Sulit dideteksi, biasanya setelah korslet terjadi	4
8	Control Panel	Kerusakan tombol	Mudah terdeteksi saat uji fungsi	3
9	Wire Rope	Keausan/putus	Dapat dilihat dari inspeksi visual	3
10	Gearbox	Kebocoran oli	Terlihat dari rembesan atau suara abnormal	3

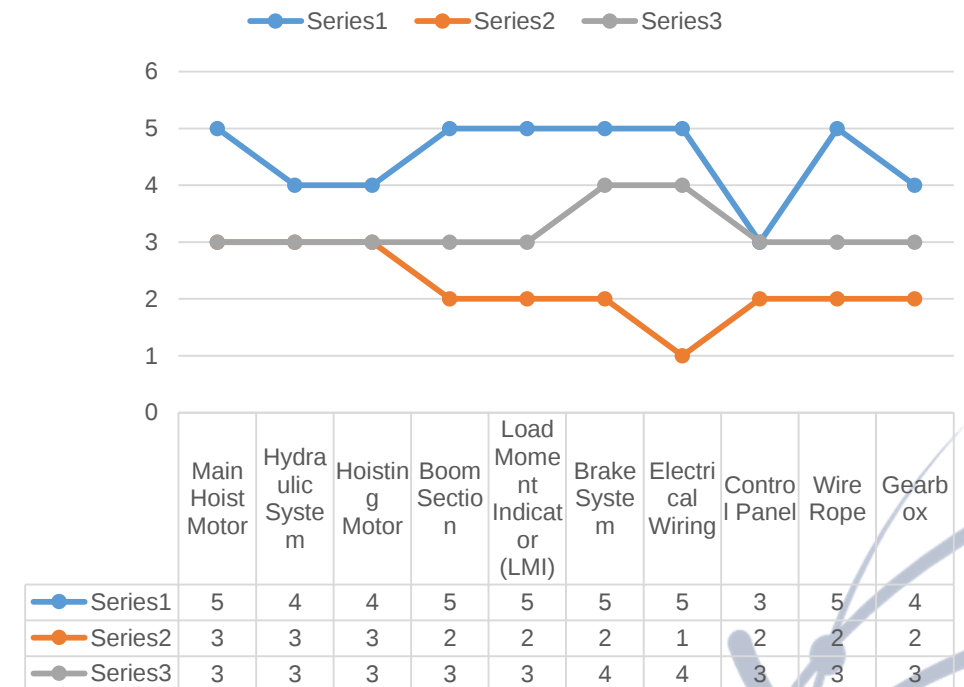
Analisis Detection (D)



Analisis Risk Priority Number (RPN)

No	Komponen	Mode Kegagalan	Efek Kegagalan	S	O	D	RPN
1	Main Hoist Motor	Overheating	Kerusakan motor, kehilangan beban	5	3	3	45
2	Hydraulic System	Kebocoran	Turunnya tekanan, kehilangan kontrol	4	3	3	36
3	Hoisting Motor	Kerusakan komponen internal	Gangguan pengangkatan beban	4	3	3	36
4	Boom Section	Retak atau deformasi	Penurunan stabilitas crane	5	2	3	30
5	Load Moment Indicator (LMI)	Kesalahan pembacaan data	Risiko overloading	5	2	3	30
6	Brake System	Keausan kampas rem	Risiko kecelakaan	5	2	4	40
7	Electrical Wiring	Korsleting	Risiko kebakaran	5	1	4	20
8	Control Panel	Kerusakan tombol/layar	Gangguan kontrol operasi	3	2	3	18
9	Wire Rope	Keausan atau putus	Risiko beban jatuh	5	2	3	30
10	Gearbox	Kebocoran oli, keausan	Penurunan performa motor	4	2	3	24

Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) pada Komponen [Crane Zoomlion 55 ton]



Rekomendasi dan Tindakan Perbaikan (Action Plan)

Berdasarkan hasil analisis nilai *Risk Priority Number (RPN)*, diketahui bahwa beberapa komponen crane memiliki tingkat risiko yang tinggi dan berpotensi menyebabkan gangguan serius terhadap operasi maupun keselamatan kerja

