

Analysis Operational Reliability Of Concrete Pump Using FMEA And FTA Methods

[Analisa Reliabilitas Operasional Concrete Pump Menggunakan Metode FMEA Dan FTA]

Akbar Ramadhandi Sambada¹⁾, Tedjo Sukmono *²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Email Penulis Koresponden : thedjoss@umsida.ac.id²⁾

Abstract. The operation of concrete pump trucks faces various challenges, such as high maintenance costs, prolonged downtime, decreased efficiency due to difficult project conditions, and a shortage of skilled labor. In 2024, the equipment recorded 2,500 operating hours with 976 hours of downtime, resulting in an availability rate of only 88.41%. This study aims to analyze operations and failures using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method to identify failures, and the Fault Tree Analysis (FTA) method to systematically trace the root causes of breakdowns. The FMEA results indicate that the component with the highest RPN value is the Hydraulic Pump with a score of 360, mainly due to leakage caused by worn seals. The application of these methods is expected to improve the reliability and sustainability of concrete pump operations through more accurate failure predictions and appropriate preventive actions, thereby optimizing equipment performance in challenging field conditions.

Keywords - Concrete Pump, Operational Optimization, FMEA, FTA

Abstrak. Operasional truk pompa beton menghadapi berbagai tantangan, seperti tingginya biaya perawatan, lamanya waktu kerusakan, serta menurunnya efisiensi akibat kondisi proyek yang sulit, dan kurangnya tenaga kerja terampil. Pada tahun 2024, alat ini mencatatkan 2.500 jam kerja dengan 976 jam kerusakan, sehingga tingkat ketersediaannya hanya mencapai 88,41%. Penelitian ini bertujuan untuk analisa operasional dan kerusakan dengan menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk mengidentifikasi kegagalan, dan Fault Tree Analysis (FTA) untuk menelusuri akar penyebab kerusakan secara sistematis. Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa komponen dengan nilai RPN tertinggi adalah Hydraulic Pump dengan skor 360, terutama akibat kebocoran karena seal aus. Penerapan kedua metode ini diharapkan dapat meningkatkan reliabilitas dan keberlanjutan operasi concrete pump melalui prediksi kegagalan yang lebih akurat dan tindakan pencegahan yang tepat, sehingga kinerja alat di lapangan yang menantang dapat lebih optimal.

Kata Kunci : Pompa Beton, Operasional Optimasi, FMEA, FTA

I. PENDAHULUAN

PT. Varia Usaha Beton, sebagai salah satu pemain utama dalam sektor infrastruktur di Indonesia, sangat bergantung pada pompa beton yang merupakan alat penunjang dalam operasionalnya, namun berbagai masalah kompleks terkait penggunaannya muncul. Tingginya biaya operasional dan pemeliharaan pompa beton, yang mencakup pengeluaran untuk bahan bakar, suku cadang, dan perbaikan, menjadi tantangan signifikan. Selain itu, efisiensi penggunaan pompa beton sering terhambat oleh faktor eksternal seperti kondisi lokasi proyek yang sulit dijangkau, cuaca ekstrem, dan ketersediaan tenaga kerja terlatih untuk mengoperasikan serta merawat pompa tersebut. Salah satunya alat berat yang digunakan adalah Truk *Concrete Pump*, yaitu sejenis pompa beton yang sudah terpasang di atas truk. Alat ini dirancang untuk memberikan kemampuan memompa beton menuju tempat yang sudah dipastikan [1].

Untuk pelaksanaan operasional *concrete pump* dalam satu tahun telah terlaksana selama ada permintaan (*purchase order*), pada umumnya operasional *concrete pump* dilaksanakan tiap bulannya di tahun 2024. laporan hasil pelaksanaan operasional *concrete pump* PT. Varia Usaha Beton tahun 2024 beroperasi 2.500 jam dan mengalami kerusakan selama 976 jam sebagai *availability* sebanyak 088.41 atau 88.41%.

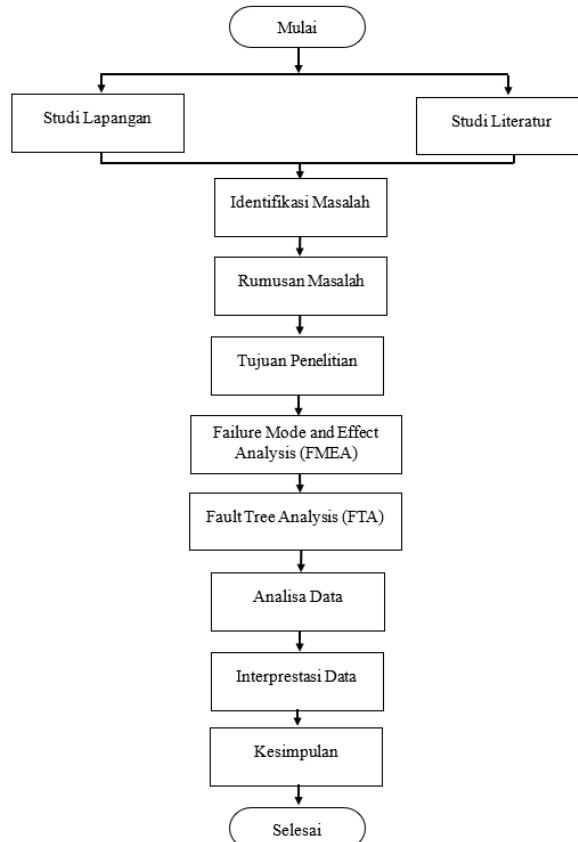
Masalah yang terjadi ketika dilakukan operasional menggunakan *concrete pump* yaitu terdapat beberapa faktor yang menyebabkan kegagalan seperti *checklist* alat, monitoring alat sebelum operasional berlangsung, dan memeriksa jalan menuju lokasi proyek[2]. Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) merupakan metode analisis kegagalan bersifat kualitatif yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan pada suatu fasilitas, peralatan, atau sistem, serta memperkirakan dampak yang mungkin ditimbulkannya. Metode FMEA secara luas digunakan untuk mengevaluasi potensi bahaya atau kegagalan yang mungkin terjadi pada setiap bagian dari mesin.

