

## Penerapan FMEA dan Diagram Pareto dalam Mengidentifikasi Kegagalan Komponen Kritis pada *Wheel Loader*

Nabila Fatiha Muntaz<sup>1\*</sup>, Mey Rohma Dhani<sup>2</sup> dan Aulia Nadia Rachmat<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

\*E-mail: [meyrohmadhani@ppns.ac.id](mailto:meyrohmadhani@ppns.ac.id)

### Abstrak

Industri beton pracetak memanfaatkan *wheel loader* sebagai alat utama untuk mengangkut material menuju *hopper*. Aktivitas operasional yang berlangsung terus-menerus sepanjang hari demi memenuhi target produksi dapat memicu timbulnya kerusakan atau malfungsi pada komponen. Salah satu contoh kerusakan komponen *wheel loader* yang terjadi yaitu pada komponen *hose hydraulic* yang pecah karena adanya gesekan dengan *chassis unit* yang dimana *spiral guide hose* tidak menutup penuh *hose*. Oleh karena itu, perlu adanya analisis terhadap komponen *wheel loader* agar dapat mengetahui hasil dari komponen kritis tersebut. Penentuan komponen kritis dilakukan menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) yang digunakan untuk mengidentifikasi kegagalan masing-masing komponen. FMEA digunakan untuk menilai tingkat risiko dengan menghitung nilai RPN (*Risk Priority Number*). Hasil dari nilai RPN tersebut kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan diagram pareto untuk mengidentifikasi komponen-komponen kritis pada *wheel loader*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat 3 komponen kritis yaitu komponen *brake* yang memiliki nilai RPN sebesar 45 dengan persentase kumulatif 8%, *hose hydraulic* yang memiliki RPN 36 dan persentase kumulatif 14%, serta *radiator* yang memiliki nilai RPN 36 dengan persentase kumulatif 20%.

**Kata Kunci:** FMEA, Komponen Kritis, Pareto, RPN, *Wheel Loader*

### Abstract

The precast concrete industry utilizes *wheel loaders* as the primary tool for transporting materials to the *hopper*. Continuous operational activities throughout the day to meet production targets can cause damage or malfunction to components. One example of *wheel loader* component damage is a broken hydraulic hose due to friction with the unit chassis, where the spiral guide hose does not fully cover the hose. Therefore, it is necessary to analyze *wheel loader* components to determine the results of these critical components. Critical components are determined using the FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) method, which is used to identify the failure of each component. FMEA is used to assess the level of risk by calculating the RPN (*Risk Priority Number*) value. The results of the RPN value are then further analyzed using a Pareto chart to identify critical components in *wheel loaders*. The results of this study show that there are three critical components, namely the brake component, which has an RPN value of 45 with a cumulative percentage of 8%; the hydraulic hose, which has an RPN of 36 and a cumulative percentage of 14%; and the radiator, which has an RPN value of 36 with a cumulative percentage of 20%.

**Keywords:** FMEA, Critical Component, Pareto, RPN, *Wheel Loader*

## 1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur di Indonesia mengalami pertumbuhan yang cepat dan signifikan. Kondisi ini mendorong setiap perusahaan untuk terus meningkatkan tingkat produktivitasnya. Namun, peningkatan produktivitas tersebut juga diiringi dengan bertambahnya potensi risiko. Salah satu sektor dalam industri manufaktur yang menunjukkan perkembangan pesat adalah perusahaan yang memproduksi beton pracetak. Dalam beberapa tahun terakhir, industri beton pracetak mengalami pertumbuhan yang cukup signifikan, terlihat dari semakin banyaknya perusahaan yang bergerak di bidang ini, baik dalam skala besar maupun kecil (Mahyar and Supryadi, 2020).