No	Komponen	Masalah Utama / Mode Kegagalan	Langkah Perbaikan (Maintenance Action)	Tujuan / Dampak Diharapkan
1	Main Hoist Motor	Overheating, bearing aus, pelumasan kurang	- Pasang sensor suhu & getaran untuk deteksi dini. - Lakukan pelumasan rutin setiap 250 jam kerja. - Bersihkan ventilasi motor secara berkala. - Terapkan predictive maintenance berbasis data sensor.	Menurunkan Occurrence dan Detection, mencegah kerusakan motor berat.
2	Hydraulic System	Kebocoran oli, tekanan turun, seal aus	- Ganti seal, hose, dan fitting setiap 6 bulan. - Periksa tekanan sistem mingguan dengan manometer digital. - Pasang sensor tekanan dan kebocoran oli. - Lakukan analisis oli untuk deteksi kontaminasi.	Mengurangi frekuensi kebocoran dan meningkatkan kemampuan deteksi dini.
3	Hoisting Motor	Kearsan kumparan atau bearing	- Lakukan vibration monitoring dan pemeriksaan suara abnormal. - Jadwalkan pelumasan bearing setiap 250 jam kerja. - Ganti bearing secara preventif. - Uji arus listrik untuk pantau beban kerja.	Menurunkan Occurrence dan mempercepat Detection.
4	Brake System	Kearsan kampas rem, gagal pengereman	- Ganti kampas rem secara berkala sesuai jam kerja. - Lakukan uji pengereman bulanan. - Terapkan checklist harian pemeriksaan rem. - Catat hasil uji untuk analisis tren keausan.	Meningkatkan keamanan dan kemampuan deteksi dini kegagalan rem.
5	Wire Rope	Kearsan, korosi, putus tiba-tiba	- Inspeksi visual harian & NDT (magnetic flux) tiap 6 bulan. - Pelumasan berkala dengan grease khusus. - Ganti wire rope sebelum mencapai umur pakai maksimum. - Simpan di tempat kering & terlindung.	Menurunkan risiko putus mendadak dan meningkatkan keselamatan kerja.
6	Load Moment Indicator (LMI)	Kesalahan pembacaan atau kalibrasi	- Kalibrasi rutin setiap 6 bulan. - Lakukan pelatihan operator untuk memahami alarm sistem. - Periksa kabel dan konektor sensor.	Menurunkan nilai Detection dan memastikan akurasi sistem pengaman.
7	Boom Section	Retakan atau deformasi struktural	- Pemeriksaan NDT (UT/MT) setiap 6 bulan. - Lakukan pengecatan anti-korosi secara berkala. - Pastikan pembebanan crane sesuai Load Chart.	Mencegah kegagalan struktural fatal dan meningkatkan deteksi retakan.
8	Electrical Wiring	Korsleting, isolasi rusak, koneksi longgar	- Ganti kabel rusak dan tambahkan pelindung kabel. - Pasang surge protector. - Inspeksi visual & continuity test setiap 3 bulan. - Gunakan thermography untuk mendeteksi panas abnormal.	Mengurangi risiko korsleting dan kebakaran.
9	Gearbox	Kebocoran oli, keausan gear	- Periksa dan ganti oli setiap 1000 jam kerja. - Gunakan oli sesuai spesifikasi pabrikan. - Lakukan analisis oli untuk deteksi keausan. - Ganti seal/gasket bila bocor.	Mengurangi keausan dan menjaga performa transmisi daya.
10	Control Panel	Tombol rusak, kesalahan input, tampilan error	- Uji fungsi tombol & layar setiap awal shift. - Bersihkan panel dari debu dan minyak. - Ganti tombol/modul kontrol yang rusak. - Latih operator sesuai SOP penggunaan.	Menurunkan gangguan operasional dan meningkatkan kesiapan kontrol.