Bahaya yang terdeteksi kemudian diklasifikasikan berdasarkan tingkat keparahan dan kemungkinan dampaknya terhadap komponen mesin tersebut [3].

Sedangkan untuk metode FTA (*Fault Tree Analysis*) dapat digunakan sebagai proses identifikasi suatu bahaya. Untuk mencegah sebuah peristiwa yang tidak diinginkan yang terjadi pada satu titik kegagalan, *fault tree analysis* (FTA) adalah cara untuk menentukan akar penyebab masalah [4]. *Fault Tree Analysis* (FTA) menggunakan Analisa pohon kesalahan untuk mengidentifikasi hubungan antar faktor penyebab dan dapat menunjukkan dalam bentuk pohon kesalahan atau juga dikenal sebagai analisis pohon kesalahan [5]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan menganalisis kegagalan yang terjadi pada mesin concrete pump dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) guna menentukan prioritas kerusakan, serta menerapkan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk menelusuri akar penyebab dari komponen dengan nilai RPN tertinggi. Melalui analisis ini diharapkan dapat dirumuskan rekomendasi perbaikan yang tepat sehingga dapat meminimalkan *downtime*, meningkatkan reliabilitas mesin, serta mendukung kelancaran proses operasional.

II. METODE

Penelitian ini dilakukan selama enam bulan, mulai dari Agustus 2024 hingga Januari 2025, di PT Varia Usaha Beton dengan menggunakan metode observasi, wawancara, dan pengumpulan data kerusakan mesin. Observasi dilakukan dengan mengamati langsung proses operasional concrete pump, mencatat jam kerja dan downtime, serta mengidentifikasi hambatan yang memengaruhi kinerja alat di lapangan. Wawancara dilakukan dengan operator dan teknisi yang terlibat langsung dalam pengoperasian dan perawatan concrete pump, mencakup informasi terkait frekuensi kerusakan, kondisi komponen, serta prosedur pemeliharaan. Data hasil wawancara digunakan untuk memperkuat temuan observasi dan menjadi dasar dalam analisis kegagalan. Selanjutnya, data kerusakan diolah menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk menentukan nilai Risk Priority Number (RPN) dan prioritas perbaikan, serta metode Fault Tree Analysis (FTA) untuk menelusuri akar penyebab kerusakan secara sistematis. Kedua metode ini dipilih agar dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai faktor teknis maupun non-teknis yang berkontribusi terhadap downtime concrete pump, sehingga dapat dirumuskan rekomendasi perbaikan yang lebih tepat. Urutan proses penelitian dijelaskan secara sistematis melalui diagram alir pada Gambar 1, yang menggambarkan tahapan mulai dari identifikasi awal hingga pemberian solusi perbaikan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

Gambar 1. Diagram alir penelitian menjelaskan tentang tahapan penelitian Analisis kerusakan mesin *concrete pump* menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) dimulai dengan melakukan analisa data perusahaan dan juga observasi secara langsung dilapangan. Dilanjutkan dengan mengidentifikasi masalah serta merumuskan masalah – masalah yang muncul untuk dapat dijadikan sebagai topik pembahasan utama. Dengan masalah yang ada selanjutnya didapatkan tujuan dari penelitian ini. Tahap selanjutnya yaitu pengumpulan data yang dilakukan dengan proses yang pertama yaitu observasi lapangan pada mesin *concrete pump*, pengumpulan data melalui wawancara pada pekerja operasional *concrete pump* yang terkait, dan data kerusakan pada mesin *concrete pump*. Ketika seluruh data telah dikumpulkan, tahap berikutnya yaitu akan dilanjutkan proses pengolahan data dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis*. Metode FMEA dimulai dengan menghitung RPN, setelah nilai RPN didapatkan kemudian dilakukan analisa terhadap nilai RPN tersebut. Pengolahan data selanjutnya menggunakan metode FTA. Nilai metode FTA menggunakan data RPN yang diperoleh dari metode FMEA sebelumnya. Langkah terakhir pada penelitian ini adalah menarik kesimpulan penelitian dan memberikan usulan. Peningkatan reliabilitas operasional *concrete pump* menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) telah selesai.

1. Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis merupakan metode untuk mengidentifikasi kerusakan yang terjadi dan dapat menentukan tingkat resikonya. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan metode yang memanfaatkan guna mendefinisikan, mengenali, serta melenyapkan kegagalan serta sebuah permasalahan, setelah itu dilakukan pembobotan angka serta pengurutan bersumber pada *Risk Priority Number* (RPN). Kriteria yang termasuk dalam metode FMEA meliputi *severity*, *occurrence*, dan *detection* kemudian dapat dilanjutkan mengitung *Risk Priority Number* (RPN) [7]. Dalam teknik FMEA terdapat manfaat untuk dapat mengkarakteristik sebuah resiko secara menyeluruh dan komprehensif, meningkatkan pekerjaan di masa mendatang, dan mengidentifikasi risiko permasalahan [8].

