

ANALISIS PERAWATAN MESIN PADA KOMPONEN *MOBILE CRANE KOBELCO RK 450* DENGAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II (RCM II)* DAN *AGE REPLACEMENT*

(STUDI KASUS: PT CILEGON KARYA NUSA)

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri**



Nama : Adhan Putro Aditia

No. Mahasiswa : 20522350

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2024

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan demikian saya menyatakan bahwa Tugas Akhir ini adalah penelitian saya sendiri kecuali kutipan yang sudah saya pahami sumbernya. Andai di kemudian hari terbukti ada kekeliruan dalam pernyataan saya dan mengabaikan pedoman hukum yang tercatat dalam penelitian dan dilindungi kebebasan berinovasi, maka saya rela ijazah saya dibekukan dan diperiksa oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 1 Juni 2024



Handwritten signature of Adhan Putro Aditia.

Adhan Putro Aditia

NIM 20522350

SURAT KETERANGAN PELAKSANAAN TUGAS AKHIR



SURAT KETERANGAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **Mulyadi.**
Jabatan : **Presiden Direktur PT. Cilegon Karya Nusa.**

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama Lengkap : **Adhan Putro Aditia.**
NIM : **20522350.**
Program Studi : **S1 Teknik Industri.**
Fakultas : **Fakultas Teknologi Industri.**
Perguruan Tinggi : **Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.**
Judul Penelitian : **Analisis Perawatan Mesin Pada Komponen Mobile Crane Kobelco RK450 dengan Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II) dan Age Replacement.**

Telah selesai melaksanakan kegiatan Penelitian di PT. Cilegon Karya Nusa, terhitung mulai tanggal 4 Maret 2024 sampai dengan tanggal 7 Mei 2024.

Demikian, terima kasih atas perhatiannya.

Cilegon, 7 Mei 2024



LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

ANALISIS PERAWATAN MESIN PADA KOMPONEN *MOBILE CRANE KOBELCO RK450* DENGAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II (RCM II)* DAN *AGE REPLACEMENT*
(STUDI KASUS: PT CILEGON KARYA NUSA)

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana S-1
Jurusan Teknik Industri – Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Disusun oleh :

Nama : Adhan Putro Aditia

No. Mahasiswa : 20522350

Yogyakarta, 23 Juli 2024

Menyetujui,

Dosen Pembimbing

Dian Janari. S.T. M.T.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

ANALISIS PERAWATAN MESIN PADA KOMPONEN *MOBILE CRANE KOBELCO RK450* DENGAN METODE *REALIBILITY CENTERED MAINTENANCE II (RCM II)* DAN *AGE REPLACEMENT*
(STUDI KASUS: PT CILEGON KARYA NUSA)

Disusun Oleh :

Nama : Adhan Putro Aditia
No. Mahasiswa : 20522350

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Tekonologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 23 Juli 2024

Tim Penguji

Dian Janari, S.T., M.T.

Ketua

Annisa Uswatun Khasanah, S.T., M.Sc.

Anggota I

Elanjati Worldailmi, S.T., M.Sc.

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua yang saya sayangi dan cintai beserta keluarga yang selama ini sudah memberikan doa, semangat, perhatian serta kasih sayang yang tak terhingga.

HALAMAN MOTO

” Whoever takes a path to seek knowledge, Allah will make the path to Heaven easy for him”

(HR Muslim)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Alhamdulillahirobil alamin, Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, dengan segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir di PT. Cilegon Karya Nusa. Sholawat dan salam semoga tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, serta pengikutnya hingga akhir zaman. Dalam kesempatan ini penulis banyak mendapatkan saran, dorongan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala hati perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran dalam menjalani kegiatan dan penulisan laporan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga tercinta dari penulis yang selalu membimbing dan mendoakan serta memberikan dukungan baik secara materil dan moral, sehingga dapat dengan lancar menjalani dan menyusun laporan dari Tugas Akhir.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. Selaku Ketua Program Studi Teknik Industri, Program Sarjana, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Dian Janari, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak membantu dan meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan.
6. PT Cilegon Karya Nusa yang telah memberikan izin kepada penulis untuk dapat melaksanakan kegiatan Penelitian.
7. Terimakasih kepada Marsya Muzdalifah selaku kekasih yang selalu mensupport penyusunan Tugas Akhir dari awal sampai akhir.
8. Terimakasih untuk kucing-kucing yang selalu menemani dalam suka dan duka yaitu Jumbo dan Buti.
9. Terimakasih kepada bestie seperguruan yaitu Naufal Ramadhan Siregar dan Imam Taufik.
10. Terimakasih kepada sahabat setiakku yang memberi masukan yaitu Benediktus Mikhael Alagan, Bryan Ronaldo, Fauzan Azima Muhamaram, Hafiza Alhaqi.