Pembahasan Hasil Analisis

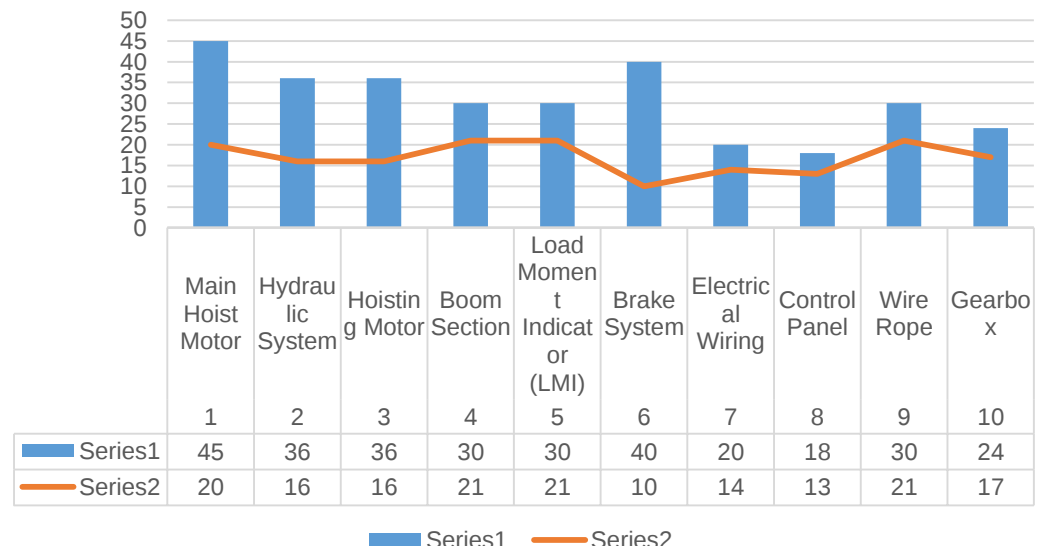
Hasil analisis menunjukkan bahwa metode FMEA efektif dalam mengidentifikasi sumber risiko utama serta menentukan prioritas tindakan perbaikan pada crane Zoomlion 55 ton. Penurunan nilai RPN pada hampir semua komponen membuktikan bahwa sistem mitigasi yang diterapkan mampu meningkatkan keandalan alat dan mengurangi potensi kecelakaan kerja

Penurunan nilai *Occurrence* dan *Detection* menjadi faktor dominan dalam menurunkan nilai RPN, karena tindakan mitigasi tidak dapat mengubah tingkat *Severity*. Hal ini sejalan dengan prinsip dasar FMEA bahwa tindakan perbaikan difokuskan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan (*Occurrence*) serta meningkatkan kemampuan pendeteksian (*Detection*). Dengan demikian, hasil analisis ini memperkuat kesimpulan bahwa sistem pemeliharaan berbasis risiko (*Risk-Based Maintenance*) dapat meningkatkan efektivitas operasional dan keselamatan kerja secara signifikan

Perbandingan Nilai RPN Sebelum dan Sesudah Tindakan Perbaikan pada Komponen Crane

No	Komponen	RPN Sebelum	RPN Sesudah	Penurunan (%)
1	Main Hoist Motor	45	20	55.6%
2	Hydraulic System	36	16	55.6%
3	Hoisting Motor	36	16	55.6%
4	Boom Section	30	21	30.0%
5	Load Moment Indicator (LMI)	30	21	30.0%
6	Brake System	40	10	75.0%
7	Electrical Wiring	20	14	30.0%
8	Control Panel	18	13	27.8%
9	Wire Rope	30	21	30.0%
10	Gearbox	24	17	29.2%

Perbandingan Nilai RPN Sebelum dan Sesudah Tindakan Perbaikan pada Komponen Crane



Analisis Mode Kegagalan Berdasarkan RPN

No	Komponen	Mode Kegagalan	Penyebab	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)	RPN Sebelum	Rekomendasi Perbaikan	Tindakan Deteksi	RPN Sesudah (estimasi)
1	Main Hoist Motor	Overheating / Bearing failure	Pelumasan tidak cukup, beban berlebih, ventilasi tersumbat	5	3	3	45	Pasang sensor suhu & getaran; jadwal pelumasan; predictive maintenance	Monitoring suhu & vibration, inspeksi harian	20
2	Hydraulic System	Kebocoran / Kontaminasi oli / Penurunan tekanan	Seal aus, kontaminan, tekanan berlebih	6	3	2	36	Ganti seal; pasang sensor tekanan & deteksi kebocoran; filter oli	Pressure sensor, inspeksi visual kebocoran, analisis oli	16
3	Hoisting Motor	Kearusan kumparan / Bearing	Kelebihan beban, pelumasan tidak memadai	6	3	2	36	Pelumasan terjadwal; vibration monitoring; penggantian bearing preventif	Vibration analysis, inspeksi berkala	16
4	Boom Section	Retak / Deformasi struktural	Overloading, korosi, fatigue	6	5	1	30	NDT berkala (UT/MT), cat perawatan, kontrol beban operasi	NDT periodik, inspeksi visual harian	21
5	Load Moment Indicator (LMI)	Kesalahan pembacaan / Kalibrasi tidak tepat	Sensor drift, kerusakan kabel, kesalahan kalibrasi	6	5	1	30	Kalibrasi rutin; verifikasi alarm; penggantian sensor saat diperlukan	Kalibrasi & uji fungsi berkala	21
6	Brake System	Kearusan kampas / Gagal pengereman	Material aus, tidak ada pemeriksaan interval	8	5	1	40	Inspeksi & penggantian komponen rem rutin; uji pengereman	Uji pengereman berkala, checklist pre-op	10
7	Electrical Wiring	Korsleting / Kontak longgar	Isolasi rusak, getaran, koneksi longgar	5	4	1	20	Periksa kabel & terminal, proteksi lonjakan, perbaiki pemasangan kabel	Inspeksi visual periodik, thermography jika perlu	14
8	Control Panel	Kerusakan tombol / Kesalahan input operator	Kontaminasi, tombol aus, wiring internal	3	6	1	18	Uji fungsi panel rutin; bersihkan & ganti komponen aus	Checklist fungsi harian, uji tombol	13
9	Wire Rope	Putus / Korosi / Bunching	Korosi, keausan, overloading	10	3	1	30	NDT, pelumasan, penggantian preventif berdasarkan jam operasi	Inspeksi visual & NDT, catat jam operasi	21
10	Gearbox	Gigi aus / Kebocoran oli	Pelumasan tidak adekuat, kontaminasi oli	6	4	1	24	Analisis pelumas; penggantian oli & seal; inspeksi backlash gear	Oil analysis, inspeksi periodik	17