Proses produksi beton ini membutuhkan dan melibatkan alat berat yaitu *wheel loader* yang berguna untuk mengangkut dan memindahkan material dari satu tempat ke tempat yang lain (Saufa et al., 2024). *Wheel loader* memiliki kelebihan dalam melakukan pekerjaan pengangkatan material jika dibandingkan dengan alat berat lainnya. Alat ini mampu memindahkan material dalam volume besar ke jarak yang tidak terlalu jauh secara efisien, sehingga sangat cocok digunakan untuk aktivitas pemindahan material dengan frekuensi tinggi. Alat ini merupakan alat utama yang digunakan untuk memindahkan material dalam perusahaan. Fungsi dari *wheel loader* merupakan sebuah alat

berat yang digunakan untuk mengangkut atau membawa material yang nantinya akan dimasukkan ke *storage bin* atau alat ini juga bisa dipakai untuk memindahkan material (Pratama, Wiranto and Lukman, 2022). Dalam penggunaannya, *wheel loader* mempunyai *bucket* yang lebih besar dibandingkan dengan *excavator* sehingga *wheel loader* dapat bekerja dengan produktivitas yang lebih tinggi (Nuryanneti, Sadewo and Erwin, 2023). Untuk memenuhi target produksi, proses pembuatan beton sering kali dilakukan hampir sepanjang hari tanpa henti. Kondisi kerja yang intensif ini menjadi salah satu penyebab utama tingginya tingkat kerusakan atau kegagalan pada mesin dan peralatan produksi.

Melihat permasalahan diatas, diperlukan suatu evaluasi khusus yang bertujuan untuk menurunkan tingkat kegagalan pada *wheel loader*, salah satunya dengan menerapkan metode FMEA dan diagram pareto. FMEA digunakan untuk untuk mengidentifikasi suatu kegagalan dengan sistematis menggunakan bantuan tabel pengumpulan data-data untuk dianalisis (Muhazir, Sinaga and Yusanto, 2020). Menurut Mahyar dan Supryadi (2020) metode FMEA digunakan untuk mengidentifikasi tingkat *severity* atau keparahan dari kegagalan komponen, tingkat *occurrence* atau frekuensi kemungkinan terjadinya kegagalan komponen dan tingkat *detection* atau deteksi munculnya kegagalan pada alat. Pada proses penyusunan FMEA, dilakukan perhitungan nilai RPN (*Risk Priority Number*) yang bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat prioritas risiko dari setiap potensi kegagalan yang mungkin terjadi, serta memberikan saran perbaikan terkait dari tingkat kerusakan yang sering terjadi yang menimbulkan penurunan produktivitas (Rizky and Sulistiyowati, 2023). Menurut Hendratmoko (2022) proses penyusunan FMEA, dilakukan perhitungan RPN (*Risk Priority Number*) untuk mengidentifikasi komponen mesin yang paling kritis. Hasil dari nilai RPN tersebut yang akan digunakan untuk menilai tingkat kekritisan suatu komponen pada mesin (Elisabeth Ginting and Yola Lista, 2019).

Nilai RPN tersebut kemudian digunakan untuk mengidentifikasi komponen yang paling kritis, dengan bantuan analisis menggunakan diagram Pareto. Prinsip diagram pareto yaitu aturan 80/20 menyatakan bahwa 80% efek kejadian berasal dari 20% penyebab, dengan kata lain penyebab kecil dapat berdampak besar (Sungkana, Ratnaningsih and Soetjipto, 2023). Dapat diartikan bahwa 20% jenis kerusakan merupakan 80% dari penyebab kerusakan dari keseluruhan kerja mesin (Ramadhan *et al.*, 2021). Diagram Pareto berguna untuk mengenali serta menentukan prioritas permasalahan dengan menyusunnya berdasarkan tingkat urgensinya. Diagram ini menyajikan klasifikasi data yang disusun mulai dari nilai tertinggi hingga terendah secara berurutan dari kiri ke kanan. Pemanfaatan diagram Pareto memudahkan identifikasi komponen paling kritis yang perlu diprioritaskan untuk kegiatan pemeliharaan, penggantian, atau perbaikan, sehingga dapat meningkatkan kinerja serta keandalan sistem. Berdasarkan permasalahan diatas, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kegagalan komponen pada *wheel loader* menggunakan metode FMEA dan mengetahui hasil penentuan nilai komponen kritis menggunakan diagram pareto. Sehingga dapat dilakukan langkah pencegahan yang tepat untuk mengurangi risiko kerusakan di masa mendatang.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dan penentuan komponen kritis menggunakan diagram pareto.

### FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

Dalam menganalisis risiko kegagalan dalam mesin dapat dioptimalkan melalui penerapan metode FMEA menggunakan lembar kerja/*worksheet*. Lembar kerja/*worksheet* FMEA ini memuat sejumlah kolom, di antaranya untuk mencatat *failure mode* sebagai bentuk kegagalan yang mungkin terjadi serta *failure effect* yang mendeskripsikan konsekuensi dari kegagalan tersebut. Selanjutnya, aspek *severity* digunakan untuk menilai tingkat keparahan dampak kegagalan terhadap proses produksi di perusahaan. Sementara itu, parameter *detection* mencerminkan kemampuan sistem mendeteksi potensi kegagalan sebelum benar-benar terjadi, dan *occurrence* berperan dalam mengestimasi peluang maupun frekuensi munculnya permasalahan yang berpotensi memicu kegagalan. Pemberian penilaian *severity*, *occurrence* dan *detection* berdasarkan hasil diskusi yang dilakukan bersama *expert judgement* perusahaan. Penelitian ini ditetapkan 3 orang *expert judgement* yang telah memiliki wawasan, pengalaman dan pengetahuan sesuai bidangnya yaitu *supervisor* mekanik, *operator wheel loader*, dan HSE. Dalam pengerjaan FMEA ini dilakukan pengamatan di lapangan bersama dengan *expert judgement*, aspek yang digunakan dalam penyusunan FMEA antara lain:

- a. *Component* untuk menentukan data komponen yang akan diidentifikasi.
- b. *Functional* untuk menentukan fungsi dari komponen.
- c. *Functional Failure* untuk menjelaskan kegagalan fungsi komponen,
- d. *Failure Mode* untuk menentukan kemungkinan kegagalan yang berpotensi terjadi dari fungsi komponen.
- e. *Failure Effect* untuk menentukan dampak dari terjadinya kegagalan.

**Tabel 1.** *Worksheet FMEA*

Failure Mode and Effect Analysis										
System:					Date:					
Subsystem:										
No	Component	Functional	Functional Failure	Failure Mode	Failure Effect	S	O	D	RPN	

Sumber: (Moubray, 1997)

Berikut merupakan langkah-langkah proses identifikasi menggunakan metode FMEA (Putra, Syarief and Isworo, 2018):

1. Mengidentifikasi kemungkinan terjadinya kegagalan pada komponen mesin atau peralatan
2. Mengevaluasi risiko yang muncul akibat kegagalan tersebut
3. Menentukan nilai *severity* atau tingkat keparahan dampaknya

**Tabel 2.** *Kategori Tingkat Keparahannya (Severity)*

Rating	Effect	Keterangan
1	Tidak ada	Kegagalan bersifat minor sehingga pelanggan (internal atau eksternal) mungkin tidak akan mendeteksi kegagalan
2	Kecil	Kegagalan akan mengakibatkan sedikit gangguan pelanggan dan/atau sedikit penurunan kinerja bagian atau sistem.
3	Sedang	Kegagalan akan mengakibatkan ketidakpuasan dan gangguan pelanggan dan/atau penurunan kinerja bagian atau sistem.
4	Besar	Kegagalan akan menghasilkan tingkat ketidakpuasan dan penyebab pelanggan yang tinggi tidak berfungsinya sistem
5	Berbahaya	Kegagalan akan menghasilkan ketidakpuasan pelanggan yang besar dan menyebabkan non sistem operasi atau ketidakpatuhan terhadap peraturan pemerintah

Sumber: (Perusahaan, 2024)

4. Menetapkan nilai *occurrence* sebagai ukuran frekuensi terjadinya kegagalan

**Tabel 3.** *Kategori Tingkat Kemungkinan (Occurrence)*

Rating	Kemungkinan kegagalan	Kriteria kegagalan (insiden tiap item)
1	Tidak ada	1 Kegagalan dalam setahun atau lebih jarang
2	Sangat rendah	1 kegagalan dalam enam bulan
3	Rendah	1 kegagalan dalam tiga bulan
4	Sedang	1 kegagalan dalam setiap bulan
5	Tinggi	>1 kegagalan dalam setiap bulan

Sumber: (Perusahaan, 2024)

5. Menetapkan nilai *detection* untuk menunjukkan kemampuan mendeteksi kegagalan

Tabel 4. Kategori Tingkat Deteksi (*Detection*)