Tabel 1. Tabel Kategori Tingkat Keparahan (*Severity*)

Tingkat Bahaya	Kriteria	Tingkat
Sangat Berbahaya Sekali	Kerusakan komponen menyebabkan kecelakaan secara tiba-tiba dan membahayakan keselamatan kerja	10
Sangat Berbahaya	Kerusakan komponen menyebabkan kecelakaan kerja dan mesin tidak beroperasi namun ada peringatan/pendeteksian dini	9
Sangat Tinggi	Kerusakan komponen mengakibatkan mesin mati dan kehilangan fungsi utamanya	8
Tinggi	Kerusakan komponen mengakibatkan sistem mati namun mesin masih beroperas	7
Moderat	Kerusakan komponen mengakibatkan kinerja sistem menurun drastis namun mesin masih dapat beroperas	6
Rendah	Kerusakan komponen mengakibatkan kinerja sistem menurun secara bertahap dengan mesin masih dapat beroperas	5
Sangat Rendah	Kerusakan komponen mengakibatkan pengaruh kecil pada kinerja sistem dengan mesin masih beroperasi sempurna	4
Kecil	Komponen mengalami kinerja menurun namun sistem bahan bakar dan mesin masih berjalan sempurna	3
Sangat Kecil	Komponen dipandang buruk namun kinerja komponen masih baik dan sistem serta mesin masih berjalan sempurna	2
Tidak Ada	Tidak ada pengaruh	1

Sumber [9]

Severity (S) atau tingkat keparahan bahaya merupakan parameter yang digunakan untuk menilai seberapa besar dampak kegagalan saat sistem beroperasi, baik terhadap mesin maupun lingkungan sekitarnya. Penilaian parameter ini ditampilkan pada Tabel 1 dengan mengacu pada kriteria dan tingkatan yang telah ditetapkan.

Tabel 2. Kategori Tingkat Kemungkinan (*occurrence*)

Tingkat Bahaya	Kriteria	Tingkat
Sangat sering terjadi hingga kerusakan tidak bisa dihindari	Hampir setiap saat terjadi dalam waktu kurang dari 1-2 kali operasi	10
Sangat sering terjadi	Sangat tinggi terjadi dalam waktu kurang dari 3-4 kali operasi	9
Sering terjadi (1)	Tinggi terjadi dalam waktu kurang dari 5-8 kali operasi	8
Sering terjadi (2)	Cukup tinggi dalam waktu kurang dari 9-20 kali operasi	7
Jarang terjadi (1)	Menengah terjadi dalam waktu kurang dari 21-80 kali operasi	6
Jarang terjadi (2)	Rendah terjadi dalam waktu kurang dari 81-400 kali operasi	5
Jarang terjadi (3)	Jarang terjadi dalam waktu kurang dari 401-2000 kali operasi	4
Sangat jarang terjadi (1)	Sangat jarang dalam waktu kurang dari 2001-15000 kali operasi	3
Sangat jarang terjadi (2)	Hampir tidak pernah dalam waktu lebih dari 15001 kali operasi	2
Tidak Ada	Tidak pernah terjadi	1

Sumber [9]

Occurrence (O) atau tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan merupakan parameter yang digunakan untuk menilai seberapa sering suatu komponen mengalami kegagalan. Penilaian parameter ini ditampilkan pada Tabel 2 dengan memperhatikan kriteria dan tingkat yang telah ditentukan.

Tabel 3. Kategori Tingkat Kemungkinan Kegagalan Terdeteksi (*Detection*)

Tingkat Bahaya	Kriteria	Tingkat
Mustahil untuk terdeteksi	Tidak akan terkontrol dan /atau terdeteksi adanya penyebab potensi kegagalan selanjutnya	10
Sangat sulit untuk terdeteksi	Sangat sulit untuk mengontrol perubahan untuk mendeteksi penyebab potensi dan jenis kegagalan selanjutnya	9
Sulit untuk terdeteksi	Sulit untuk mengontrol perubahan untuk mendeteksi penyebab potensi dan jenis kegagalan selanjutnya	8
Untuk terdeteksi sangat rendah	Sangat rendah untuk mendeteksi penyebab potensi dan jenis kegagalan selanjutnya	7
Untuk terdeteksi rendah	Rendah untuk mendeteksi penyebab potensi dan jenis kegagalan selanjutnya	6
Untuk terdeteksi sedang	Hampir tidak mudah untuk mendeteksi penyebab potensi dan jenis kegagalan selanjutnya	5
Untuk terdeteksi menengah ke atas	Hampir mudah untuk mendeteksi penyebab potensi dan jenis kegagalan selanjutnya	4
Mudah untuk mendeteksi	Mudah terkontrol untuk mendeteksi penyebab potensi dan jenis kegagalan selanjutnya	3
Sangat mudah untuk terdeteksi	Sangat mudah terkontrol untuk mendeteksi penyebab potensi dan jenis kegagalan selanjutnya	2
Deteksi dapat dilakukan dengan mudah/kasat mata	Dapat diduga akan seringnya terjadi mengakibatkan deteksi pada potensi penyebab dan kejadian	1

Sumber [9]

Detection (D) atau tingkat kesulitan deteksi merupakan parameter yang digunakan untuk menilai sejauh mana kegagalan dapat dikenali ketika terjadi. Penilaian parameter ini ditunjukkan pada Tabel 3 dengan mengacu pada kriteria dan tingkat yang telah ditentukan.

a. Identifikasi Tingkat Resiko Kegagalan

$RPN = S \times O \times D$(1) Sumber [10]

Keterangan:

RPN : Risk Priority Number

S : Severity

O : Occurrence

D : Detection

2. Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)