Penulis sangat menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga laporan ini dapat dikembangkan lebih lanjut.

Akhir kata, penulis berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini bisa memberikan manfaat dan menambah ilmu pengetahuan bagi semua pihak yang membaca.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 1 Juni 2024



Adhan Putro Aditia
NIM 20522350

ABSTRAK

Pada Industri 4.0 melakukan integrasi peradaban maju informasi ke dalam teknik industri, seperti yang diterapkan oleh PT Cilegon Karya Nusa, sebuah perusahaan produksi dan jasa dengan *workshop modern*. Namun, sistem perawatan mereka yang berbasis *Corrective Maintenance* sering mengalami *downtime*. Menurut data kerusakan yang ada selama periode 4 tahun dari Januari 2020-Desember 2023 terjadi *downtime* selama 17.411 menit dan didukung dengan hasil wawancara diketahui perusahaan mengeluarkan biaya yang besar untuk menindaklanjuti hal tersebut, karena kurangnya penjadwalan pemeliharaan yang tepat, terutama pada mesin *Mobile Crane Kobelco RK450*. Dalam penelitian berikut melakukan pencarian komponen yang tergolong kritis dan sering mengalami kerusakan pada *Mobile Crane Kobelco RK450*, menentukan tindakan terbaik untuk pemeliharaan alat berat agar komponen *mobile crane Kobelco RK450* berfungsi, menentukan hasil perhitungan biaya setelah menerapkan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM II)* dan metode *Age Replacement*. Langkah-langkah utama meliputi *FBD*, *FMEA*, *LTA*, dan *TS Road Map*. Model *ARP* menghitung jadwal penggantian komponen untuk meminimalkan *downtime* dan biaya, dengan dua siklus: pencegahan dan penggantian kerusakan sebelum waktu yang dijadwalkan. Analisis komponen kritis *Mobile Crane Kobelco RK450* menggunakan *FMEA*, *FBD*, dan *LTA* menunjukkan bahwa *Hydraulic System* memiliki *Risk Priority Number (RPN)* tertinggi 135. Interval pemeriksaan komponen *Hydraulic System* setiap 7 hari dan penggantian setiap 56 hari menghemat biaya perawatan preventif Rp. 112.101.750 dalam 4 tahun dibandingkan penggantian tidak terencana. Optimalisasi perawatan menggunakan *RCM II* melibatkan *preventive maintenance* untuk 5 komponen dan *Predictive maintenance* untuk 7 komponen, menghasilkan penghematan biaya sebesar Rp. 112.932.669 dalam 4 tahun, meningkatkan efisiensi operasional.

Kata Kunci: *Reliability Centered Maintenance II (RCM II)*, *Age Replacement*, *Preventive Maintenance*

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ii
SURAT KETERANGAN PELAKSANAAN TUGAS AKHIR.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
HALAMAN MOTO.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
2.2 Kajian Deduktif.....	8
2.2.1 Perawatan (Maintenance).....	8
2.2.2 Tujuan Maintenance.....	9
2.2.3 Klasifikasi Pemeliharaan.....	9
2.2.4 Konsep Downtime.....	10
2.2.5 Reliability Centered Maintenance II (RCM II).....	10
2.2.6 Laju Kerusakan.....	18
2.2.7 Fungsi Distribusi Kerusakan.....	20
2.2.8 Mean Time To Failure (MTTF).....	23
2.2.9 Mean Time To Repair (MTTR).....	23
2.2.10 Model Age Replacement.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Tempat dan Objek Penelitian.....	25
3.2 Metode Pengumpulan Data.....	25
3.2.1 Data Primer.....	25
3.2.2 Data Sekunder.....	26
3.3 Metode dan Pengolahan Data.....	26
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	29
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	31
4.1 Latar Belakang Perusahaan.....	31
4.1.1 Sejarah Perusahaan.....	31
4.1.2 Profil Singkat Perusahaan.....	31
4.1.3 Lokasi.....	31
4.1.4 Visi.....	32

