

# Priority Analysis in the Maintenance System of 55 Ton Zoomlion Crane Using the Risk Priority Number Method

## [Analisis Prioritas dalam Sistem Pemeliharaan Crane Zoomlion 55 Ton Menggunakan Metode Risk Priority Number]

Muhammad Dwi Yulianto<sup>1)</sup>, Mulyadi<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

<sup>2)</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

\*Email Penulis Korespondensi: [mulyadi@umsida.ac.id](mailto:mulyadi@umsida.ac.id)

**Abstract.** *His study aims to analyze risk priorities in the maintenance system of the Zoomlion 55-ton crane using the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and Risk Priority Number (RPN) methods. Cranes are vital equipment in the construction and manufacturing sectors, so component failure can have serious impacts on work safety, operational smoothness, and downtime costs. The research method was carried out through identification of the main components of the crane, field observations, collection of historical damage data, and interviews with experienced technicians. Each failure mode was analyzed based on the parameters of Severity (S), Occurrence (O), and Detection (D) to obtain the RPN value as a basis for determining risk priorities. The results showed that the Main Hoist Motor, Brake System, Hydraulic System, and Hoisting Motor components had the highest RPN values and were included in the critical risk category. Failure in these components has the potential to cause work accidents or sudden stoppage of crane operations. The implementation of mitigation measures in the form of preventive maintenance, sensor-based predictive maintenance, non-destructive test (NDT) inspection, and improvement of lubrication quality was proven to be able to reduce the RPN value significantly, with a percentage reduction ranging from 55% to 75%. This study concludes that the implementation of risk-based maintenance using FMEA and RPN methods is effective in improving the reliability, safety, and efficiency of the Zoomlion 55-ton crane maintenance system.*

**Keywords** - Crane; FMEA; Risk Priority Number; Risk-Based Maintenance

**Abstrak.** *Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis prioritas risiko dalam sistem pemeliharaan crane Zoomlion 55 ton menggunakan metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) dan Risk Priority Number (RPN). Crane merupakan peralatan vital pada sektor konstruksi dan manufaktur, sehingga kegagalan komponen dapat menimbulkan dampak serius terhadap keselamatan kerja, kelancaran operasional, serta biaya downtime. Metode penelitian dilakukan melalui identifikasi komponen utama crane, observasi lapangan, pengumpulan data historis kerusakan, serta wawancara dengan teknisi berpengalaman. Setiap mode kegagalan dianalisis berdasarkan parameter Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D) untuk memperoleh nilai RPN sebagai dasar penentuan prioritas risiko. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen Main Hoist Motor, Brake System, Hydraulic System, dan Hoisting Motor memiliki nilai RPN tertinggi dan termasuk kategori risiko kritis. Kegagalan pada komponen tersebut berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja maupun penghentian operasi crane secara mendadak. Penerapan tindakan mitigasi berupa preventive maintenance, predictive maintenance berbasis sensor, inspeksi non destructive test (NDT), serta peningkatan kualitas pelumasan terbukti mampu menurunkan nilai RPN secara signifikan, dengan persentase penurunan berkisar antara 55% hingga 75%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan pemeliharaan berbasis risiko menggunakan metode FMEA dan RPN efektif dalam meningkatkan keandalan, keselamatan, dan efisiensi sistem pemeliharaan crane Zoomlion 55 ton.*

**Kata Kunci** - Kran; FMEA; Nomor Prioritas Risiko; Pemeliharaan Berbasis Risiko

## I. PENDAHULUAN

Sektor konstruksi dan manufaktur mengalami pertumbuhan pesat seiring meningkatnya pembangunan infrastruktur [1]. Operasional industri modern sangat bergantung pada alat berat untuk menjaga efisiensi dan produktivitas [2]. Salah satu perangkat vital adalah crane, khususnya mobile crane berkapasitas besar seperti Zoomlion 55 ton yang banyak digunakan pada proyek berskala menengah hingga besar [3]. Crane jenis ini dikenal karena kemampuan angkat yang tinggi, panjang boom mencapai 50 meter, serta dilengkapi sistem kontrol elektronik, indikator momen angkat, dan fitur keselamatan terintegrasi. Selain menawarkan performa kompetitif, Zoomlion 55 ton juga banyak digunakan di Indonesia karena dukungan layanan purna jual yang memadai [4].

Keandalan crane memegang peran sentral dalam menjamin kelancaran operasional [5]. Gangguan pada peralatan tidak hanya menyebabkan kerugian finansial dan keterlambatan proyek, namun juga memunculkan risiko keselamatan bagi operator dan pekerja di lapangan [6]. Data Indonesian Construction Equipment Association (ICEA) menunjukkan bahwa sekitar 68% downtime pada mobile crane disebabkan kerusakan komponen yang sebenarnya dapat diprediksi melalui penerapan sistem pemeliharaan yang efektif [7].

Sejumlah kendala teknis umum ditemukan pada crane Zoomlion 55 ton [8]. Pertama, kegagalan sistem hidrolik yang berfungsi mengendalikan boom, counterweight, dan mekanisme putar, menyumbang 35–40% dari total kegagalan peralatan [9]. Kerusakan ini biasanya terjadi akibat kontaminasi oli, tekanan berlebih, atau degradasi komponen internal yang sulit terdeteksi. Kedua, penurunan kinerja sistem keselamatan seperti Load Moment Indicator (LMI), sistem anti-two block, proteksi beban lebih, dan mekanisme darurat. Gangguan pada fitur keselamatan berpotensi memicu kecelakaan serius, di mana 23% kecelakaan kerja terkait crane berasal dari kerusakan sistem keselamatan [10]. Ketiga, kerusakan struktural pada boom, counterweight, dan chassis yang terjadi akibat tekanan mekanis tinggi dan kelelahan material [11]. Kerusakan jenis ini biasanya berlangsung bertahap dan memerlukan inspeksi khusus. Keempat, gangguan pada sistem kelistrikan dan elektronik seperti kabel, sensor, serta Electronic Control Unit (ECU) yang rentan terhadap debu, kelembaban, dan getaran [12].

Keandalan crane merupakan faktor kritis karena kegagalan operasional dapat menyebabkan dampak multidimensional [13]. Strategi pemeliharaan reaktif maupun preventif konvensional sering kali tidak memadai untuk mengantisipasi potensi kerusakan [14]. Oleh sebab itu, dibutuhkan pendekatan pemeliharaan yang lebih proaktif, berbasis risiko, dan mampu mendeteksi dini potensi kegagalan guna meningkatkan keselamatan serta efisiensi operasional [15].

Era modern mendorong perkembangan konsep baru dalam engineering maintenance, salah satunya Risk-Based Maintenance (RBM) yang menempatkan evaluasi risiko sebagai dasar dalam penyusunan strategi dan prioritas pemeliharaan [16]. Dalam pendekatan ini, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) menjadi alat yang luas digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan serta menilai tingkat risiko melalui parameter Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D) [17]. Hasil penilaian tersebut menghasilkan Risk Priority Number (RPN) yang berfungsi sebagai metrik kuantitatif untuk menentukan tingkat prioritas tindakan pemeliharaan.

Metode RPN terbukti efektif dalam berbagai industri seperti manufaktur, pembangkit listrik, otomotif, dan penerbangan karena kemampuannya memberikan penilaian risiko yang objektif, terukur, dan mudah diterapkan [18]. Pendekatan  $S \times O \times D$  memungkinkan proses pengambilan keputusan yang lebih sistematis, sekaligus meminimalkan subjektivitas [19]. Dalam konteks crane Zoomlion 55 ton, penerapan metode RPN memberikan sejumlah keuntungan strategis, antara lain: (a) penilaian risiko yang objektif, karena proses identifikasi dan evaluasi dilakukan berdasarkan data aktual serta validasi pakar; (b) optimalisasi sumber daya pemeliharaan, melalui prioritisasi komponen berisiko tinggi sehingga biaya pemeliharaan dapat ditekan; (c) pendekatan proaktif, yang mendorong deteksi dini kerusakan dan mengurangi potensi kegagalan kritis; (d) perbaikan berkelanjutan, karena analisis RPN dapat diperbarui secara rutin mengikuti perkembangan kondisi peralatan; serta (e) pemenuhan regulasi dan dokumentasi, yang mendukung audit keselamatan dan standar operasional.

Penerapan metode RPN pada crane Zoomlion 55 ton diharapkan mampu meningkatkan keandalan sistem, memperbaiki efektivitas program pemeliharaan, serta memperkuat aspek keselamatan operasi mengingat kompleksitas teknologi crane modern dan tingginya risiko kegagalan sistem. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada evaluasi komprehensif yang meliputi identifikasi pola kerusakan, perhitungan RPN, serta penyusunan strategi pemeliharaan berbasis risiko yang dapat diterapkan secara praktis di lapangan. Hasil akhir studi diharapkan memberikan rekomendasi aplikatif untuk meningkatkan reliabilitas crane, meminimalkan biaya pemeliharaan, dan memastikan kepatuhan terhadap regulasi keselamatan. Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini mengusung judul “Analisis Prioritas Risiko dalam Sistem Pemeliharaan Crane Zoomlion 55 Ton Menggunakan Metode Risk Priority Number”.

## II. METODE



menghasilkan strategi pemeliharaan yang optimal, efisien, dan berorientasi pada peningkatan keandalan serta keselamatan crane.