Dalam melakukan analisis sebuah permasalahan dibutuhkan suatu metode yang dapat mengidentifikasi resiko yang dapat menyebabkan kegagalan dalam sistem, maka dengan menerapkan metode FTA (*Fault Tree Analysis*) yang bertujuan melakukan pendekatan yang bersifat *top down*, yang diawali dengan mengasumsikan kegagalan puncak kejadian (*top event*) kemudian merincikan sebab – sebab suatu *top event* sampai pada suatu kegagalan dasar (*root cause*) [11]. FTA (*Fault Tree Analysis*) adalah sebuah diagram yang menunjukkan semua cara yang mungkin membuat sesuatu di dalam sistem tidak berfungsi. Dengan menggunakan FTA, kita dapat mengidentifikasi bagian-bagian mana yang bisa rusak dan mencegah masalah besar sebelum terjadi [12]. Metode FTA (*Fault Tree Analysis*) memiliki tujuan untuk dapat mengidentifikasi faktor penyebab *six big loses* pada proses produksi, memperbaiki dan meningkatkan kualitas hasil produksi melalui tahapan pengendalian [13]. *Fault Tree Analysis* adalah suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi risiko yang berkontribusi terhadap terjadinya kegagalan atau kecelakaan. Metode ini dilakukan dengan pendekatan dari atas ke bawah, dimulai dengan asumsi terjadinya kegagalan pada peristiwa puncak, kemudian merinci penyebab-penyebab dari peristiwa puncak tersebut hingga mencapai penyebab dasar (*root cause*) [14]. Sarana yang dapat digunakan dalam bagan FTA adalah sebagai berikut [15].

1. Mengidentifikasi tujuan
 2. Menentukan top event
 3. Menentukan ruang lingkup
 4. Menentukan resolusi
 5. Menentukan aturan dasar
 6. Membuat FTA
 7. Menyimpulkan FTA

Fault Tree Analysis digunakan untuk memperhatikan reliabilitas sebentuk produk serta membuktikan jalinan kualitas dari sebuah kasus dengan kasus yang berbeda. Simbol yang digunakan pada *Fault Tree Analysis* bisa diklasifikasi sebagai berikut [16] :

Tabel 4. Simbol gerbang yang bisa digunakan sebagai penghubung peristiwa pada suatu sistem.

NO	Gate Symbol	Nama Dan Keterangan
1		<i>And gate, output event berlaku ketika seluruh input event berjalan pada waktu yang sama.</i>
2		<i>Or gate, output event berlaku ketika setidaknya sebuah input event sedang berjalan.</i>
3		<i>K out of n gate, output event berlaku ketika paling minim k output n input event sedang kejadian.</i>
4		<i>Exclusive OR gate, output event berlaku ketika sebuah input event, namun tidak berlangsung.</i>

5		Inhibit gate, input menciptakan output ketika conditional event telah ada.
6		Priority and gate, output event kejadian dari kanan ataupun kiri.
7		Not gate, output event kejadian ketika input event tidak kejadian.

Diagram *fishbone* digunakan sebagai analisis akar penyebab dari setiap kendala yang ditemukan. Diagram ini mengelompokkan penyebab masalah ke dalam beberapa kategori seperti manusia, metode, mesin dan lingkungan yang mempengaruhi keberhasilan atau kegagalan [17].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Pada pengumpulan data diketahui bahwa beberapa komponen yang mengalami kerusakan dan dengan lamanya waktu yang mengakibatkan terjadinya *break down* dapat diketahui table dibawah :

Table 5. Data Kerusakan Mesin

Komponen	Waktu (Jam)
Wear Plate	16
Hydraulic Pump	312
S- Slave	216
Cutting Ring	48
Piston ram	168

Berdasarkan Tabel 5. Berdasarkan data kerusakan mesin concrete pump selama satu periode operasional selama enam bulan, diketahui bahwa beberapa komponen mengalami kerusakan berulang yang menyebabkan terjadinya breakdown. Mesin *concrete pump* beroperasi setiap hari dengan durasi kerja antara 152 jam tergantung pada kebutuhan proyek. Beberapa kerusakan yang terjadi pada *concrete pump* melibatkan komponen-komponen utama yang memiliki peran vital dalam proses pemompaan beton. Komponen *Wear Plate* mengalami kerusakan dengan total waktu henti (*downtime*) selama 16 jam atau sekitar 0,67 hari. *Hydraulic Pump* mencatat *downtime* tertinggi, yaitu 312 jam atau setara 13,00 hari. Sementara itu, *S-Slave* mengalami kerusakan dengan total *downtime* 216 jam atau 9,00 hari. Adapun *Cutting Ring* mengalami waktu henti selama 48 jam atau 2,00 hari, dan *Piston Ram* mencatat *downtime* 168 jam atau 7,00 hari. Gangguan-gangguan ini secara langsung memengaruhi kelancaran operasional *concrete pump*, mengakibatkan penundaan proses pengecoran di lapangan, menurunkan produktivitas kerja, serta berpotensi menimbulkan kerugian material dan waktu karena sasaran proyek tidak dapat tercapai sesuai rencana.

B. Pengolahan Data

1 FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

Dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), dapat diidentifikasi jenis kerusakan, dampak yang ditimbulkan dari kerusakan tersebut, serta penyebab terjadinya kegagalan pada mesin *concrete pump*. Selanjutnya, akan dilakukan penilaian terhadap 6 tingkat keparahan (*severity*), kemungkinan terjadinya kegagalan (*occurrence*), dan kemampuan mendeteksi kegagalan tersebut (*detection*), untuk kemudian dihitung nilai *Risk Priority Number* (RPN)

Nilai pada *severity*, *occurrence*, dan *detection* ditentukan berdasarkan mengumpulkan pendapat dari para ahli atau individu yang berpengalaman di bidang *concrete pump*. Selanjutnya, nilai-nilai tersebut dikombinasikan dan dirata-rata untuk menghitung *Risk Priority Number* (RPN) yaitu diketahui pada tabel 3.