Rating	Kemungkinan kegagalan terdeteksi	Keterangan
1	Hampir pasti	Kendali hampir pasti dapat mendeteksi potensi kegagalan (terdapat sensor yang mendeteksi terjadinya kegagalan dan dapat mematikan mesin secara otomatis)
2	Tinggi	Terdapat kendali yang memiliki kemampuan tinggi untuk mendeteksi potensi kegagalan (terdapat sensor yang mendeteksi kegagalan namun harus dilakukan pengecekan ke komponen terkait)
3	Sedang	Terdapat kendali yang memiliki kemampuan sedang/cukup untuk mendeteksi potensi kegagalan. Kegagalan diketahui dengan melakukan inspeksi secara acak dan mesin belum mengalami <i>downtime</i>
4	Rendah	Terdapat kendali tetapi rendah kemampuannya untuk mendeteksi kegagalan. Kegagalan dapat diketahui dengan melakukan inspeksi dan diketahui setelah mesin mengalami <i>downtime</i> .
5	Hampir mustahil	Tidak ada kendali untuk mendeteksi potensi kegagalan. Kegagalan harus diketahui dengan pengujian atau inspeksi dari pihak eksternal dan dapat menyebabkan kecelakaan yang berisiko tinggi.

Sumber: (Alijoyo, Wijaya and Jacob, 2020)

6. Menghitung RPN (*Risk Priority Number*) sebagai indikator prioritas penanganan risiko.

#### Penentuan Komponen Kritis

Hasil dari metode FMEA, akan diperoleh nilai RPN (*Risk Priority Number*). Nilai ini dimanfaatkan untuk mengidentifikasi komponen-komponen yang paling kritis dengan menggunakan bantuan diagram Pareto. Prinsip dalam diagram Pareto dikenal sebagai "hukum 80-20" yang menyatakan bahwa "80% dari masalah berasal dari 20% sumber masalah (Koch, 1998). Menurut aturan Pareto, secara umum 80% dari kesalahan dalam suatu sistem bersumber dari 20% penyebab yang memunculkan kesalahan tersebut (Görener and Toker, 2013). Dengan kata lain, sejumlah kecil penyebab dapat memberikan pengaruh yang sangat besar (Sungkana, Ratnaningsih and Soetjipto, 2023). Hal ini juga menunjukkan bahwa sekitar 20% jenis kerusakan dapat menjadi penyebab utama dari 80% masalah yang terjadi dalam kinerja mesin secara keseluruhan (Ramadhan *et al.*, 2021).

Menurut Sunarto, 2020 berikut merupakan langkah-langkah dalam proses pembuatan diagram pareto :

1. Menentukan data (mode kegagalan dari seluruh komponen *wheel loader* dan nilai RPN) yang akan dianalisis.
2. Membuat tabel dan mengurutkan data berdasarkan jumlah data dengan nilai paling besar ke yang paling kecil.
3. Menghitung total data dan menghitung persentase tiap data.
4. Menghitung persentase kumulatif dengan menambahkan persentase tiap kategori secara berurutan dari atas ke bawah.
5. Menggunakan diagram batang (*bar chart*) untuk jumlah masalah dan garis (*line chart*) untuk persentase kumulatif.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil identifikasi bahaya kegagalan dan penilaian risiko menggunakan FMEA, didapatkan nilai RPN yang ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Worksheet FMEA komponen *Wheel Loader*

No	Component	Functional	Functional Failure	Failure Mode	Failure Effect	S	O	D	RPN
1	Brake	a Sistem pengereman pada ban	a Tidak mampu melakukan pengereman pada roda	a Brake trouble	a Wheel loader tidak dapat berhenti	5	3	3	45
2	Hose Hydraulic	a Selang untuk mengalirkan cairan hidrolik	a Tidak dapat menyalurkan fluida bertekanan ke sistem hidrolik	a Retak dan pecah	a Penurunan tekanan hidrolik sehingga kinerja sistem terganggu	4	3	3	36
3	Radiator	a Menstabilkan suhu mesin kendaraan	a Tidak mampu menyerap panas dari mesin	a Pipa bocor	a Suhu mesin meningkat, berpotensi <i>overheat</i>	4	3	3	36