### 1.1 Metodologi Penilaian Parameter FMEA

Penentuan skor untuk setiap parameter dalam analisis FMEA (Severity, Occurrence, dan Detection) merupakan langkah krusial yang memerlukan pendekatan sistematis dan terstruktur. Metodologi penilaian yang diterapkan dalam penelitian ini dirancang untuk meminimalkan subjektivitas dan memaksimalkan validitas hasil analisis. Proses penilaian dilakukan melalui triangulasi data yang melibatkan tiga sumber utama: (1) observasi langsung terhadap kondisi operasional crane di lapangan, (2) analisis data historis kerusakan dan maintenance records selama 24 bulan terakhir, dan (3) expert judgment melalui wawancara terstruktur dengan teknisi senior yang memiliki pengalaman minimal 5 tahun dalam pemeliharaan crane Zoomlion. Setiap parameter dinilai menggunakan skala likert 1–5 yang telah diadaptasi dari standar SAE J1739 dan disesuaikan dengan konteks operasional crane Zoomlion 55 ton. Berikut penjelasan detail metodologi penentuan skor untuk masing-masing parameter:

#### a. Metodologi Penentuan Skor Severity (S)

Parameter Severity mengukur tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan oleh suatu mode kegagalan terhadap keselamatan, operasional, dan aset. Penentuan skor Severity dilakukan melalui analisis multi-dimensi yang mempertimbangkan empat aspek utama: (1) dampak terhadap keselamatan personel, (2) potensi kerusakan properti atau aset, (3) gangguan terhadap kontinuitas operasional, dan (4) implikasi biaya perbaikan. Proses penilaian dimulai dengan identifikasi worst-case scenario untuk setiap mode kegagalan, kemudian dievaluasi menggunakan matriks keputusan yang telah dikembangkan berdasarkan referensi standar OSHA 1926.1400 untuk keselamatan crane dan ISO 14224 untuk klasifikasi keparahan. Skor 1 diberikan untuk kegagalan dengan dampak minimal yang tidak mempengaruhi operasi, skor 2 untuk dampak minor yang menyebabkan gangguan operasional ringan, skor 3 untuk dampak moderat dengan potensi downtime terukur, skor 4 untuk dampak serius yang mengancam keselamatan atau menyebabkan kerugian signifikan, dan skor 5 untuk dampak kritis yang berpotensi menyebabkan kecelakaan fatal atau kegagalan total sistem. Validasi skor dilakukan melalui konsensus panel ahli yang terdiri dari 3 teknisi senior dan 1 safety officer, dengan menggunakan teknik Delphi termodifikasi untuk mencapai kesepakatan objektif.

b. Metodologi Penentuan Skor Occurrence (O)

Parameter Occurrence mengukur frekuensi atau probabilitas terjadinya suatu mode kegagalan dalam periode operasional tertentu. Penentuan skor Occurrence didasarkan pada analisis kuantitatif data historis maintenance yang mencakup 24 bulan periode operasi dengan total jam kerja crane sebesar 4.800 jam. Data dikumpulkan dari work order system, maintenance log book, dan failure incident reports yang telah terstandarisasi. Metodologi perhitungan menggunakan failure rate analysis dengan satuan kejadian per 1.000 jam operasi. Skor 1 diberikan untuk failure rate  $< 0,1$  kejadian/1000 jam (sangat jarang terjadi), skor 2 untuk failure rate 0,1–0,5 kejadian/1000 jam (jarang terjadi), skor 3 untuk failure rate 0,5–2,0 kejadian/1000 jam (kadang terjadi), skor 4 untuk failure rate 2,0–5,0 kejadian/1000 jam (sering terjadi), dan skor 5 untuk failure rate  $> 5,0$  kejadian/1000 jam (sangat sering terjadi). Untuk komponen yang tidak memiliki data historis memadai, dilakukan estimasi menggunakan reliability database industri crane sejenis (Weibull distribution analysis) dan dikombinasikan dengan expert judgment dari teknisi berpengalaman. Validitas data occurrence diperkuat melalui cross-validation dengan data supplier component reliability dan benchmarking dengan operational data crane Zoomlion 55 ton dari site operasi lain dalam satu perusahaan.

c. Metodologi Penentuan Skor Detection (D)

Parameter Detection mengevaluasi kemampuan sistem pemeliharaan yang ada untuk mendeteksi mode kegagalan sebelum terjadi atau sebelum berdampak signifikan terhadap operasi. Penentuan skor Detection dilakukan melalui assessment terhadap efektivitas metode inspeksi dan monitoring yang currently implemented. Penilaian mempertimbangkan lima faktor kritis: (1) ketersediaan teknologi atau metode deteksi (visual inspection, sensor monitoring, NDT, dll), (2) frekuensi inspeksi atau monitoring, (3) reliability metode deteksi dalam mengidentifikasi early warning signs, (4) skill level dan kompetensi personel yang melakukan inspeksi, dan (5) lead time antara deteksi dan failure occurrence. Skor 1 diberikan untuk kondisi detection sangat mudah dengan sistem monitoring otomatis real-time atau inspeksi visual yang obvious, skor 2 untuk detection mudah melalui inspeksi rutin standar atau alarm system, skor 3 untuk detection moderat yang memerlukan inspeksi khusus atau basic NDT, skor 4 untuk detection sulit yang memerlukan advanced NDT atau dismantling inspection, dan skor 5 untuk kondisi hampir tidak dapat dideteksi hingga terjadi kegagalan. Evaluasi capability detection dilakukan melalui audit terhadap existing maintenance procedures, review checklist inspeksi, verifikasi kalibrasi peralatan monitoring, dan assessment kompetensi teknisi melalui certification records. Untuk meningkatkan objektifitas, dilakukan field trial detection capability test pada sample komponen untuk memvalidasi skor yang telah ditentukan.

d. Validasi dan Konsistensi Penilaian

Untuk memastikan konsistensi dan reliabilitas penilaian, diterapkan systematic validation process yang meliputi: (1) inter-rater reliability test di mana penilaian dilakukan secara independen oleh minimal 3 evaluator kemudian dianalisis tingkat kesepakatan menggunakan Cohen's Kappa coefficient, dengan target agreement  $> 0,75$  yang mengindikasikan substantial agreement, (2) dokumentasi comprehensive justification untuk setiap skor yang diberikan dalam FMEA worksheet mencakup data pendukung, perhitungan kuantitatif, dan expert rationale, (3) periodic review dan update penilaian setiap 6 bulan atau setelah terjadi significant incident untuk memastikan scoring tetap relevan dengan kondisi actual, dan (4) benchmarking dengan FMEA studies pada crane sejenis di industri untuk validasi eksternal. Seluruh proses penilaian didokumentasikan secara detail dalam FMEA documentation package yang mencakup scoring matrix, data analysis worksheets, expert interview transcripts, dan validation test reports untuk memenuhi persyaratan traceability dan auditability sesuai standar ISO 9001:2015 quality management system. Pendekatan metodologi yang sistematis dan terstruktur ini memastikan bahwa skor S, O, dan D yang dihasilkan memiliki validitas tinggi, reliabilitas terukur, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah maupun praktis

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan ini menguraikan interpretasi hasil analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) serta perhitungan Risk Priority Number (RPN) pada berbagai komponen kritis crane Zoomlion 55 ton. Fokus pembahasan diarahkan pada identifikasi sumber risiko utama, evaluasi tingkat prioritas kegagalan, dan efektivitas tindakan mitigasi yang telah dirancang. Dengan menggunakan pendekatan FMEA, penelitian ini berhasil mengungkap pola kerusakan dominan, komponen yang paling berisiko, dan strategi teknis yang dapat menurunkan kemungkinan kegagalan serta meningkatkan keselamatan operasional. Berikut penjelasannya.



**Gambar 1.** Mobil Crane Zoomlion 55 ton

| No | Komponen         | Fungsi Utama                                                 | Keterangan / Sistem Terkait       |
|----|------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1  | Boom Teleskopik  | Mengangkat dan menjangkau beban pada ketinggian tertentu     | Sistem hidrolik                   |
| 2  | Hoist System     | Mengangkat dan menurunkan beban melalui wire rope dan katrol | Sistem mekanik                    |
| 3  | Hydraulic System | Mengatur gerakan boom, swing, dan outrigger                  | Sistem tekanan fluida             |
| 4  | Engine           | Sumber tenaga utama untuk seluruh sistem                     | Sistem tenaga (power system)      |
| 5  | Brake System     | Mengontrol dan menghentikan pergerakan crane                 | Sistem keselamatan / pengendalian |
| 6  | Outrigger        | Menjaga kestabilan crane saat pengangkatan                   | Sistem penyeimbang                |
| 7  | Swing Mechanism  | Menggerakkan boom berputar ke arah tertentu                  | Sistem rotasi                     |