4.1.5 Misi.....	32
4.1.6 Waktu Kerja	32
4.2 Pengumpulan Data	33
4.2.1 Data Waktu Antar Kerusakan Komponen Mesin Mobile Crane Kobelco RK450 ..	33
4.3 Pengolahan Data Komponen Kritis dan Penentuan Tindakan Perawatan.....	36
4.3.1 Functional Block Diagram	36
4.3.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)	38
4.3.3 Logic Tree Analysis (LTA).....	41
4.3.4 Task Selection Road Map (Pemilihan Tindakan).....	44
4.4 Pengolahan Data Penentuan Interval Pemeriksaan dan Penggantian Komponen Kritis	46
4.4.1 Penentuan Komponen Kritis	46
4.4.2 Penentuan Distribusi Antar Waktu Kerusakan (Time to Failure)	47
4.4.3 Penentuan Distribusi Data Antar Waktu Perbaikan (Time To Repair)	53
4.4.4 Uji Goodnes of Fit Pada Distribusi Data Waktu Kerusakan (Time To Failure)	59
4.4.5 Uji Goodness of Fit Pada Distribusi Data Waktu Perbaikan (Time To Repair)	60
4.4.6 Perhitungan Parameter Dari Distribusi Data Waktu Kerusakan (Time To Failure)	61
4.4.7 Perhitungan Paramater Dari Distribusi Data Waktu Perbaikan (Time To Repair) .	62
4.4.8 Penentuan Nilai Tengah Dari Distribusi Data Waktu Kerusakan (Mean Time To Failure)	63
4.4.9 Penentuan Nilai Tengah Dari Distribusi Data Waktu Perbaikan (Mean Time To Repair).....	63
4.4.10 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Dengan Minimasi Downtime	63
4.4.11 Perhitungan Frekuensi Perawatan (Interval Perawatan)	64
4.4.12 Perbandingan Biaya Perawatan Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen	66
BAB V HASIL DAN ANALISIS	69
5.1 Analisis Pengolahan Data Kualitatif (Penentuan Komponen Kritis)	69
5.1.1 Functional Block Diagram	69
5.1.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)	69
5.1.3 Logic Tree Analysis	70
5.1.4 Analisis Task Selection (TS).....	71
5.2 Analisis Pengolahan Data Kuantatif (Penentuan Interval Pemeriksaan dan Penggantian Komponen Kritis).....	71
5.3 Analisis Biaya Perawatan Komponen Mesin	72
BAB VI PENUTUP.....	74
6.1 Kesimpulan.....	74
6.2 Saran.....	75
6.2.1 Saran Untuk Perusahaan	75
6.2.2 Saran Untuk Penelitian Selanjutnya	75
DAFTAR PUSTAKA	76
Lampiran	A-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	7
Tabel 2.2 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	11
Tabel 2.3 <i>Rating Severity</i>	12
Tabel 2.4 <i>Rating Occurrence</i>	14
Tabel 2.5 <i>Rating Detection</i>	14
Tabel 4.1 Jam Kerja Karyawan PT Cilegon Karya Nusa.....	33
Tabel 4.2 Data Total <i>Downtime</i> Komponen Mesin <i>Mobile Crane Kobelco RK450</i> Tahun 2020-2023	33
Tabel 4.3 Penjelasan Data <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	38
Tabel 4.4 Penjelasan <i>Logic Tree Analysis (LTA)</i>	42
Tabel 4.5 Penjelasan Mesin <i>Mobile Crane Kobelco RK450</i>	44
Tabel 4.6 Data Komponen Mesin <i>Mobile Crane Kobelco RK450</i>	46
Tabel 4.7 Penentuan Jarak antar Kerusakan.....	47
Tabel 4.8 Perhitungan Nilai r	49
Tabel 4.9 Perhitungan Distribusi Normal	50
Tabel 4.10 Perhitungan Distribusi Log Normal	51
Tabel 4.11 Perhitungan Distribusi <i>Weibull</i>	52
Tabel 4.12 <i>Index of Fit (IOF)</i>	53
Tabel 4.13 Penentuan Jarak antar Perbaikan.....	53
Tabel 4.14 Perhitungan <i>Eksponensial</i>	55
Tabel 4.15 Perhitungan Distribusi Normal	56
Tabel 4.16 Perhitungan Distribusi Log Normal	57
Tabel 4.17 Perhitungan Distribusi <i>Weibull</i>	58
Tabel 4.18 Hasil dari <i>Index Of Fit (IOF)</i>	59
Tabel 4.19 Uji <i>Goodness of Fit</i> pada Distribusi Data Waktu Kerusakan.....	59
Tabel 4.20 Uji <i>Goodness of Fit</i> pada Distribusi Data Waktu Perbaikan.....	61
Tabel 4.21 Data Perhitungan Interval Waktu Penggantian dengan Minimasi <i>Downtime</i>	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alur Kategori <i>LTA</i>	16
Gambar 2.2 Alur Pemilihan Tindakan (<i>Task Selection</i>).....	18
Gambar 2.3 Laju Kerusakan.....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 4.1 Lokasi PT Cilegon Karya Nusa.....	32
Gambar 4.2 <i>FBD</i> dari <i>Mobile Crane</i>	37
Gambar 4.3 Diagram Pareto Penentuan Komponen Kritis <i>Mobile Crane</i>	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada Industri 4.0 melakukan integrasi peradaban maju informasi ke dalam studi industri. Studi Industri, salah satu cabang ilmu yang melibatkan penerapan pengetahuan dari macam perhitungan dan ilmu pengetahuan alam, yang diperoleh melalui studi, pengalaman, dan praktik, untuk mengoptimalkan penggunaan material dan sumber daya alam demi manfaat manusia. Bidang teknik ini meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti ekonomi, kualitas, dampak lingkungan, dan bagaimana elemen-elemen ini berkontribusi terhadap kesejahteraan manusia.