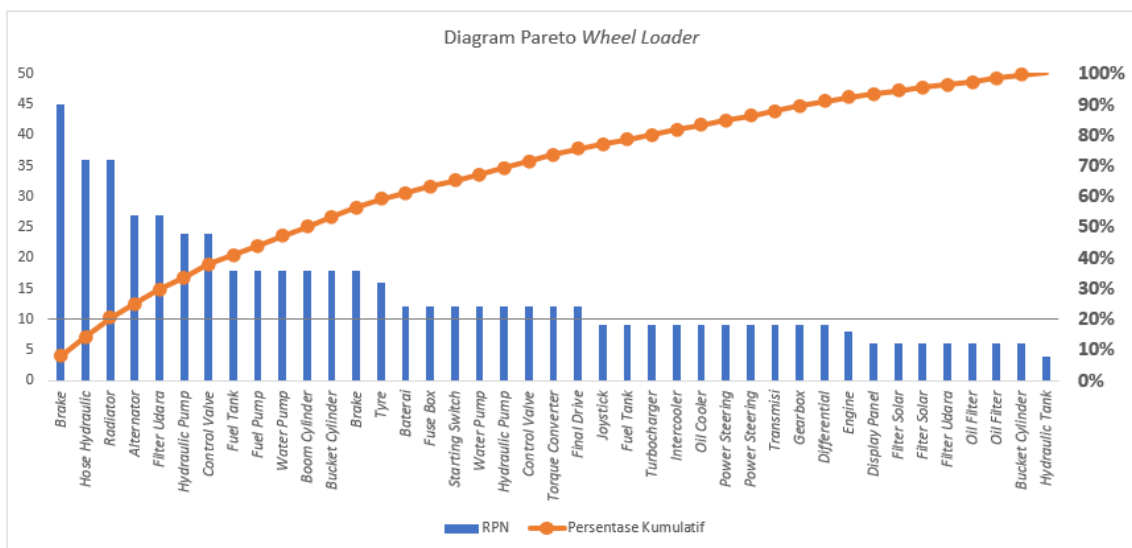
Hasil analisis yang ada pada tabel 5 dapat diketahui bahwa salah satu contoh hasil analisis FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) pada saat *brake* mengalami mode kegagalan berupa *brake trouble*, menyebabkan kegagalan fungsi hilangnya kemampuan untuk melakukan pengereman pada roda yang berakibat *wheel loader* tidak dapat berhenti dengan hasil nilai RPN 45.

**Tabel 6.** Presentase Kumulatif RPN

No	Component	S	O	D	RPN	Persentase	Persentase Kumulatif
1	Brake	5	3	3	45	8%	8%
2	Hose Hydraulic	4	3	3	36	6%	14%
3	Radiator	4	3	3	36	6%	20%
4	Alternator	3	3	3	27	5%	25%
5	Filter Udara	3	3	3	27	5%	29%
6	Hydraulic Pump	4	2	3	24	4%	33%
7	Control Valve	4	2	3	24	4%	38%
8	Fuel Tank	3	2	3	18	3%	41%
9	Fuel Pump	3	2	3	18	3%	44%
10	Water Pump	3	2	3	18	3%	47%
11	Boom Cylinder	3	2	3	18	3%	50%
12	Bucket Cylinder	3	2	3	18	3%	53%
13	Brake	3	2	3	18	3%	56%
14	Tyre	4	2	2	16	3%	59%
15	Baterai	4	1	3	12	2%	61%
16	Fuse Box	4	1	3	12	2%	63%
17	Starting Switch	4	1	3	12	2%	65%
18	Water Pump	4	1	3	12	2%	67%
19	Hydraulic Pump	4	1	3	12	2%	69%
20	Control Valve	4	1	3	12	2%	71%
21	Torque Converter	4	1	3	12	2%	73%
22	Final Drive	2	2	3	12	2%	75%
23	Joystick	3	1	3	9	2%	77%
24	Fuel Tank	3	1	3	9	2%	78%
25	Turbocharger	3	1	3	9	2%	80%
26	Intercooler	3	1	3	9	2%	81%
27	Oil Cooler	3	1	3	9	2%	83%
28	Power Steering	3	1	3	9	2%	85%
29	Power Steering	3	1	3	9	2%	86%