#### 1. Hasil Analisis FMEA

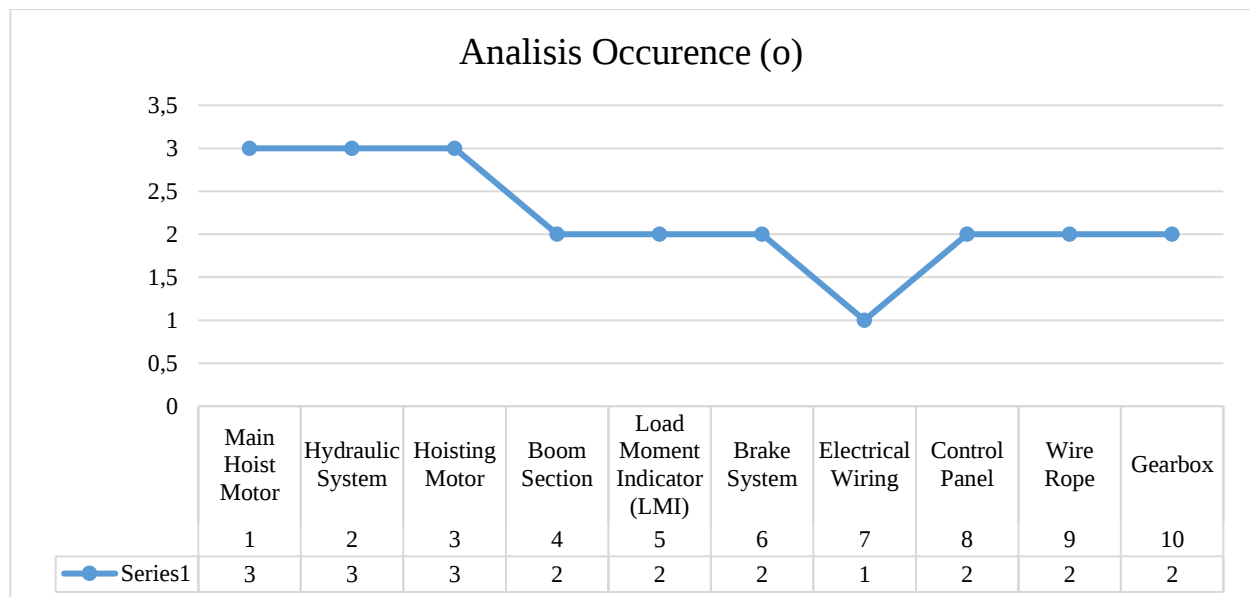
Analisis FMEA dilakukan untuk menilai tingkat risiko dari sepuluh komponen utama pada crane Zoomlion 55 ton. Setiap komponen memiliki potensi kegagalan yang dapat berdampak pada keselamatan kerja dan efektivitas operasi alat. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan tiga parameter utama, yaitu Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D). Nilai untuk setiap parameter diperoleh melalui pengamatan langsung di lapangan, data historis kerusakan, serta wawancara dengan teknisi pemeliharaan. 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 berikut ini.

### 1.1 Analisis Occurance

Parameter Occurrence menunjukkan frekuensi atau peluang terjadinya suatu kegagalan selama periode operasi. Semakin tinggi nilainya, semakin sering komponen tersebut mengalami gangguan. Berikut ditampilkan dalam bentuk table.

| 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                | Keausan 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                   | Keausan/putus      | Kadang, tergantung perawatan            | 2       |
| 10 | Gearbox                     | Kebocoran oli      | Kadang terjadi pada oli lama            | 2       |

**Tabel 1.** Nilai Occurrence (O) Tiap Komponen Crane Zoomlion 55 Ton



**Gambar 2.** Grafik Analisis Occurance

Nilai Occurrence tertinggi (3) dimiliki oleh Main Hoist Motor, Hydraulic System, dan Hoisting Motor, yang berarti ketiga komponen tersebut sering mengalami kerusakan dalam operasional crane. Kegagalan pada Main Hoist Motor umumnya disebabkan oleh panas berlebih, sedangkan kebocoran pada Hydraulic System disebabkan oleh keausan pada seal. Nilai terendah (O=1) terdapat pada Electrical Wiring, yang menunjukkan bahwa sistem kelistrikan relatif stabil dan terlindung. Dapat disimpulkan bahwa komponen yang bekerja dengan beban mekanis tinggi memiliki frekuensi kerusakan yang lebih besar dibandingkan komponen statis.

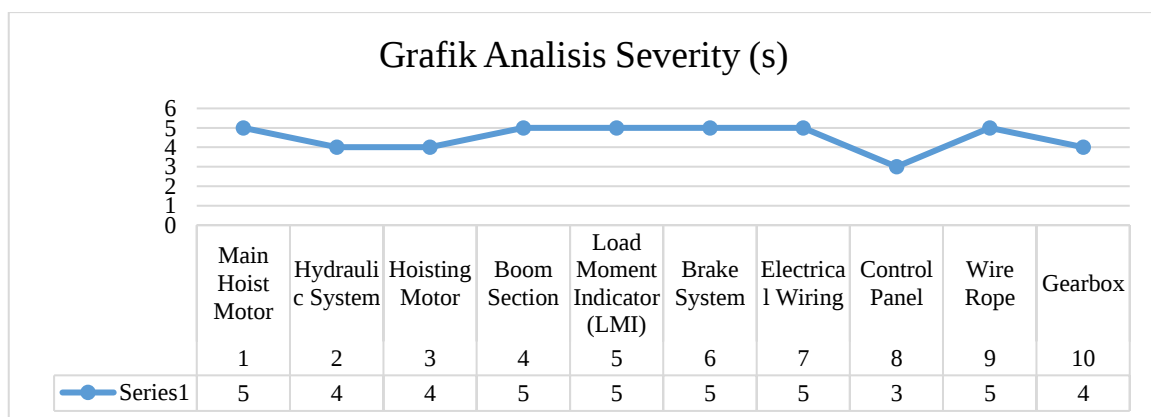
Penentuan skor Occurrence (O) untuk setiap komponen didasarkan pada analisis failure rate dari data historis pemeliharaan selama 24 bulan (4.800 jam operasi). Main Hoist Motor, Hydraulic System, dan Hoisting Motor diberi skor O=3 karena data menunjukkan failure rate sebesar 1,2 kejadian per 1.000 jam operasi (6 kali kegagalan dalam periode observasi), masuk kategori “kadang terjadi” (0,5–2,0 kejadian/1.000 jam). Komponen ini mengalami kegagalan berulang akibat beban kerja tinggi dan stress mekanis kontinyu. Boom Section, Load Moment Indicator, Brake System, Control Panel, Wire Rope, dan Gearbox diberi skor O=2 karena failure rate 0,3 kejadian per 1.000 jam operasi (1–2 kali kegagalan dalam periode observasi), masuk kategori “jarang terjadi” (0,1–0,5 kejadian/1.000 jam). Kegagalan pada komponen ini bersifat sporadis dan umumnya terkait kondisi operasi ekstrem atau aging factor. Electrical Wiring diberi skor O=1 karena failure rate < 0,1 kejadian per 1.000 jam operasi (tidak ada kegagalan tercatat dalam 24 bulan terakhir), masuk kategori “sangat jarang terjadi”. Komponen ini dilindungi dengan baik dan memiliki reliability tinggi. Skor Occurrence divalidasi melalui cross-check dengan maintenance log book, work order records, dan konfirmasi dari 3 teknisi senior untuk memastikan akurasi data.

### 1.2 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. Hasil penilaian disajikan dalam tabel berikut ini.

| 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                | Kausan 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                   | Kausan atau putus           | Risiko beban jatuh                   | 5       |
| 10 | Gearbox                     | Kebocoran oli, keausan      | Penurunan performa motor             | 4       |

**Tabel 2.** Nilai Occurrence (O) Tiap Komponen Crane Zoomlion 55 Ton



**Gambar 3.** Grafik Analisis Severity (s)

Hasil analisis menunjukkan bahwa enam komponen memiliki nilai Severity tertinggi, yaitu 5. Kegagalan pada komponen-komponen ini dapat menyebabkan kecelakaan serius, kerusakan berat, atau bahkan potensi kehilangan nyawa. Misalnya, kegagalan pada Wire Rope dapat menyebabkan beban jatuh, sedangkan Brake System yang tidak berfungsi dapat mengakibatkan crane kehilangan kendali. Komponen seperti Control Panel memiliki nilai lebih rendah karena gangguannya tidak mengancam keselamatan, namun tetap berdampak pada kelancaran operasional. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa mayoritas risiko pada crane termasuk dalam kategori safety risk, sehingga program pemeliharaan harus difokuskan pada komponen yang memiliki nilai Severity tinggi.

Penentuan skor Severity (S) didasarkan pada analisis worst-case scenario menggunakan matriks keputusan yang mengacu pada standar OSHA 1926.1400 dan ISO 14224. Komponen Wire Rope, Brake System, Boom Section, Load Moment Indicator (LMI), dan Electrical Wiring diberi skor S=5 karena kegagalannya berpotensi menyebabkan: (1) kecelakaan fatal atau cedera serius pada personel, (2) kerusakan aset bernilai tinggi (> \$50.000), (3) penghentian operasi total crane dalam waktu lama (> 72 jam), dan (4) potensi dampak hukum dan reputasi perusahaan. Misalnya, putusnya Wire Rope dapat menyebabkan beban jatuh yang mengancam jiwa pekerja di bawahnya, kegagalan Brake System mengakibatkan crane tidak terkontrol berpotensi menimpa area kerja, sedangkan Electrical Wiring yang korsleting dapat memicu kebakaran. Main Hoist Motor, Hydraulic System, Hoisting Motor, dan Gearbox diberi skor S=4 karena kegagalannya menyebabkan dampak serius namun tidak langsung mengancam keselamatan jiwa, meliputi: kerusakan komponen mayor (biaya \$20.000–\$50.000), downtime signifikan (24–72 jam), dan gangguan operasional yang memerlukan perbaikan ekstensif. Control Panel diberi skor S=3 karena kegagalannya hanya berdampak moderat berupa gangguan kontrol operasi, downtime terbatas (< 24 jam), dan biaya perbaikan rendah (< \$10.000) tanpa