Pengembangan tersebut dapat dilihat dari segi perkembangan industri yang ada di Indonesia, yang mana perkembangannya semakin melonjak ditandai dengan usaha yang beroperasi. Menurut data yang diambil pada direktori perusahaan industri di website Kementerian Industri Republik Indonesia, terdapat kurang lebih 33.000 unit usaha dari skala mikro hingga besar yang terdiri dari berbagai jenis perusahaan manufaktur maupun jasa (Kemenperin, 2022).

PT Cilegon Karya Nusa merupakan perusahaan produksi dan jasa yang kompeten. Dengan fokus pada profesionalisme, dedikasi, dan keselamatan kerja, perusahaan ini menjalankan operasinya dengan berbagai kompetensi. Workshop yang luasnya mencapai 2 Hektar persegi, dilengkapi dengan peralatan *modern* memungkinkan PT Cilegon Karya Nusa untuk melakukan berbagai aktivasi konstruksi maupun produksi dengan baik. Perusahaan tersebut memberikan pasokan beragam layanan yang mencakup jasa teknik, lalu juga pengadaan, konstruksi, kemudian ada fabrikasi serta pemeliharaan.

Mesin merupakan aset yang berharga, dan agar perusahaan tetap efektif, mesin-mesin ini memerlukan dukungan yang tepat. Praktik pemeliharaan sangat penting untuk memastikan bahwa operasi berjalan lancar dan sesuai rencana. Aktivitas-aktivitas ini merupakan kontributor utama untuk mengoptimalkan produktivitas. PT. Cilegon Karya Nusa saat pekerjaannya memerlukan dukungan mesin, di mana pada bagian pengangkutan baik itu untuk material ataupun barang jadi prosesnya bersifat *continuous process* untuk menggerakkan mesin mobilitas yang bekerja secara terus menerus setiap harinya.