a. Kurniawan

Tabel 6. Failure Mode and Effect Analysis

Komponen	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	SEVERITY	OCCURANCE	DETECTION	RPN
<i>Hydraulic Pump</i>	Bocor	Seal Aus	10	6	6	360
	Tekanan Turun	Tekanan Tinggi	9	4	5	180
		Oli Kotor	8	5	5	200
<i>S - Slave</i>	Macet	Beton Mengeras	9	5	5	225
	Keausan Poros	Pelumasan Kurang	7	4	5	140
<i>Piston Ram</i>	Seal Bocor	Seal Aus Akibat Tekanan Tinggi	6	4	6	144
		Keausan Batang Piston	Gesekan Berulang	8	3	120
	Retak	Gesekan Dengan Wear Plate	7	3	5	105
<i>Cutting Ring</i>	Keausan Permukaan	Tekanan Tinggi	6	3	5	90
	Aus	Gesekan Tinggi Antara Beton	6	3	5	90
<i>Wear Plate</i>	Retak Material	Tekanan Pompa Tinggi	5	4	4	80

Dalam Tabel 6. yang memuat *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), didapatkan nilai *severity*, *occurrence*, *detection*, serta nilai *Risk Priority Number* (RPN) untuk masing-masing komponen. Rumus yang diterapkan dalam metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dapat dijelaskan sebagai berikut = $RPN = S \times O \times D$

Penilaian tingkat *severity*, *occurrence*, serta *detection* pada tabel dilakukan dengan mempertimbangkan tingkat keparahan dampak kerusakan, frekuensi kemungkinan terjadinya, serta kemudahan dalam mendeteksi kerusakan pada masing-masing komponen *concrete pump*. Setelah ketiga parameter tersebut ditetapkan, tahap selanjutnya adalah menghitung *Risk Priority Number* (RPN) setiap komponen dengan mengalikan nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *Hydraulic Pump* menempati posisi dengan nilai RPN tertinggi, yakni 360, yang terutama dipicu oleh kebocoran akibat seal aus. Faktor penyebab lain pada komponen ini antara lain oli kotor dengan nilai RPN 200 serta tekanan hidrolik tinggi sebesar 180. Pada urutan berikutnya terdapat *S-Slave*, dengan nilai RPN tertinggi 225 akibat kemacetan karena beton yang mengeras, disusul pelumasan kurang sebesar 144 dan keausan poros 140. Sementara itu, *Piston Ram* memiliki nilai RPN 120 pada kasus *seal bocor* dan 105 pada kerusakan batang piston akibat gesekan berulang. Untuk *Cutting Ring*, nilai RPN tercatat 90 baik pada kondisi retak maupun keausan permukaan, sedangkan *Wear Plate* memperoleh RPN 80 pada kasus aus dan 60 pada kerusakan retak material. Dari temuan ini dapat ditegaskan bahwa prioritas utama perbaikan difokuskan pada *Hydraulic Pump*, diikuti oleh *S-Slave* dan *Piston Ram*, sementara *Cutting Ring* serta *Wear Plate* berada pada kategori risiko yang lebih rendah. Selanjutnya, komponen tersebut akan dianalisis lebih lanjut menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA).

2 FTA (Fault Tree Analysis)

Metode FTA (Fault Tree Analysis) yang bertujuan melakukan pendekatan yang bersifat top down, yang diawali dengan mengasumsikan kegagalan puncak kejadian (*top event*) kemudian merincikan sebab – sebab suatu top event sampai pada suatu kegagalan dasar (*root cause*).

A. Identifikasi Tujuan

Identifikasi tujuan dalam *Fault Tree Analysis* (FTA) dilakukan untuk menetapkan sasaran analisis, yaitu menelusuri peristiwa puncak (*top event*) hingga ke penyebab paling dasar (*basic event*), sehingga akar permasalahan dapat diketahui secara jelas.

B. Menentukan Top Event

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), komponen *Hydraulic Pump* ditetapkan sebagai *top event* pada *Fault Tree Analysis* (FTA) karena memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi, yaitu sebesar 360. Pemilihan *Hydraulic Pump* sebagai fokus analisis dilakukan karena komponen ini memberikan kontribusi paling besar terhadap terjadinya *downtime* mesin serta berpengaruh langsung terhadap penurunan keandalan sistem *concrete pump*. Dalam kerangka FTA, *top event* didefinisikan sebagai kondisi kegagalan *Hydraulic Pump* yang kemudian dijabarkan menjadi tiga bentuk permasalahan utama, yaitu kebocoran (disebabkan oleh seal aus atau sambungan yang longgar), tekanan hidrolik berlebih (disebabkan oleh beban operasi berlebihan atau katup relief yang tidak berfungsi), serta kontaminasi oli hidrolik (disebabkan oleh filter yang jenuh atau masuknya partikel asing). Ketiga skenario kerusakan tersebut selanjutnya ditelusuri hingga ke tingkat *basic event* untuk mengidentifikasi akar penyebab dan merumuskan prioritas tindakan perbaikan yang tepat.

C. Penentuan Ruang Lingkup

Ruang lingkup analisis FTA dalam penelitian ini dibatasi pada komponen *Hydraulic Pump* sebagai *top event*, karena memiliki nilai RPN tertinggi berdasarkan hasil FMEA. Analisis difokuskan pada tiga permasalahan utama, yaitu kebocoran, tekanan hidrolik berlebih, dan kontaminasi oli hidrolik, sementara faktor eksternal di luar sistem hidrolik tidak dibahas. Pembatasan ini dimaksudkan agar analisis lebih terarah dan mampu mengidentifikasi akar penyebab kerusakan hingga tingkat *basic event* untuk menghasilkan rekomendasi perbaikan yang tepat.