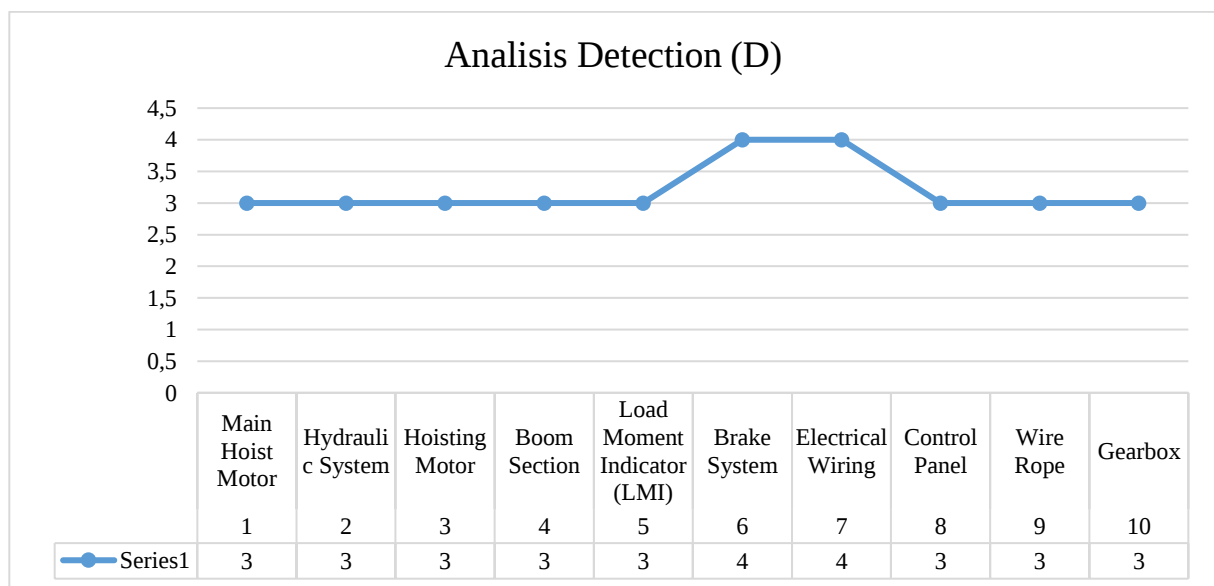
mengancam keselamatan. Seluruh penilaian Severity divalidasi melalui konsensus panel ahli yang terdiri dari safety officer, maintenance manager, dan 2 teknisi senior menggunakan teknik Delphi termodifikasi untuk mencapai agreement objektif.

### 1.3 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       |

**Tabel 3** Nilai Detection (D) Tiap Komponen Crane Zoomlion 55 Ton



**Gambar 4.** Grafik Analisis Detection (D)

Nilai Detection tertinggi (4) terdapat pada Brake System dan Electrical Wiring, yang menunjukkan bahwa kerusakan pada kedua komponen ini sulit dideteksi sebelum terjadi kegagalan total. Sementara komponen lainnya berada pada kisaran nilai 3, yang menandakan bahwa kerusakannya masih dapat dideteksi melalui inspeksi visual atau alat ukur sederhana. Hal ini menegaskan pentingnya peningkatan sistem deteksi dini, seperti penggunaan sensor suhu, getaran, dan tekanan untuk menurunkan potensi risiko.

Penentuan skor Detection (D) didasarkan pada evaluasi capability sistem pemeliharaan existing dalam mendeteksi early warning signs sebelum kegagalan terjadi. Brake System dan Electrical Wiring diberi skor D=4 karena: (1) tidak tersedia sistem monitoring otomatis atau sensor real-time, (2) inspeksi hanya dilakukan secara periodik (bulanan) dengan metode visual yang terbatas, (3) kerusakan internal tidak terlihat dari luar dan memerlukan dismantling inspection, (4) lead time antara munculnya gejala awal hingga kegagalan sangat pendek (< 24 jam), dan (5) membutuhkan advanced NDT (Ultrasonic Testing atau Thermal Imaging) yang tidak tersedia on-site. Main Hoist

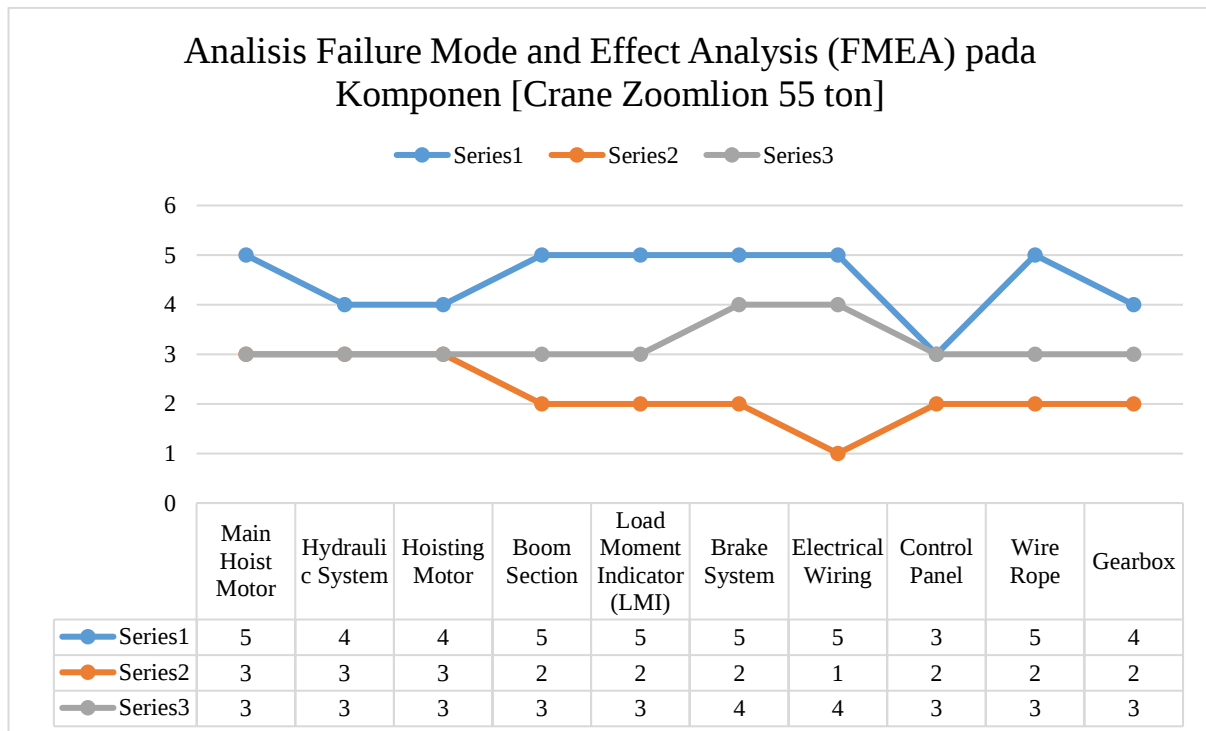
Motor, Hydraulic System, Hoisting Motor, Boom Section, LMI, Wire Rope, Gearbox, dan Control Panel diberi skor D=3 karena dapat dideteksi melalui: inspeksi visual rutin mingguan yang dapat mengidentifikasi abnormalitas seperti kebocoran oli, suara abnormal, atau overheating, basic measurement tools (pressure gauge, thermometer, sound level meter) yang tersedia di site, dan scheduled NDT inspection setiap 6 bulan untuk Wire Rope dan Boom Section menggunakan magnetic particle testing. Namun deteksi masih bersifat reaktif dan belum predictive karena belum dilengkapi sensor monitoring kontinyu. Penilaian Detection divalidasi melalui audit maintenance procedures, review checklist inspeksi yang digunakan teknisi, dan field verification terhadap actual detection capability pada sample komponen untuk memastikan scoring objektif dan realistis sesuai kondisi lapangan.

#### 1.4 Analisis Analisis Risk Priority Number (RPN)

Pada bagian ini beberapa komponen utama crane yang menjadi fokus analisis. Penilaian risiko dilakukan berdasarkan mode kegagalan yang paling mungkin terjadi, efek yang ditimbulkan, dan parameter S, O, D yang sudah ditentukan. Dari data terlihat bahwa Main Hoist Motor merupakan komponen dengan nilai RPN tertinggi yaitu 45, hal ini menandakan bahwa kerusakan pada motor pengangkat utama ini memiliki potensi dampak yang sangat serius dan frekuensi kegagalan yang cukup tinggi. Hydraulic System dan Hoisting Motor masing-masing memiliki RPN 36, menunjukkan risiko kegagalan yang signifikan dan memerlukan perhatian khusus. Komponen-komponen seperti Boom Section dan Load Moment Indicator meskipun memiliki RPN yang lebih rendah, tetap perlu pengawasan karena dampak kegagalan yang dapat membahayakan stabilitas dan keselamatan kerja. Analisis ini memberikan gambaran prioritas risiko yang mendalam dan menjadi dasar pengambilan keputusan dalam perencanaan pemeliharaan. Berikut ditampilkan dalam bentuk tabel & grafik.

| 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  |

**Tabel 4.** Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) pada Komponen [Crane Zoomlion 55 ton]



**Gambar 5.** Grafik Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) pada Komponen [Crane Zoomlion 55 ton]

Tabel dan grafik di atas menunjukkan analisis Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) pada berbagai komponen crane yang penting untuk menjaga keselamatan dan performa operasional. Setiap komponen memiliki mode kegagalan yang berbeda, seperti overheating pada main hoist motor dan kebocoran pada sistem hidrolis, yang berdampak langsung pada kerusakan atau gangguan fungsi alat. Skor Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D) diberikan untuk menilai tingkat keparahan, frekuensi kejadian, dan kemudahan deteksi kegagalan tersebut. Nilai Risk Priority Number (RPN) dihitung dari perkalian ketiga skor ini, menunjukkan prioritas penanganan risiko. Komponen seperti main hoist motor memiliki RPN tertinggi yaitu 45, menandakan risiko kerusakan yang paling kritis dibandingkan yang lain. Selain itu, komponen lain seperti brake system dan hoisting motor juga memiliki nilai RPN yang cukup tinggi, yaitu 40 dan 36, karena kegagalan pada bagian ini dapat menyebabkan risiko kecelakaan dan gangguan pengangkatan beban. Beberapa komponen dengan RPN lebih rendah seperti electrical wiring dan control panel tetap memerlukan perhatian karena potensi risiko kebakaran dan gangguan kontrol operasi. Penanganan terhadap kerusakan pada komponen-komponen ini sangat penting untuk menjaga keamanan kerja dan mencegah kerugian material. Oleh karena itu, pemantauan rutin dan perawatan yang tepat menjadi langkah krusial dalam mengurangi kemungkinan kegagalan dan meningkatkan deteksi dini.