Di sudut pemeliharaan, apa yang terjadi adalah *Preventive Maintenance* yang tidak menguntungkan karena tidak diarahkan, kapasitas sumber daya manusia rendah, dan kebutuhan

kerja yang tidak jelas sehingga para profesional mengurus tanggung jawab mereka tidak direncanakan seperti yang diharapkan (Siregar et al., 2022). Hal ini menyebabkan banyak kegagalan mesin yang tidak terjadwal yang menyebabkan berkurangnya kualitas mesin yang tak tergoyahkan. Kualitas alat berat yang rendah dan tak tergoyahkan mendorong biaya dukungan yang tinggi dan biaya peluang untuk memperbaiki barang. Kualitas mesin yang tak tergoyahkan dapat dipertahankan dan ditingkatkan dengan melakukan dukungan yang sangat terorganisir dan dilaksanakan dalam kerangka eksekutif. Perawatan adalah tindakan yang dilakukan untuk mengimbangi atau mengikuti jadwal pemeliharaan dan melakukan pengecekan atau penggantian yang dapat diterima berdasarkan perencanaan (Alwi, 2016).

Pendekatan perawatan di PT. Cilegon Karya Nusa meliputi Perawatan Korektif, yang berfokus pada perbaikan atau penggantian komponen mesin setelah terjadi kegagalan. Masalah umum yang dihadapi oleh PT. Cilegon Karya Nusa ialah berulangnya mengalami kerusakan pada mesin terkait mobilisasi, salah satunya mesin mobile crane sebagai penggerak utama dalam proses konstruksi ataupun fabrikasi yang menyebabkan penghentian sistem produksi atau fabrikasi sementara (*downtime*) untuk dilakukan perawatan. Menurut data kerusakan yang ada selama periode 4 tahun dari Januari 2020-Desember 2023 terjadi downtime selama 17.411 menit dan didukung dengan hasil wawancara diketahui perusahaan mengeluarkan biaya yang besar untuk menindaklanjuti hal tersebut. Hal ini diakibatkan karena belum adanya penjadwalan pemeliharaan yang tepat terhadap mesin serta kerusakan komponen yang dilakukan. Karena tidak dilakukan perawatan atau pengecekan secara berkala maka komponen yang berpotensi mengalami kerusakan juga tidak diketahui. Menurut PT. Cilegon Karya Nusa permasalahan yang sering terjadi yaitu pada mesin *Mobile Crane Kobelco RK450*, di mana mesin *Mobile Crane* merupakan alat yang esensial dan sangat efektif dalam banyak situasi industri, khususnya dalam proyek-proyek konstruksi yang memerlukan mobilitas dan fleksibilitas tinggi dalam pengangkatan dan pemindahan material.

Penelitian tentang perawatan mesin dengan *RCM II* dan *ARP* telah diterapkan seperti pada tesis yang dianalisis Juwandono & Purnama, (2023) Analisa Pemeliharaan Sistem Produksi dengan Teknik *RCM II* dan *ARP* yang menghasilkan Pemeliharaan mesin sangat penting untuk menjaga kinerja optimalnya. Mesin yang digunakan mengalami penurunan produksi dan biaya yang meningkat akibat *downtime* yang mencapai total 21.103 menit dari Maret 2020 hingga Maret 2023, terutama karena perawatan yang bersifat korektif. Penelitian ini berupaya menetapkan perawatan pencegahan yang efektif dengan menentukan komponen-komponen

penting dan menentukan tindakan perawatan terbaik menggunakan metode *RCM*. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan interval penggantian komponen guna meminimalkan waktu henti melalui metode *ARP*. Temuan penelitian ini menyoroti komponen-komponen utama, strategi perawatan yang optimal, dan interval penggantian yang direkomendasikan untuk setiap mesin..

Berdasarkan penjelasan latar belakang masalah di atas, maka penelitian ini mencoba mengusulkan metode yang cocok yaitu *Reliability Centered Maintenance II (RCM II)* untuk mengatasi masalah tersebut. *RCM II* memiliki keunggulan dalam menentukan tindakan perawatan yang fokus pada mesin atau komponen serta menghindari aktivitas perawatan yang tidak perlu dengan menentukan interval perawatan yang tepat atau merencanakan jadwal perawatan yang optimal dengan menggunakan metode *RCM II* dan *ARP* yang diharapkan dapat meminimalisir *downtime* selama proses berlangsung. Menentukan komponen-komponen kritis dan mencegah atau mengantisipasi kegagalan pada sistem produksi pada proyek yang sedang berlangsung.