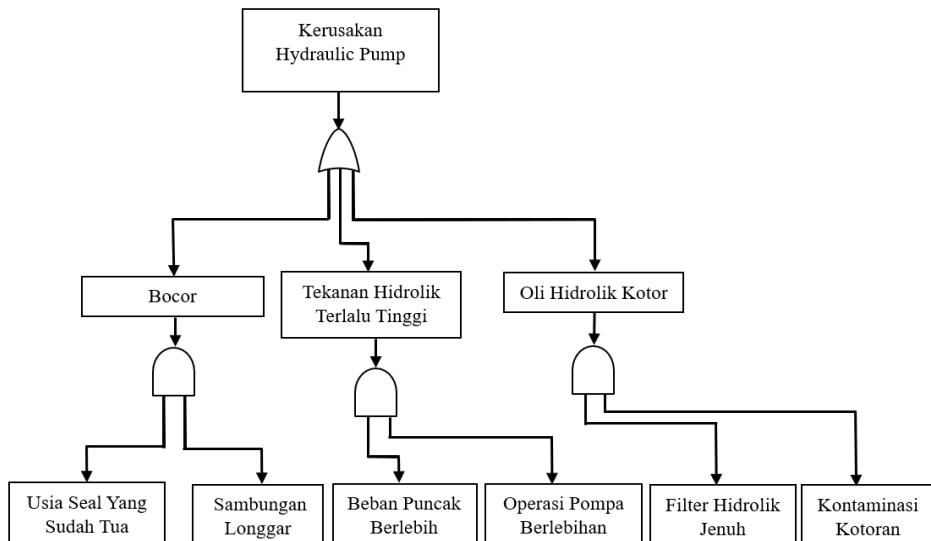
D. Penentuan Resolusi

Resolusi FTA ditetapkan hingga tingkat *basic event* agar akar penyebab kerusakan *Hydraulic Pump* dapat diketahui. *Top event* diuraikan menjadi tiga masalah utama, yaitu kebocoran, tekanan hidrolik berlebih, dan kontaminasi oli, yang kemudian diturunkan ke penyebab dasar seperti seal aus, sambungan longgar, katup relief tidak berfungsi, serta filter oli jenuh.

E. Penentuan Aturan Dasar

Aturan dasar dalam FTA ditetapkan dengan menggunakan gerbang logika untuk menggambarkan hubungan antar penyebab kerusakan *Hydraulic Pump*. *OR gate* digunakan ketika kerusakan dapat terjadi akibat salah satu faktor, misalnya tekanan berlebih disebabkan oleh beban operasi tinggi atau katup relief yang tidak berfungsi. *AND gate* digunakan ketika kerusakan baru terjadi jika dua kondisi muncul bersamaan, seperti kebocoran yang timbul akibat seal aus dan sambungan longgar. Penetapan aturan ini penting untuk memodelkan hubungan sebab-akibat secara logis pada diagram FTA.

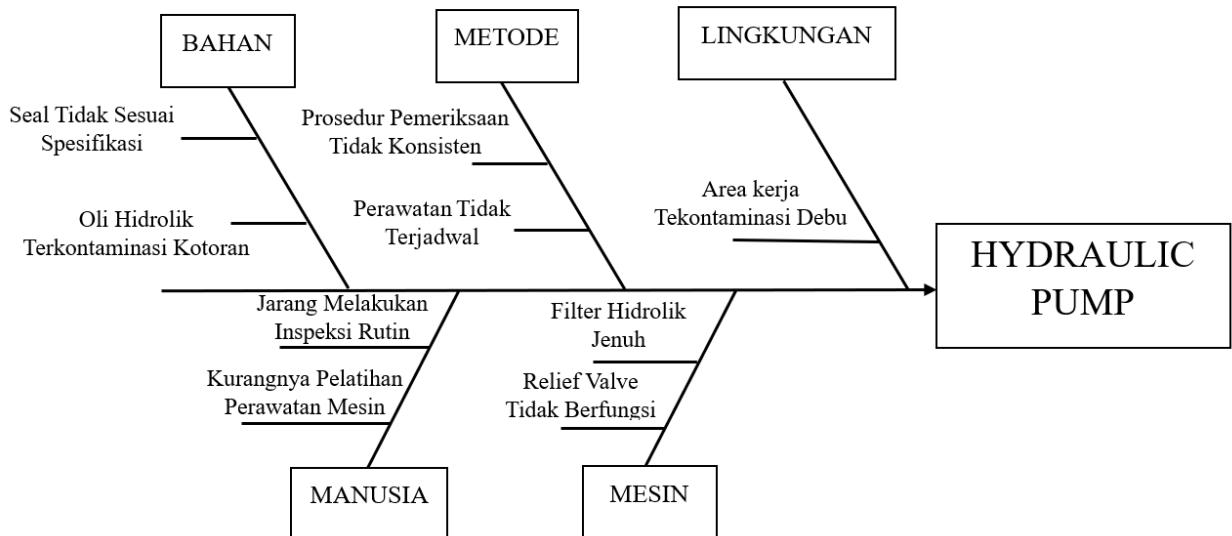
F. Fault Tree Analysis (FTA)



Gambar 2. Hasil kerusakan pada mesin *concrete pump*

G. Kesimpulan Hasil Dari Fault Tree Analysis (FTA)

Hasil *Fault Tree Analysis* (FTA) menunjukkan bahwa *Hydraulic Pump* merupakan *top event* utama yang paling berpengaruh terhadap *downtime* mesin *concrete pump*. Kerusakan tersebut dipicu oleh tiga faktor utama, yaitu kebocoran (seal aus dan sambungan longgar), tekanan hidrolik berlebih (bebannya tinggi atau katup relief gagal), serta kontaminasi oli (filter jenuh dan partikel asing). Faktor teknis maupun kelalaian dalam perawatan terbukti sama-sama memicu kerusakan. Oleh karena itu, tindakan perbaikan difokuskan pada penggantian seal dan filter secara terjadwal, pemeriksaan katup relief, serta peningkatan kedisiplinan operator dalam pelaksanaan perawatan preventif.