Rekomendasi Mitigasi dan Tindakan Perbaikan Berdasarkan Kategori Risiko

No	Komponen	Mode Kegagalan	Kategori Risiko	Rekomendasi Mitigasi
1	Wire Rope	Putus tiba-tiba	Sangat Tinggi	Inspeksi rutin menggunakan metode NDT (ultrasonik/magnetik), pelumasan berkala, dan penggantian preventif wire rope sebelum umur pakai.
2	Sistem Hidrolik	Kebocoran oli	Sangat Tinggi	Pemasangan sensor deteksi kebocoran oli secara real-time, penggantian seal dan gasket secara berkala, serta pelatihan teknisi pemeliharaan.
3	Sistem Kelistrikan	Hubungan pendek (short circuit)	Tinggi	Inspeksi kabel secara berkala, pemasangan surge protector, serta pelatihan teknisi untuk deteksi dini potensi kerusakan kelistrikan.
4	Boom Teleskopik	Retakan struktural	Tinggi	Inspeksi non-destruktif (NDT) berkala seperti ultrasonik, monitoring kondisi boom secara rutin, serta perawatan preventif terhadap kerusakan struktural.
5	Sistem Hidrolik	Overheating	Tinggi	Pemantauan suhu oli secara kontinu, pelumasan rutin, dan perawatan sistem pendinginan untuk mencegah kerusakan akibat panas berlebih.
6	Wire Rope	Korosi	Tinggi	Pelumasan rutin, penggunaan bahan pelindung terhadap korosi, serta penyimpanan wire rope di tempat yang terlindung dari paparan lingkungan korosif.
7	Sistem Kelistrikan	Kegagalan kontrol	Sedang–Rendah	Inspeksi dan perawatan rutin sistem kontrol, kalibrasi perangkat pengendali, serta pelatihan teknisi untuk memastikan kinerja optimal.
8	Sistem Rem	Kegagalan fungsi rem	Sedang–Rendah	Pemeriksaan dan penggantian komponen rem secara berkala sesuai jadwal, serta pelatihan operator dalam penggunaan rem yang benar.
9	Sistem Hidrolik	Kontaminasi oli	Sedang–Rendah	Penggantian oli secara berkala, pemasangan dan penggantian filter berkualitas, serta monitoring kualitas oli selama operasi.
10	Sistem Rem	Keausan bantalan rem	Sedang–Rendah	Pemeriksaan keausan bantalan secara berkala dan penggantian segera bila ditemukan tanda keausan untuk mencegah gangguan fungsi rem.