1.2 Rumusan Masalah

1. Komponen manakah yang paling kritis pada *Mobile Crane Kobelco RK450* ?
2. Bagaimana metode terbaik untuk menentukan pemeriksaan dan perbaikan yang optimal guna mencegah kegagalan komponen kritis ?
3. Berapa biaya yang dikeluarkan sebelum dan sesudah penerapan *Preventive Maintenance*?

1.3 Batasan Penelitian

1. Penelitian dilakukan di PT Cilegon Karya Nusa dalam departemen manajemen konstruksi.
2. Data kegagalan dan perbaikan mesin dari Januari 2020 hingga Desember 2023 digunakan dalam penelitian.
3. Fokus penelitian *Mobile Crane Kobelco RK450* dalam kategori mesin konstruksi.
4. Penelitian difokuskan pada komponen kritis dari *Mobile Crane Kobelco RK450*.
5. Untuk mengurangi *downtime*, peneliti menggunakan Metode *ARP* dan *RCM II* untuk mengidentifikasi komponen-komponen penting.
6. Peneliti menggunakan metode *RCM II* dalam menentukan efek ekonomi kegagalan dari *Mobile Crane Kobelco RK450*.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menentukan komponen yang tergolong kritis dan sering mengalami kerusakan pada *Mobile Crane Kobelco RK450*.
2. Menentukan tindakan terbaik untuk pemeliharaan alat berat agar *komponen mobile crane Kobelco RK450* berfungsi.
3. Menentukan hasil perhitungan biaya setelah adanya *Preventive Maintenance*.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Untuk Mahasiswa
 - a. Sebagai sarana dalam mengaplikasikan atau menerapkan teori manajemen perawatan yang diperoleh di perkuliahan pada dunia industri secara nyata.
 - b. Peneliti dapat mengembangkan dan menambah ilmu pengetahuan melalui *learning by doing*.
2. Untuk Perguruan Tinggi
 - a. Dapat memperluas pengetahuan siswa untuk dijadikan bahan belajar dan inspirasi kerja yang lebih produktif.
 - b. Menumbuhkan ikatan yang baik antara lingkungan akademisi serta lapangan kerja.
3. Untuk perusahaan
 - a. Sebagai usulan dan masukan dalam menentukan penjadwalan perawatan *preventive*, yang diharapkan dapat meminimalisir kegagalan yang terjadi pada mesin kritis.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab memperkenalkan latar belakang masalah, merumuskan masalah, membahas manfaat dan keterbatasan penelitian, dan menguraikan metodologi yang digunakan untuk menyusun laporan Tugas Akhir

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab menyajikan tinjauan penelitian sebelumnya yang terkait dengan topik tugas akhir, termasuk ide-ide mendasar, konsep, dan bahan-bahan yang berfungsi sebagai referensi untuk penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab merinci objek dan lokasi penelitian, termasuk diagram alir yang menggambarkan tahapan-tahapan tugas akhir, dan mencakup pengumpulan data, analisis, dan alat-alat yang digunakan.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab berfokus pada data penelitian, menjelaskan prosedur pengolahan data, dan memberikan analisis dan temuan.

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab membahas temuan penelitian, mengevaluasinya dalam kaitannya dengan tujuan penelitian, dan menyajikan simpulan beserta rekomendasi dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB VI PENUTUP

Bab terakhir menyajikan simpulan berdasarkan temuan penelitian, beserta rekomendasi atau saran untuk perusahaan dan peneliti selanjutnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada riset sebelumnya tentang perawatan mesin dilakukan oleh Purnomo et al. (2021) membahas penerapan perawatan motor konveyor menggunakan metode *RCM*. Alat ukur yang digunakan adalah metode *RCM* untuk mengevaluasi dan memperbaiki keandalan sistem perawatan motor konveyor. Hasil yang didapat mencakup peningkatan efisiensi dan keandalan perawatan, identifikasi prioritas perawatan berdasarkan risiko kegagalan, serta pengurangan biaya perawatan jangka Panjang.