Gambar 3. Diagram Fishbone kerusakan *Hydraulic Pump*

Berdasarkan gambar 3. Kerusakan pada mesin *concrete pump* terutama dipengaruhi oleh tiga komponen utama, yaitu *Hydraulic Pump*, *S-Slave*, dan *Piston Ram*. Pada *Hydraulic Pump*, kerusakan terjadi karena kebocoran, tekanan hidrolik yang terlalu tinggi, serta kondisi oli hidrolik yang kotor. Kebocoran biasanya disebabkan oleh usia seal yang sudah tua dan sambungan yang longgar, sedangkan tekanan hidrolik berlebih timbul akibat beban puncak yang terlalu tinggi serta operasi pompa yang berlebihan. Kondisi oli hidrolik yang kotor sendiri diakibatkan oleh filter hidrolik yang jenuh dan adanya kontaminasi kotoran. Sementara itu, kerusakan pada *S-Slave* berupa kemacetan total, yang umumnya disebabkan beton mengeras akibat keterlambatan pembersihan serta kurangnya ketelitian operator saat melakukan pengecekan. Adapun pada *Piston Ram*, kerusakan utamanya berupa kebocoran seal yang dipicu oleh keausan karena tekanan tinggi dan usia komponen, ditambah dengan jarangnya operator melakukan pemeriksaan rutin.

3 Analisa dan Hasil Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis FMEA, komponen dengan nilai RPN tertinggi adalah *Hydraulic Pump* dengan skor 360, terutama disebabkan oleh kebocoran akibat seal aus. Faktor lain pada komponen ini adalah kondisi oli kotor dengan nilai RPN 200 dan tekanan hidrolik tinggi sebesar 180. Posisi berikutnya ditempati oleh *S-Slave* dengan RPN tertinggi 225 akibat kemacetan karena beton mengeras, disusul masalah pelumasan kurang dengan nilai 144 serta keausan poros sebesar 140. Selanjutnya, *Piston Ram* memiliki RPN 120 pada kerusakan seal bocor dan 105 akibat keausan batang piston karena gesekan berulang. Untuk *Cutting Ring*, nilai RPN tercatat 90 baik pada kerusakan retak maupun keausan permukaan, sedangkan *Wear Plate* mencatat nilai 80 pada kondisi aus dan 60 pada kerusakan retak material. Dari hasil ini dapat ditegaskan bahwa prioritas utama perbaikan difokuskan pada *Hydraulic Pump*, diikuti oleh *S-Slave* dan *Piston Ram*, sementara *Cutting Ring* serta *Wear Plate* berada pada kategori risiko lebih rendah.

Analisis FTA menunjukkan bahwa tiga komponen dominan penyebab kerusakan adalah *Hydraulic Pump*, *S-Slave*, dan *Piston Ram*. Kerusakan tersebut muncul akibat kombinasi faktor teknis, seperti tekanan berlebih, seal aus, kontaminasi oli, beton yang mengeras, serta kelalaian operator dalam melakukan pengecekan, pembersihan, dan perawatan rutin. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan berupa penerapan SOP pengecekan dan perawatan preventif secara disiplin serta pelatihan operator untuk meningkatkan keandalan *concrete pump*.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada mesin *concrete pump* menggunakan metode FMEA dan FTA, diperoleh nilai RPN tertinggi pada masing-masing komponen, yaitu *Hydraulic Pump* dengan RPN 360 akibat kebocoran seal aus, *S-Slave* dengan RPN 225 akibat kemacetan beton yang mengeras, *Piston Ram* dengan RPN 144 karena kebocoran seal, *Cutting Ring* dengan RPN 105 akibat retak, serta *Wear Plate* dengan RPN 90 akibat keausan permukaan. Dengan demikian, komponen yang menjadi prioritas utama dalam perbaikan adalah *Hydraulic Pump*, diikuti oleh *S-Slave* dan *Piston Ram*, sedangkan *Cutting Ring* dan *Wear Plate* termasuk dalam kategori risiko yang lebih rendah.

Hasil analisis FTA menunjukkan bahwa akar penyebab kerusakan umumnya berasal dari faktor teknis (seal aus, tekanan berlebih, oli terkontaminasi, beton mengeras) serta faktor manusia (operator kurang teliti, keterlambatan pembersihan, dan jarang melakukan pengecekan rutin). Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengidentifikasi kegagalan utama dan menelusuri akar penyebab kerusakan mesin *concrete pump* telah tercapai. Rekomendasi perbaikan yang dapat diterapkan adalah penerapan perawatan preventif secara terjadwal, penyusunan dan pelaksanaan SOP pengecekan mesin sebelum dan sesudah operasi, serta pelatihan operator agar mampu meningkatkan ketelitian inspeksi dan pemeliharaan. Upaya ini diharapkan dapat meningkatkan reliabilitas dan keberlanjutan operasional *concrete pump*, sehingga kinerja mesin lebih optimal dan *downtime* dapat ditekan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang tulus juga saya sampaikan kepada PT Varia Usaha Beton dan atas dukungan, kesempatan, serta bantuan yang telah diberikan selama proses penelitian ini berlangsung. Dengan selesainya artikel ini, saya dengan penuh rasa hormat mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian artikel ini. Semoga artikel ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