#### 1.5 Rekomendasi & 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. Oleh karena itu, langkah mitigasi perlu difokuskan pada upaya mengurangi nilai Occurrence (O) dan meningkatkan kemampuan deteksi (Detection (D)), tanpa mengubah nilai Severity (S) yang bersifat tetap. Tindakan disusun berdasarkan prioritas risiko tertinggi dan karakteristik kegagalan masing-masing komponen. Tindakan ini bertujuan untuk menurunkan peluang terjadinya kerusakan berulang, mempercepat deteksi dini, serta memperpanjang usia pakai komponen. Berikut ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

| 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 <i>Occurrence</i> dan <i>Detection</i> , 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              | Keausan 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 <i>Occurrence</i> dan mempercepat <i>Detection</i> .                     |
| 4  | Brake System                | Keausan 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                   | Keausan, 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 <i>Detection</i> 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.                  |

**Tabel 5.** Tindakan Perbaikan Berdasarkan Komponen Kritis

Tabel di atas menunjukkan bahwa setiap tindakan mitigasi difokuskan untuk memperkuat sistem monitoring dan inspeksi berkala. Penerapan tindakan ini diharapkan dapat menurunkan nilai Occurrence dan Detection pada tiap komponen, sehingga total nilai RPN juga berkurang secara signifikan.

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. Komponen dengan nilai RPN tertinggi sebelum mitigasi, yaitu Main Hoist Motor dan Brake System, terbukti menjadi fokus utama yang paling berpengaruh terhadap keselamatan. Setelah mitigasi, nilai RPN keduanya turun lebih dari 50%, menunjukkan keberhasilan dalam memperkuat sistem kontrol suhu, inspeksi berkala, dan perawatan mekanis. 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.

## 2. Mitigasi Risiko & Rekomendasi

Berdasarkan hasil analisis risiko yang telah dilakukan, beberapa tindakan mitigasi disarankan untuk mengurangi potensi kegagalan serta dampak negatif yang mungkin terjadi selama operasional crane. Pendekatan pemeliharaan preventif yang meliputi inspeksi rutin, pelumasan berkala, dan penggantian komponen sebelum mencapai batas keausan menjadi langkah awal yang efektif untuk menekan frekuensi kegagalan. Selanjutnya, pemeliharaan prediktif dengan menggunakan teknologi pemantauan suhu, getaran, dan alarm secara real-time dapat meningkatkan kemampuan deteksi dini terhadap tanda-tanda kerusakan. Pelatihan bagi teknisi dan operator juga penting agar dapat mengenali gejala awal kerusakan sehingga dapat segera mengambil tindakan. Dengan kombinasi metode tersebut, diharapkan nilai Occurrence dan Detection dapat berkurang secara signifikan, sementara nilai Severity tetap konstan karena merupakan karakteristik dari kegagalan itu sendiri.

Identifikasi potensi kegagalan dan penilaian awal menggunakan metode FMEA menjadi langkah awal yang diikuti dengan perhitungan Risk Priority Number (RPN) untuk masing-masing komponen yang teridentifikasi. Nilai RPN diperoleh dari hasil perkalian antara Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D). Perhitungan dilakukan dua kali, yaitu sebelum dan setelah penerapan tindakan mitigasi, untuk melihat perubahan tingkat risiko secara kuantitatif. Selain itu, dilakukan perhitungan persentase penurunan nilai RPN guna mengevaluasi efektivitas mitigasi yang telah diterapkan. Dengan cara ini, dapat diketahui sejauh mana tindakan mitigasi berhasil mengurangi risiko kegagalan dan meningkatkan keandalan sistem. Perhitungan Risk Priority Number (RPN) menggunakan rumus:  $RPN = S \times O \times D$

Keterangan:

S = Severity (tingkat keparahan),

O = Occurrence (frekuensi kejadian),

D = Detection (kemudahan deteksi).

Untuk menghitung penurunan persentase setelah mitigasi digunakan rumus:

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

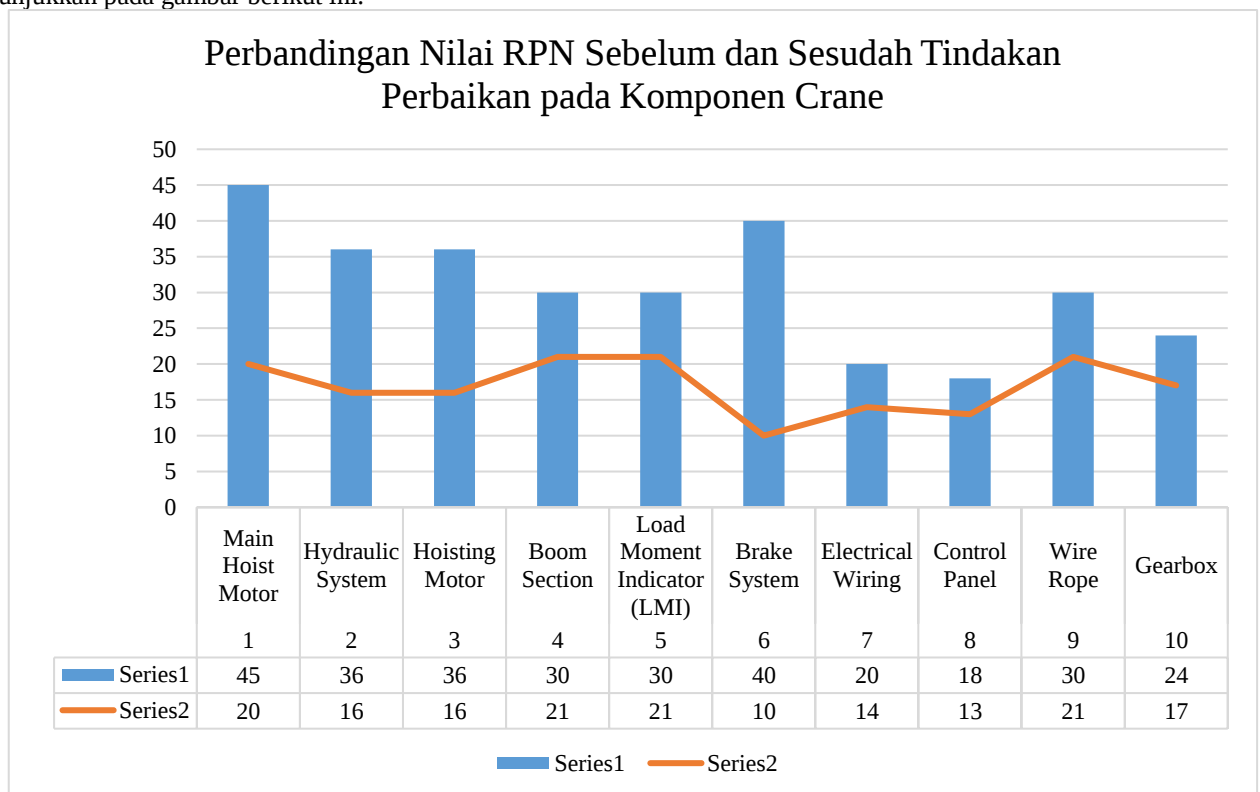
| No | Komponen                    | RPN Sebelum | RPN Sesudah | Penurunan (%) |
|----|-----------------------------|-------------|-------------|---------------|
| 1  | Main Hoist Motor            | 45          | 20          | 55.6%         |
| 2  | Hydraulic System            | 36          | 16          | 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%         |

**Tabel 6.** Perbandingan Nilai RPN Sebelum dan Sesudah Tindakan Perbaikan pada Komponen Crane

Tabel di atas menunjukkan perbandingan nilai RPN sebelum dan sesudah penerapan tindakan mitigasi pada beberapa komponen utama crane. Nilai RPN sebelum mitigasi menunjukkan tingkat risiko asli dari masing-masing komponen, sementara nilai RPN setelah mitigasi mencerminkan penurunan risiko berkat tindakan perbaikan yang

telah dilaksanakan. Dari data terlihat bahwa semua komponen mengalami penurunan RPN, menandakan bahwa strategi mitigasi berhasil mengurangi potensi kegagalan. Komponen dengan penurunan terbesar adalah Brake System dengan 75,0%, menunjukkan bahwa inspeksi dan penggantian kampas rem memberikan hasil yang sangat signifikan. Sementara itu, komponen Main Hoisting Motor, Hydraulic System Dan Hoisting Motor menempati posisi kedua tertinggi penurunan persentase, yaitu sebesar 55,6%.