REFRENSI

- [1] J. I. Manajemen, "Jurnal Ilmu Manajemen, Bisnis dan Ekonomi | JIMBE <https://malaqbiipublisher.com/index.php/JIMBE>," vol. 3, no. 1, pp. 86–90, 2025.
- [2] A. Febrianto, M. Suef, M. Saiful, and K. Dede, "Results in Engineering Operational efficiency and sustainable asset management of heavy equipment in industry : a data-driven framework," vol. 27, no. July, 2025.
- [3] C. Crane, L. Capacity, and I. Steel, "Journal of Applied Civil Engineering and Practices," vol. 1, no. 1, pp. 51–65, 2025.
- [4] S. Konstruksi, "Analysis of PT Zoomlion Indonesia ' s Differentiation Strategy in Heavy Equipment Sales in the Construction Sector Analisis Strategi Diferensiasi PT Zoomlion Indonesia dalam Penjualan Alat Berat," vol. 5, no. 1, pp. 33–38, 2025.
- [5] L. Silaban and J. Tampubolon, "Penerapan Reliability Centered Maintenace untuk Pemeliharaan Mesin Crane di PT Pelindo," vol. 7, no. 1, pp. 35–44, 2025.
- [6] J. Teknologi, Y. Kurniawan, D. D. Hartono, and H. H. Purba, "Identifikasi Risiko Keselamatan Pada Proyek Konstruksi : Kajian Literatur," vol. 2, pp. 13–22, 2021, doi: 10.52330/jtm.v19i2.28.
- [7] F. Rahman, F. Herling, Y. Maulana, I. Trianiza, and S. Arief, "Crawler Crane Failure Cause Analysis Using Fishbone Diagram , Pareto Principle , and Failure Mode Effect Analysis : A Comprehensive Approach to Minimize Downtime and Improve Operational Reliability," vol. 2025, no. 1, 2025.
- [8] D. O. Aikhuele, "EVALUATION OF THE ROOT CAUSE OF FAILURE IN A CRAWLER CRANE MACHINE," vol. 161, no. 2018, pp. 219–228, 2019.
- [9] A. Ibnu, S. Al, D. R. Hartana, and S. Hidrolik, "Vol. 06, No. 02," vol. 06, no. 02, pp. 54–58, 2025.
- [10] V. Herrera-p, F. Salguero-caparr, and J. C. Rubio-romero, "Key Factors in Crane-Related Occupational Accidents in the Spanish Construction Industry (2012 – 2021)," 2023.
- [11] Y. Wu, W. Li, and Y. Liu, "Fatigue life prediction for boom structure of concrete pump truck," EFA, vol. 60, pp. 176–187, 2016, doi: 10.1016/j.engfailanal.2015.11.040.
- [12] İ. Baylako et al., "e-Prime - Advances in Electrical Engineering , Electronics and Energy The detrimental effects of water on electronic devices ☆," e-Prime - Adv. Electr. Eng. Electron. Energy, vol. 1, no. October, p. 100016, 2021, doi: 10.1016/j.prime.2021.100016.
- [13] N. F. Quratulāini, M. Darul, and H. Natsir, "Penilaian Risiko Kegagalan Gantry Crane Menggunakan Failure Mode Effect and Analysis (FMEA) dan Fishbone Diagram," vol. 3, no. 1, pp. 33–40, 2025.
- [14] H. Mohammadi, Z. Fazli, H. Kaleh, H. R. Azimi, S. M. Hanifi, and N. Shafiee, "Risk Analysis and Reliability Assessment of Overhead Cranes Using Fault Tree Analysis Integrated with Markov Chain and Fuzzy Bayesian Networks," vol. 2021, 2021.
- [15] M. I. Martadinata et al., "RISK-BASED MAINTENANCE DENGAN METODE FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) UNTUK PENINGKATAN KEANDALAN SISTEM PENDINGIN UDARA DI GEDUNG KOMERSIL RISK-BASED MAINTENANCE WITH FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) METHOD TO IMPROVE THE RELIABILITY OF AIR CONDITIONING SYSTEMS IN COMMERCIAL BUILDINGS P vol. 8, pp. 1750–1758, 2025.
- [16] I. El-thalji, "Emerging Practices in Risk-Based Maintenance Management Driven by Industrial Transitions : Multi-Case Studies and Reflections," 2025.
- [17] H. L. Cornelis, E. Kurniyaningrum, B. Endro, and U. Trisakti, "Risk Analysis Based on Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) in the ISO 9001 : 2015 Quality Management System On Toll Road Projects (Case Study : Toll Road Cikupa , STA 32 + 100," vol. 5, no. 10, pp. 12029–12047, 2025.
- [18] N. B. Puspitasari, G. P. Arianie, and P. A. Wicaksono, "ANALISIS IDENTIFIKASI MASALAH DENGAN MENGGUNAKAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DAN RISK PRIORITY NUMBER (RPN) PADA SUB ASSEMBLY LINE (Studi Kasus : PT . Toyota Motor Manufacturing Indonesia)," vol. 12, no. 2, pp. 77–84, 2017.
- [19] R. Ardiansyah, "Revolusi Pengambilan Keputusan : Dari Intuisi ke Sistem Informasi," vol. 2, no. 2, pp. 7–11, 2024.