30	Transmisi	3	1	3	9	2%	88%
31	Gearbox	3	1	3	9	2%	89%
32	Differential	3	1	3	9	2%	91%
33	Engine	4	1	2	8	1%	92%
34	Display Panel	3	1	2	6	1%	93%
35	Filter Solar	2	1	3	6	1%	94%
36	Filter Solar	2	1	3	6	1%	95%
37	Filter Udara	2	1	3	6	1%	96%
38	Oil Filter	2	1	3	6	1%	97%
39	Oil Filter	2	1	3	6	1%	98%
40	Bucket Cylinder	2	1	3	6	1%	99%
41	Hydraulic Tank	2	1	2	4	1%	100%

Diagram Pareto sangat berguna dalam memvisualisasikan perbedaan peringkat untuk kegagalan dan efeknya. Penentuan komponen kritis ini menggunakan prinsip 80/20, di mana sebagian kecil potensi kegagalan memiliki dampak yang besar terhadap keseluruhan system (Sungkana, Ratnaningsih and Soetjipto, 2023). Berikut merupakan nilai persentase kumulatif RPN komponen *wheel loader* yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Pareto Wheel Loader

Berdasarkan pada gambar 1, terdapat tiga komponen yang dikategorikan sebagai komponen kritis, yaitu *brake* dengan mode kegagalan berupa gangguan pada sistem pengereman yang memiliki nilai RPN sebesar 45 dengan persentase kumulatif 8%, *hose hydraulic* dengan permasalahan kebocoran pada pipa serta nilai RPN 36 dan persentase kumulatif 14%, serta *radiator* dengan kegagalan berupa retakan pada selang yang juga memiliki RPN 36 dan persentase kumulatif 20%. Penentuan komponen-komponen ini mengacu pada prinsip Pareto 80/20, di mana sekitar 20% dari penyebab bertanggung jawab terhadap sekitar 80% dari dampak yang terjadi. Penggunaan diagram ini sangat membantu dalam menetapkan komponen mana yang perlu mendapatkan perhatian lebih, baik dalam bentuk perawatan, penggantian, maupun perbaikan, untuk meningkatkan performa serta keandalan sistem secara keseluruhan.

Hasil dari analisis FMEA pada tabel 5, maka perlu adanya rekomendasi perbaikan untuk ketiga komponen kritis. Komponen *brake* dengan *failure mode brake trouble* diperlukan adanya pemeriksaan rutin, penggantian kampas rem yang aus atau terkontaminasi, perbaikan kebocoran, serta pengujian sebelum digunakan. Komponen *hose hydraulic* dengan *failure mode hose* retak dan pecah diperlukan adanya perawatan *hose hydraulic* yang meliputi pemeriksaan rutin kondisi fisik, penggantian bila terjadi kerusakan atau kebocoran, serta memastikan pemasangan sesuai standar. Pencegahan jangka panjang dapat dilakukan dengan melindungi *hose* dari panas berlebih, tekanan berlebihan, dan gesekan, serta memastikan penggunaan *hose* sesuai spesifikasi. Selanjutnya pada komponen *radiator* dengan *failure mode* pipa bocor perlu adanya pengecekan kebersihan radiator, kualitas cairan pendingin, dan kondisi pipa *radiator*. Pencegahan jangka panjang dapat berupa penggunaan cairan pendingin yang tepat, pembersihan berkala, serta pengecekan sistem pendingin secara menyeluruh.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil analisis FMEA dan diagram pareto yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat tiga