Analisis ini juga memperlihatkan bahwa tindakan mitigasi yang diberikan pada Main Hoist Motor, Hoisting Motor, dan Hydraulic System memberikan penurunan RPN yang sama, yaitu 55,6%. Meskipun persentase penurunannya identik, dampak operasional dari masing-masing komponen tetap berbeda, sehingga prioritas perawatannya harus mempertimbangkan tingkat keparahan (Severity) yang dimiliki. Penurunan nilai Occurrence dan Detection menjadi faktor utama dalam penurunan RPN, karena tindakan mitigasi tidak mengubah Severity yang merupakan sifat bawaan dari kegagalan komponen. Hasil ini menegaskan bahwa penerapan inspeksi rutin, penggantian komponen tepat waktu, dan pelatihan operator dapat secara signifikan menurunkan risiko operasional crane. Dengan demikian, tabel ini berfungsi sebagai tolok ukur keberhasilan penerapan program mitigasi risiko secara kuantitatif. Data perbandingan nilai RPN pada Tabel 4.7 divisualisasikan dalam bentuk grafik batang untuk memperjelas hasil analisis, sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut ini.



**Gambar 6.** Grafik Perbandingan Nilai RPN Sebelum dan Sesudah Mitigasi.

Grafik di atas menampilkan perbandingan nilai Risk Priority Number (RPN) sebelum dan sesudah penerapan tindakan mitigasi pada masing-masing komponen crane. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa seluruh komponen mengalami penurunan nilai RPN yang cukup signifikan setelah dilakukan tindakan mitigasi. Komponen Brake System menunjukkan penurunan paling besar, dari nilai 40 menjadi 10 atau sebesar 75%, yang mengindikasikan bahwa inspeksi rutin dan penggantian kampas rem memberikan hasil yang sangat efektif dalam menurunkan risiko kegagalan pada sistem pengereman.

Komponen Hoisting Motor, Main Hoist Motor, Trolley Motor, dan Hydraulic System menunjukkan penurunan yang sama, yakni dari kisaran 36–45 menjadi 16–20 dengan persentase 55,6%. Fakta ini menunjukkan bahwa strategi pemeliharaan preventif seperti pelumasan berkala, pemeriksaan kondisi motor, serta pelatihan operator berperan penting dalam menekan frekuensi kerusakan dan meningkatkan kemampuan deteksi dini terhadap potensi gangguan.

Secara keseluruhan, grafik pada Gambar 4.1 memperlihatkan pola penurunan nilai RPN yang konsisten, menandakan bahwa program mitigasi risiko yang diterapkan berhasil menurunkan tingkat risiko operasional dan meningkatkan keandalan sistem crane secara signifikan.

## 3. Analisis Mode Kegagalan Berdasarkan RPN 0

| 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              | Keausan 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                | Keausan kampas / Gagal pengereman               | Material aus, tidak ada pemeriksaan interval               | 8            | 5              | 1             | 40          | Inspeksi & penggantian komponen rem rutin; uji                           | Uji pengereman berkala, checklist pre-op                 | 10                     |

|    |                   |                                             |                                          |    |   |   |    |                                                                        |                                                   |    |
|----|-------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|----|---|---|----|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----|
|    |                   |                                             |                                          |    |   |   |    | pengereman                                                             |                                                   |    |
| 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, overload                | 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 |

**Tabel 7.** Analisis Mode Kegagalan Berdasarkan RPN

Berdasarkan tabel 7 di atas memuat perhitungan Risk Priority Number (RPN) untuk berbagai mode kegagalan pada komponen kritis crane Zoomlion 55 Ton, dilakukan analisis mendalam untuk memahami tingkat risiko serta tindakan mitigasi yang diperlukan. Tabel tersebut memberikan gambaran numerik mengenai tingkat risiko, dan uraian berikut merupakan penjelasan lanjutan yang mendetail terkait setiap mode kegagalan. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi prioritas pemeliharaan dan perbaikan berdasarkan nilai RPN serta karakteristik kegagalan masing-masing komponen. Penjelasan rinci berikut menggambarkan deskripsi risiko, dampak potensial, serta rekomendasi mitigasi yang diharapkan dapat meningkatkan keandalan dan keselamatan operasional crane. 4.5 Kategorisasi Risiko. Berikut penjelasannya:

### 3.1 Main Hos Motor

Komponen ini memiliki nilai RPN awal sebesar 45, tertinggi di antara seluruh komponen yang dianalisis. Mode kegagalan utama adalah overheating dan kerusakan bearing, disebabkan oleh pelumasan yang kurang memadai, ventilasi tersumbat, dan beban kerja berlebih. Tindakan perbaikan yang dilakukan meliputi pemasangan sensor suhu dan getaran, penerapan jadwal pelumasan rutin, serta penggunaan metode predictive maintenance. Setelah tindakan tersebut diterapkan, nilai RPN turun menjadi 20 (penurunan sebesar 55,6%). Hal ini menunjukkan bahwa sistem deteksi dini dan perawatan berbasis kondisi mampu secara signifikan menurunkan potensi kerusakan fatal pada motor utama.

### 3.2 Hydraulic Sysrem

Sistem hidrolik memiliki nilai RPN awal 36, dengan mode kegagalan berupa kebocoran oli dan penurunan tekanan. Penyebab utamanya adalah seal yang aus, kontaminasi oli, serta tekanan berlebih. Mitigasi dilakukan melalui penggantian seal dan gasket secara berkala, pemasangan sensor tekanan dan deteksi kebocoran, serta analisis kualitas oli secara periodik. Nilai RPN berhasil diturunkan menjadi 16, yang berarti sistem pemeliharaan preventif dan sensor real-time efektif dalam mengurangi risiko kebocoran dan kehilangan tekanan hidrolik.

### 3.3 Hoisting Motor

Nilai RPN awal 36, dengan kegagalan berupa keausan kumparan dan bearing akibat beban berlebih dan pelumasan yang tidak memadai. Tindakan mitigasi berupa vibration monitoring, pelumasan terjadwal, serta penggantian bearing preventif terbukti menurunkan nilai RPN menjadi 16. Penurunan sebesar 55,6% ini menunjukkan bahwa pemantauan getaran sangat membantu dalam mendeteksi kerusakan internal motor sebelum terjadi kegagalan berat.

### 3.4 Boom Section

Komponen boom section memiliki RPN awal 30, dengan mode kegagalan berupa retak dan deformasi struktural akibat beban berlebih, korosi, dan kelelahan material (fatigue). Perbaikan dilakukan melalui pemeriksaan Non Destructive Test (NDT) secara berkala, pelapisan anti-korosi, serta kontrol beban sesuai kapasitas kerja crane. Setelah diterapkan, nilai RPN turun menjadi 21, menunjukkan bahwa inspeksi struktural rutin efektif dalam meningkatkan deteksi dini terhadap potensi kegagalan boom.

### 3.5 Load Moment Indicator (LMI)

Nilai RPN awal 30, dengan mode kegagalan berupa kesalahan pembacaan sensor atau kalibrasi tidak tepat. Faktor penyebab utamanya adalah drift sensor, kerusakan kabel, dan human error saat kalibrasi. Tindakan mitigasi meliputi kalibrasi rutin, verifikasi alarm, dan pelatihan operator. Setelah tindakan ini, nilai RPN menurun menjadi 21, menandakan peningkatan akurasi sistem pengaman dan penurunan kemungkinan kesalahan pembacaan beban.

### 3.6 Brake System

Brake system memiliki RPN awal 40, dengan mode kegagalan berupa keausan kampas rem dan kegagalan fungsi pengereman. Penyebabnya antara lain interval pemeriksaan yang tidak rutin dan material kampas yang aus. Langkah perbaikan yang diterapkan adalah penggantian kampas secara berkala, uji pengereman bulanan, serta checklist pemeriksaan harian. Setelah implementasi mitigasi, nilai RPN turun drastis menjadi 10 (penurunan 75%). Hasil ini menunjukkan efektivitas tinggi dari inspeksi terjadwal dan pengujian performa rem dalam meningkatkan keselamatan operasional.

### 3.7 Electrical Writting

Komponen ini memiliki RPN awal 20, dengan mode kegagalan korsleting dan kontak longgar akibat isolasi rusak dan getaran. Mitigasi dilakukan dengan pemeriksaan kabel dan terminal, pemasangan pelindung kabel, dan penggunaan termografi (thermography) untuk deteksi panas abnormal. Nilai RPN sesudah perbaikan turun menjadi 14, yang menandakan peningkatan keamanan sistem kelistrikan serta penurunan potensi kebakaran akibat korsleting.

### 3.8 Control Panel

Nilai RPN awal 18, dengan mode kegagalan berupa kerusakan tombol, kesalahan input, dan gangguan layar. Penyebabnya adalah kontaminasi debu, komponen aus, dan kerusakan wiring internal. Perbaikan dilakukan dengan uji fungsi panel secara rutin, pembersihan berkala, serta penggantian komponen yang aus. Nilai RPN sesudah mitigasi menjadi 13, menunjukkan peningkatan keandalan sistem kontrol dan pengurangan gangguan operasional.

### 3.9 Wire Rope

Komponen ini memiliki RPN awal 30, dengan mode kegagalan putus, korosi, dan bunching akibat keausan serta kondisi lingkungan yang lembap. Perbaikan meliputi pelumasan rutin, pemeriksaan visual harian, serta pengujian NDT (Non Destructive Test) setiap 6 bulan. Hasilnya, RPN turun menjadi 21. Penurunan 30% menunjukkan efektivitas inspeksi berkala dalam menghindari potensi kegagalan fatal akibat putusnya tali baja.