REFRENSI

- [1] K. L, S. A. I dan S. D, "Jurnal Ilmiah Teknik Sipil," *ANALISA PRRODUKTIVITAS ALAT BERAT PADA PEKERJAAN BETON READY MIX STUDI KASUS BANGUNAN PELIMPAH BENDUNG LAU SIMEME*, vol. 12, pp. 44-57, 2023.
- [2] G. P. Zhadam, Y. Totok, W. Meriana, S. Titin dan R. Rahma, "Jurnal Ilmiah Sain dan Teknologi," *ANALISIS KETERLAMBATAN PADA PROYEK REHABILITASI BENDUNG BARENG JOMBANG DENGAN METODE FAULT TREE ANALYSIS (FTA)*, vol. 3, pp. 345-356, 2024.
- [3] E. S. Ardiansyah dan S. Tedjo, "Departement of Industrial Engineering," *ANALISA PERAWATAN MESIN CNC MILLING MENGGUNAKAN METODE FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA)*, 2025.
- [4] S. A. Tyas dan Y. Ferida, "ETNIK : Jurnal Ekonomi – Teknik," *ANALISIS KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3) DENGAN METODE FAULT TREE ANALYSIS (FTA) Pada PT. Surya Karya Setiabudi*, vol. 2, p. 650, 2023.
- [5] D. H. Rizky dan Nuriyanto, "Jurnal Cakrawala Ilmiah," *ANALISIS PENYEBAB REJECTPRODUK PAVING BLOCKDENGAN PENDEKATAN METODEFMEA DAN FTA*, vol. 2, pp. 4635 - 4648, 2023.
- [6] A. I. D. Febrianov, F. Mulyana dan D. M. Kamal, "Seminar Nasional Teknik Mesin," *ANALISIS KERUSAKAN INJECTOR PADA MESIN TRUCK CONCRETE PUMP 6 SILINDER DAN DAMPAK TERHADAP PERFORMA MESIN*, pp. 440-445, 2023.
- [7] M. Nur, S. dan P. A. Yelsa, "Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan," *INTEGRASI METODE FMEA DAN FTA DALAM STRATEGI MITIGASI RISIKO KECELAKAAN KERJA*, vol. 3, pp. 393-404, 2024.
- [8] Y. ferida dan F. Anang, "Jurnal Cakrawala Ilmiah," *ANALISISRESIKO KECELAKAAN KERJA PADA STASIUN PEMOTONGAN BATU ALAM DENGAN MENGGUNAKAN METODE FAILURE MODE AND EFFECTANALYSIS (FMEA)DI PBA SURYA ALAM*, vol. 2, pp. 4687-4696, 2023.
- [9] I. Y. Rizqi, Zamri, P. S. Jurniawan, E. P. Yuniar, S. A. M dan L. U. Mega, "JURNAL REKAYASA SISTEM INDUSTRI," *PENDEKATAN FMEA DALAM ANALISA RISIKO PERAWATAN SISTEM BAHAN BAKAR MESIN INDUK: STUDI KASUS DI KM.SIDOMULYO*, vol. 9, pp. 189-199, 2020
- [10] H. A. Muhammad dan N. Mochammad, "JURNAL HASIL PENELITIAN DAN KARYA ILMIAH DALAM BIDANG TEKNIK INDUSTRI," *ANALISIS KECACATAN PRODUK PADA MESIN PEMOTONGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE FMEA DI UD. ABDI RAKYAT*, vol. 9, pp. 577-587, 2023.

- [11] D. A. Utami, M. Jihan dan R. S. Aldan, "Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil," *IDENTIFIKASI PENYEBAB KECELAKAAN KERJA KONSTRUKSI MENGGUNAKAN ACCIDENT ROOT CAUSE TRACING MODEL(ARCTM) DAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA)*, vol. 11, pp. 17-28, 2022.
- [12] S. Achmad dan T. P. jeki, "Jurnal InTent," *ANALISA RISIKO KEGAGALAN KOMPONEN PADA EXCAVATOR KOMATSU 150LCDENGAN METODE FTA DAN FMEA DI PT. XY*, vol. 4, pp. 1-10, 2021.
- [13] K. Erni, G. Pugy dan M. F. K. Syams, "Jurnal InTent," *SULAN PERBAIKAN KUALITAS DENGAN MENGGUNAKAN METODE FTADAN FMEA* , vol. 4, pp. 41-54, 2021.
- [14] M. D. Nustin, E. P. Nadienda , K. Bobby, H. Y. Yayan, L. T. Dyah, L. Lovely dan S. M. Ade Iman, "Journal of Systems Engineering and Management," *IDENTIFIKASI KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3) DENGAN METODE HIRARC DAN FTA DI PT PLN INDONESIA POWER SURALAYA*, vol. 2, pp. 184-194, 2023.
- [15] R. W. Fuji dan C. Danil, "Jurnal of Industrial Engineering and Management Systems," *ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK BUMBU TABUR DENGAN MENGGUNAKAN METODE FAULT TREE ANALYSIS DAN TAGUCHI*, vol. 15, pp. 90-103, 2022.
- [16] V. P. Angga Novian, P. Rony dan K. M. Moch, "Industrial Engineering Journal," *USULAN PENINGKATAN EFEKTIVITAS MESINMENGGUNAKAN METODE OVERALLEQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) DAN FAULTTREE ANALYSIS (FTA)PADA MESIN MOULDINGPT. TFM*, vol. 2, pp. 1-11, 20022.
- [17] M. Basir, M. D. P.S, I. Andrianti dan L. Darmiyati, "JURNAL FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN," *EVALUASI PENERAPAN PROGRAM "TEGUR JIKA SAYA TIDAK AMAN (TEMAN)" PADA PEKERJA DI PERUSAHAAN MIGAS X MENGGUNAKAN METODE USG DAN FISHBONE DIAGRAM*, vol. 3, pp. 1181-1186, 2023.

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.