komponen yang menjadi komponen kritis, yaitu *brake* dengan mode kegagalan berupa gangguan pada sistem pengereman yang memiliki nilai RPN sebesar 45 dengan persentase kumulatif 8%, *hose hydraulic* dengan permasalahan kebocoran pada pipa serta nilai RPN 36 dan persentase kumulatif 14%, serta *radiador* dengan kegagalan berupa retakan pada selang yang juga memiliki RPN 36 dan persentase kumulatif 20%. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengidentifikasi penyebab dasar dari tiap kegagalan untuk memberikan rekomendasi berdasarkan akar penyebab dasar kegagalan. Analisis akar penyebab dasar dapat menggunakan metode seperti ETA, FTA, *Fishbone Diagram*, *Bowtie analysis* dan sebagainya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alijoyo, A., Wijaya, Q.B. and Jacob, I. (2020) '**Failure Mode Effect Analysis Analisis Modus Kegagalan dan Dampak RISK EVALUATION RISK ANALYSIS: Consequences Probability Level of Risk**', *Crms*, p. 19. Available at: [www.lspmks.co.id](http://www.lspmks.co.id).
- Elisabeth Ginting and Yola Lista (2019) '*Analisa Komponen Kritis untuk Mengurangi Breakdown Mesin Produksi pada PT. XYZ*', **Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE)**, 2(3). Available at: <https://doi.org/10.32734/ee.v2i3.704>.
- Görener, A. and Toker, K. (2013) '*Quality Improvement in Manufacturing Processes to Defective Products using Pareto Analysis and FMEA*', **Beykent University Journal of Social Sciences-BUJSS**, 6(2), pp. 1307–5063. Available at: [www.ssbfnct.com/ojs](http://www.ssbfnct.com/ojs).
- Hendratmoko, T. and Pranoto, H. (2022) '*Analisis kegagalan dengan menggunakan metode FMEA dan FTA untuk menentukan perawatan undercarriage pada kendaraan listrik e-niaga geni biru tiga roda*', **Journal of New Energies and Manufacturing (JONEM)**, 1(2), pp. 94–103.
- Koch, R. (1998) **The 80/20 Principle**.
- Mahyar and Supryadi, E. (2020) '*PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI GENTENG BETON DENGAN PENDEKATAN METODE FAULT TREE ANALYSIS, FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS PRODUK*', **JURNAL EKOBISMAN**, 2019(2132), pp. 235–238.
- Moubray, J. (1997) '*reliability centered maintenance II*', **Nuclear Plant Journal**, pp. 59–61, 91.
- Muhazir, A., Sinaga, Z. and Yusanto, A.A. (2020) '*Analisis Penurunan Defect Pada Proses Manufaktur Komponen Kendaraan Bermotor Dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (Fmea)*', **Jurnal Kajian Teknik Mesin**, 5(2), pp. 66–77. Available at: <https://doi.org/10.52447/jktm.v5i2.2955>.
- Nuryanneti, I., Sadewo, S.P. and Erwin (2023) '*Analisis Waktu Maintenance Terhadap Efektivitas Kerja Wheel Loader WA-200 Pabrik Briket Tanjung Enim*', **Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains**, 1(1), pp. 29–33.
- Perusahaan (2024) *Data Perusahaan*.
- Pratama, S.I., Wiranto, P. and Lukman, H. (2022) '*PENERAPAN EFISIENSI ALAT BERAT PADA BATCHING PLANT DALAM MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS BETON READY MIX (STUDI KASUS: BATCHING PLANT-PT. Prayoga Abudya Sejahtera)*', **Fakultas Teknik Universitas Pakuan**, pp. 1–13. Available at: <https://dSPACE.uir.ac.id>.
- Putra, C.D., Syarif, A. and Isworo, H. (2018) '*Analisa Kegagalan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (Fmea) Pada Unit Off-Highway Truck 777D*', **Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika**, 3(1), pp. 33–42. Available at: <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v3i1.4>.
- Ramadhan, M.I. et al. (2021) '*Analisis Kerusakan Mesin Ahu Menggunakan Pendekatan Metode Failure Mode and Effect Analysis*', **Rotor**, 14(2), p. 49. Available at: <https://doi.org/10.19184/rotor.v14i2.26460>.
- Rizky, N. and Sulistiyowati, W. (2023) '*Forklift Damage Analysis Using FMEA and FTA Methods At PT. Karya Mitra Teknik Sidoarjo*', pp. 1–11. Available at: <http://dx.doi.org/10.21070/ups.2745>.
- Saufa, B.T. et al. (2024) '*Analisis Patahnya Batang Piston Pada Mesin Wheel Loader SDLG 933L*', **Metalik: Jurna; Manufaktur, Energi, Material Teknik**, 3, pp. 56–60.
- Sunarto, S. (2020) **Buku Saku Analisis Pareto**, Surabaya Health Polytechnic.
- Sungkana, S.R.K., Ratnaningsih, A. and Soetjipto, J.W. (2023) '*Analisis Faktor Penyebab Keterlambatan Pelaksanaan Pondasi Bore Pile Menggunakan Metode Fault Tree Analysis*', **Bulletin of Civil Engineering**, 3(1), pp. 25–30. Available at: <https://doi.org/10.18196/bce.v3i1.17491>.