### 3.10 Gearbox

Komponen gearbox memiliki RPN awal 24, dengan mode kegagalan keausan gigi dan kebocoran oli yang disebabkan oleh pelumasan tidak memadai dan kontaminasi oli. Langkah mitigasi meliputi analisis pelumas (oil analysis), penggantian oli dan seal secara berkala, serta inspeksi periodik pada backlash gear. Nilai RPN sesudah mitigasi menurun menjadi 17, menandakan bahwa perawatan berbasis kondisi oli mampu memperpanjang umur pakai gearbox dan menurunkan risiko kerusakan mekanis.

#### 4. Rekomendasi Mitigasi Risiko

| No | Komponen           | Mode Kegagalan                  | Kategori Risiko | RPN | Rekomendasi Mitigasi                                                                                                                                     |
|----|--------------------|---------------------------------|-----------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Wire Rope          | Putus tiba-tiba                 | Sangat Tinggi   | 420 | Inspeksi rutin menggunakan metode NDT (ultrasonik/magnetik), pelumasan berkala, dan penggantian preventif wire rope sebelum umur pakai.                  |
| 2  | Sistem Hidrolik    | Kebocoran oli                   | Sangat Tinggi   | 336 | 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          | 225 | Inspeksi kabel secara berkala, pemasangan surge protector, serta pelatihan teknisi untuk deteksi dini potensi kerusakan kelistrikan.                     |
| 4  | Boom Teleskopik    | Retakan struktural              | Tinggi          | 216 | Inspeksi non-destruktif (NDT) berkala seperti ultrasonik, monitoring kondisi boom secara rutin, serta perawatan preventif terhadap kerusakan struktural. |
| 5  | Sistem Hidrolik    | Overheating                     | Tinggi          | 210 | Pemantauan suhu oli secara kontinu, pelumasan rutin, dan perawatan sistem pendinginan untuk mencegah kerusakan akibat panas berlebih.                    |
| 6  | Wire Rope          | Korosi                          | Tinggi          | 210 | 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   | 192 | Inspeksi dan perawatan rutin sistem kontrol, kalibrasi perangkat pengendali, serta pelatihan teknisi untuk memastikan kinerja optimal.                   |
| 8  | Sistem Rem         | Kegagalan fungsi rem            | Sedang–Rendah   | 150 | Pemeriksaan dan penggantian komponen rem secara berkala sesuai jadwal, serta pelatihan operator dalam penggunaan rem yang benar.                         |
| 9  | Sistem Hidrolik    | Kontaminasi oli                 | Sedang–Rendah   | 120 | Penggantian oli secara berkala, pemasangan dan penggantian filter berkualitas, serta monitoring kualitas oli selama operasi.                             |
| 10 | Sistem Rem         | Kearifan bantalan rem           | Sedang–Rendah   | 84  | Pemeriksaan keausan bantalan secara berkala dan penggantian segera bila ditemukan tanda keausan untuk mencegah gangguan fungsi rem.                      |

**Tabel 4.1** Rekomendasi Mitigasi dan Tindakan Perbaikan Berdasarkan Kategori Risiko

##### 4.1 Wire Rope – Putus Tiba-tiba (RPN 420, Sangat Tinggi)

Penggunaan wire rope pada peralatan angkat seperti crane memegang peran vital dalam menunjang keselamatan kerja dan kelancaran operasional. Komponen ini berfungsi menahan beban berat secara berulang, sehingga rentan mengalami kelelahan material dan kerusakan struktural jika tidak dirawat dengan baik. Kegagalan pada wire rope, khususnya putusnya secara tiba-tiba, dapat menimbulkan risiko kecelakaan serius yang berdampak pada operator maupun lingkungan kerja sekitar. Oleh karena itu, diperlukan perhatian khusus dalam pemantauan kondisi dan perawatan rutin terhadap komponen ini. Langkah-langkah mitigasi yang tepat menjadi kunci untuk meminimalkan potensi risiko dan memastikan keselamatan kerja tetap terjaga. Wire rope yang mengalami putus tiba-tiba merupakan risiko paling kritis yang dapat menyebabkan kecelakaan fatal. Mitigasi utama adalah inspeksi rutin menggunakan metode NDT seperti ultrasonik dan magnetik untuk mendeteksi kerusakan internal secara dini. Pelumasan berkala juga dianjurkan untuk

mencegah degradasi material akibat gesekan dan korosi. Selain itu, penggantian wire rope secara preventif sebelum mencapai batas umur pakai wajib dilakukan untuk menjaga keselamatan operasional. Implementasi mitigasi ini harus diikuti dengan pelatihan teknisi untuk meningkatkan efektivitas inspeksi dan perawatan.

#### 4.1 Sistem Hidrolik – Kebocoran Oli (RPN 336, Sangat Tinggi)

Sistem hidrolik merupakan komponen vital pada berbagai peralatan industri yang berfungsi untuk mentransmisikan tenaga melalui fluida bertekanan. Kinerja sistem ini sangat bergantung pada kondisi komponen dan fluida yang digunakan, sehingga setiap gangguan dapat berdampak langsung terhadap produktivitas dan keselamatan kerja. Salah satu permasalahan yang sering terjadi adalah kebocoran oli, yang tidak hanya mengurangi efisiensi sistem tetapi juga menimbulkan risiko bahaya di area kerja. Kebocoran yang tidak segera terdeteksi dapat mengakibatkan kerusakan komponen secara progresif serta meningkatkan biaya perawatan. Oleh karena itu, diperlukan langkah-langkah preventif dan penanganan cepat untuk menjaga sistem hidrolik tetap berfungsi secara optimal. Kebocoran oli pada sistem hidrolik dapat mengurangi performa mesin sekaligus berpotensi menyebabkan kecelakaan akibat area kerja yang licin. Oleh karena itu, pemasangan sensor deteksi kebocoran secara real-time menjadi sangat penting untuk mendeteksi kebocoran sejak awal. Penggantian seal dan gasket secara berkala harus dilakukan untuk mencegah kerusakan yang lebih serius. Pelatihan teknisi juga perlu diberikan agar penanganan kebocoran dapat dilakukan dengan cepat dan tepat. Upaya ini memastikan sistem hidrolik tetap dalam kondisi optimal dan aman

#### 4.3 Sistem Kelistrikan – Hubungan Pendek (RPN 225, Tinggi)

Dalam operasional crane, sistem kelistrikan memegang peranan penting untuk memastikan seluruh komponen dapat berfungsi dengan aman dan optimal. Namun, kerusakan atau gangguan pada sistem ini dapat memicu berbagai risiko yang berbahaya, baik bagi peralatan maupun keselamatan pekerja. Salah satu potensi risiko yang sering dihadapi adalah hubungan pendek listrik yang dapat terjadi akibat berbagai faktor, seperti keausan kabel atau instalasi yang kurang baik. Tanpa pengawasan dan perawatan yang tepat, kondisi ini dapat berkembang menjadi masalah serius yang mengganggu kelancaran operasional. Oleh karena itu, langkah-langkah pencegahan perlu direncanakan secara matang untuk menghindari terjadinya kegagalan sistem kelistrikan. Hubungan pendek pada sistem kelistrikan berpotensi menimbulkan kebakaran dan kerusakan pada sistem kontrol crane. Inspeksi kabel secara berkala harus dilakukan untuk memastikan tidak ada kabel yang aus atau terkelupas. Pemasangan surge protector dapat membantu melindungi peralatan dari lonjakan listrik. Pelatihan teknisi juga penting agar mampu mengenali tanda-tanda awal kegagalan kelistrikan. Dengan mitigasi ini, risiko gangguan dan kecelakaan dapat diminimalisir.

#### 4.4 Boom Teleskopik – Retakan Struktural (RPN 216, Tinggi)

Pada operasi crane, boom teleskopik memegang peran vital sebagai penopang dan pengangkat beban. Kondisi struktural yang baik pada komponen ini menjadi faktor kunci untuk memastikan kelancaran dan keselamatan kerja. Namun, paparan beban berulang, getaran, dan faktor lingkungan dapat memicu terjadinya kerusakan, termasuk retakan pada material. Kerusakan yang tidak terdeteksi sejak dini berpotensi menurunkan kekuatan struktural dan meningkatkan risiko kegagalan. Oleh karena itu, pemantauan dan perawatan berkala menjadi langkah penting dalam mencegah terjadinya insiden yang merugikan. Retakan pada boom teleskopik merupakan masalah serius yang dapat menyebabkan kegagalan struktural dan kecelakaan kerja. Deteksi dini melalui inspeksi non-destruktif seperti ultrasonik harus dilakukan secara berkala untuk menemukan retakan mikro yang tidak terlihat secara visual. Monitoring kondisi boom secara rutin serta perawatan preventif juga sangat diperlukan untuk menjaga integritas struktural. Jika ditemukan retakan, tindakan perbaikan segera harus dilakukan agar tidak memperparah kerusakan. Langkah ini meningkatkan keamanan operasi crane secara signifikan.

#### 4.5 Sistem Hidrolik-Overheating (RPN 210, Tinggi)

Sistem hidrolik merupakan salah satu komponen vital dalam mendukung kinerja peralatan industri yang memerlukan tekanan tinggi untuk beroperasi. Kinerja optimal sistem ini sangat bergantung pada kondisi oli hidrolik yang berfungsi sebagai media transmisi tenaga sekaligus pelumas komponen. Namun, berbagai faktor seperti beban kerja berlebihan, desain sistem yang kurang memadai, atau gangguan pada pendinginan dapat memicu peningkatan suhu oli secara signifikan. Kondisi ini, jika tidak diawasi, berpotensi menimbulkan masalah serius yang memengaruhi efisiensi dan umur pakai komponen. Oleh karena itu, pengendalian suhu pada sistem hidrolik menjadi aspek penting yang harus diperhatikan secara menyeluruh. Overheating pada sistem hidrolik dapat mempercepat degradasi oli dan kerusakan komponen penting. Pemantauan suhu oli secara terus-menerus dengan sensor yang akurat diperlukan untuk mencegah overheating. Pelumasan rutin dan perawatan sistem pendinginan juga menjadi bagian dari mitigasi utama.

Tindakan ini berfungsi untuk memperpanjang masa pakai komponen dan menjaga kinerja sistem hidrolik tetap optimal. Selain itu, pelatihan teknisi untuk pengawasan suhu sangat dianjurkan.

#### 4.2 Wire Rope-Korosi (RPN 210, Tinggi)

Wire rope merupakan komponen penting dalam sistem pengangkatan pada crane yang berfungsi menahan beban berat dan memastikan kelancaran operasional. Keandalan wire rope sangat bergantung pada kondisi fisiknya, sehingga setiap kerusakan yang terjadi dapat berdampak serius terhadap keselamatan kerja. Salah satu permasalahan umum yang sering ditemui adalah korosi, terutama pada lingkungan kerja yang memiliki kelembaban tinggi atau paparan zat kimia. Korosi dapat menggerogoti permukaan kawat baja secara perlahan namun pasti, mengurangi daya tahan material. Oleh karena itu, pemeliharaan yang tepat menjadi langkah krusial untuk meminimalkan risiko kegagalan. Korosi pada wire rope dapat mempercepat kerusakan material yang berujung pada penurunan kekuatan dan potensi kegagalan. Untuk mengatasi hal ini, pelumasan rutin harus dilakukan secara disiplin untuk membentuk lapisan pelindung. Perlindungan terhadap paparan lingkungan korosif melalui penyimpanan di tempat tertutup juga dianjurkan. Penggunaan bahan pelindung tambahan dapat memperpanjang usia wire rope. Pencegahan korosi ini sangat penting untuk menjaga keselamatan dan keandalan operasional crane.

#### 4.7 Sistem Kelistrikan – Kegagalan Kontrol (RPN 192, Sedang–Rendah)

Sistem kontrol kelistrikan memiliki peran vital dalam menjaga kestabilan dan keamanan operasional suatu peralatan maupun fasilitas. Keandalan sistem ini sangat bergantung pada integrasi komponen yang bekerja secara sinkron dan presisi. Setiap gangguan, sekecil apa pun, dapat memicu penurunan kinerja atau bahkan menghentikan proses operasional secara tiba-tiba. Oleh karena itu, diperlukan perhatian khusus terhadap kondisi dan performa komponen kelistrikan untuk meminimalkan risiko kegagalan. Langkah ini menjadi dasar dalam memastikan bahwa sistem dapat beroperasi secara aman dan efisien. Kegagalan pada sistem kontrol kelistrikan memerlukan inspeksi dan perawatan rutin untuk menjaga fungsi optimal. Kalibrasi perangkat pengendali harus dilakukan secara berkala agar sistem bekerja sesuai spesifikasi. Pelatihan teknisi sangat penting agar mereka dapat mendeteksi dan menangani potensi masalah lebih awal. Walaupun termasuk kategori risiko sedang hingga rendah, pengabaian dapat menyebabkan kerusakan serius. Oleh karena itu, tindakan preventif ini harus dijalankan konsisten.

#### 4.8 Sistem Rem-Kegagalan Fungsi Rem (RPN 150, Sedang–Rendah)

Sistem rem merupakan salah satu komponen vital pada peralatan kerja yang berperan penting dalam menjaga kendali dan keamanan operasional. Performa rem yang optimal tidak hanya memastikan kelancaran proses kerja, tetapi juga meminimalkan potensi terjadinya insiden yang dapat mengancam keselamatan jiwa maupun merugikan aset perusahaan. Kerusakan atau penurunan kinerja rem, meskipun terlihat sepele, dapat menimbulkan konsekuensi serius jika tidak segera diidentifikasi dan ditangani. Oleh karena itu, penerapan prosedur perawatan dan pengawasan yang ketat menjadi langkah krusial dalam manajemen risiko. Hal ini menjadi dasar penting untuk memahami bahwa setiap kelalaian terhadap fungsi rem dapat membawa dampak yang luas bagi keselamatan kerja.

Fungsi rem yang gagal dapat membahayakan keselamatan operator dan lingkungan kerja. Pemeriksaan berkala dan penggantian komponen rem sesuai jadwal wajib dilakukan untuk mencegah kegagalan fungsi. Operator juga perlu dilatih untuk menggunakan rem dengan benar dan melaporkan gejala abnormal. Perawatan yang tepat akan mengurangi risiko kecelakaan dan memperpanjang masa pakai sistem rem. Kesadaran operasional sangat mendukung keberhasilan mitigasi.

#### 4.9 Sistem Hidrolik – Kontaminasi Oli (RPN 120, Sedang–Rendah)

Sistem hidrolik memegang peranan penting dalam menunjang kinerja peralatan industri, sehingga keandalannya perlu dijaga melalui perawatan yang tepat. Salah satu faktor krusial yang memengaruhi kinerja sistem ini adalah kondisi oli sebagai media penghantar tenaga. Oli yang bersih dan berkualitas mampu mengurangi gesekan, mencegah keausan, serta memperpanjang umur pakai komponen. Namun, dalam praktik operasional, oli rentan mengalami penurunan kualitas akibat paparan debu, partikel logam, atau zat asing lainnya. Oleh karena itu, diperlukan strategi perawatan yang efektif untuk meminimalkan risiko kerusakan akibat kontaminasi oli. Kontaminasi oli dapat menurunkan kualitas pelumasan dan mempercepat kerusakan komponen hidrolik. Penggantian oli secara berkala sesuai standar pabrikan menjadi tindakan preventif utama. Pemasangan filter berkualitas tinggi serta penggantian filter secara rutin juga dianjurkan. Monitoring kualitas oli selama operasi dapat membantu mendeteksi kontaminasi dini. Langkah-langkah ini menjaga performa dan keandalan sistem hidrolik.

#### 4.10 Sistem Rem – Keausan Bantalan Rem (RPN 84, Sedang–Rendah)

Dalam sistem keselamatan kendaraan, rem memegang peranan krusial untuk memastikan kendaraan dapat berhenti secara aman dan tepat waktu. Kinerja rem yang optimal sangat bergantung pada kondisi setiap komponennya, termasuk bantalan rem sebagai salah satu bagian yang paling sering mengalami gesekan. Faktor seperti frekuensi penggunaan, beban kendaraan, dan kondisi jalan dapat mempercepat keausan bantalan rem. Jika tidak diawasi dengan baik, penurunan kualitas bantalan dapat menimbulkan risiko kecelakaan dan kerusakan komponen lainnya. Oleh karena itu, perhatian khusus terhadap pemeliharaan bantalan rem menjadi hal yang mutlak diperlukan. Keausan bantalan rem harus dipantau secara rutin untuk mencegah penurunan efektivitas pengereman. Pemeriksaan berkala dan penggantian segera saat ditemukan keausan adalah tindakan yang wajib dilakukan. Keterlambatan dalam penggantian dapat menyebabkan kerusakan lebih besar pada sistem rem. Pengawasan dan pelatihan teknisi tentang tanda-tanda keausan juga penting. Dengan tindakan ini, fungsi rem dapat dipertahankan pada kondisi optimal

## V. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) dengan pendekatan Risk Priority Number (RPN) terbukti efektif dalam mengidentifikasi, menganalisis, dan memprioritaskan risiko kegagalan pada sistem pemeliharaan crane Zoomlion 55 ton. Hasil analisis menunjukkan bahwa komponen-komponen kritis seperti Main Hoist Motor, Brake System, Hydraulic System, dan Hoisting Motor memiliki nilai RPN tertinggi sehingga memerlukan prioritas penanganan utama karena berpotensi menimbulkan risiko keselamatan dan gangguan operasional yang signifikan

Penerapan tindakan mitigasi berupa preventive maintenance, predictive maintenance, inspeksi berkala, pemasangan sensor pemantauan, serta peningkatan prosedur perawatan terbukti mampu menurunkan nilai RPN secara signifikan, dengan persentase penurunan berkisar antara 30% hingga 75%. Penurunan ini terutama dipengaruhi oleh berkurangnya nilai Occurrence dan meningkatnya kemampuan Detection, sementara nilai Severity tetap konstan karena merupakan karakteristik bawaan dari kegagalan komponen. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa sistem pemeliharaan berbasis risiko menggunakan FMEA dan RPN dapat meningkatkan keandalan, keselamatan, dan efektivitas operasional crane secara berkelanjutan. Pendekatan ini juga membantu optimalisasi sumber daya pemeliharaan serta menjadi dasar pengambilan keputusan yang lebih sistematis dalam manajemen perawatan alat berat.

## REFERENSI

- [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 Maintenance 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. Herlina, 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] Ī. 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. Quratuláini, 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.

***Conflict of Interest Statement:***

*The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.*