Selanjutnya, Gustiawan & Affandi (2021) dalam penelitiannya membahas perencanaan penjadwalan perawatan mesin extruder menggunakan metode *RCM*. Alat ukur yang digunakan adalah metode *RCM* untuk mengevaluasi dan memperbaiki jadwal perawatan mesin *extruder*. Hasil yang didapat mencakup peningkatan efisiensi perawatan, identifikasi prioritas perawatan berdasarkan risiko kegagalan, serta pengurangan *downtime* dan biaya perawatan jangka Panjang.

Selanjutnya, Ramdani & Khaerudin (2021) dalam penelitiannya membahas penjadwalan pemeliharaan motor listrik dengan *RCM*. Alat ukur yang digunakan adalah metode *RCM* untuk mengevaluasi dan memperbaiki jadwal pemeliharaan motor listrik. Hasil yang didapat mencakup peningkatan efisiensi pemeliharaan, identifikasi prioritas pemeliharaan berdasarkan risiko kegagalan, serta pengurangan *downtime* dan biaya pemeliharaan jangka Panjang.

Selanjutnya, Pratama & Nurhidayat (2022) dalam penelitiannya membahas rencana perawatan mesin genset menggunakan metode *RCM* dan *Maintenance VSM*. Alat ukur yang digunakan adalah metode *RCM* dan *Maintenance VSM* untuk mengevaluasi dan memperbaiki strategi perawatan mesin genset. Hasil yang didapat mencakup peningkatan efisiensi perawatan, identifikasi prioritas perawatan berdasarkan risiko kegagalan, serta pengurangan *downtime* dan biaya perawatan jangka Panjang.

Selanjutnya, Dwi & Endih (2022) dalam penelitiannya membahas perawatan mesin dengan metode *RCM* dan *Fuzzy FMEA*. Alat ukur yang digunakan adalah metode *RCM* dan *Fuzzy FMEA* untuk mengevaluasi dan memperbaiki strategi perawatan mesin. Hasil yang didapat mencakup peningkatan efisiensi perawatan, identifikasi prioritas perawatan berdasarkan risiko kegagalan, serta pengurangan *downtime* dan biaya perawatan jangka Panjang.

Selanjutnya, Oka Mahendra et al. (2021) dalam penelitiannya membahas rancangan kebijakan pada mesin *paving molding RRCM*. Alat ukur yang digunakan adalah metode *RRCM* untuk mengevaluasi dan merancang strategi pemeliharaan pada mesin *paving molding*. Hasil penelitian ini mencakup perancangan kebijakan pemeliharaan yang efektif, identifikasi risiko kegagalan, dan pengurangan *downtime* mesin secara signifikan, yang semuanya bertujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya pemeliharaan jangka panjang di PT XYZ.

Selanjutnya, Rasyid et al. (2020) dalam penelitiannya membahas perencanaan mesin *First Press Expeller RCM*. Alat ukur yang digunakan adalah metode *RCM* untuk mengevaluasi dan merencanakan strategi pemeliharaan mesin *First Press Expeller*. Hasil yang didapat mencakup rancangan kebijakan pemeliharaan yang efektif, identifikasi prioritas pemeliharaan berdasarkan risiko kegagalan, serta pengurangan *downtime* dan biaya pemeliharaan jangka panjang di PT. Multi Nabati Sulawesi.

Selanjutnya, Simbolon et al. (2020) dalam penelitiannya membahas perancangan interval perawatan mesin dengan *RCM II*. Alat ukur yang digunakan yaitu *RCM II* untuk mengevaluasi dan merancang interval perawatan mesin secara preventif. Hasil yang didapat mencakup penyusunan interval perawatan yang optimal berdasarkan analisis risiko kegagalan, dengan tujuan meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi *downtime* mesin di PT. Gunung Selamat Lestari.

Selanjutnya, Dhaneswara & Achmadi (2022) dalam penelitiannya membahas analisis komponen kritis dan penerapan *RCM II* pada *GTC*. Alat ukur yang digunakan adalah metode *RCM II* untuk menganalisis komponen kritis pada *GTC* dan merancang strategi perawatan yang efektif. Hasil penelitian ini mencakup identifikasi komponen kritis, penentuan interval perawatan yang optimal, serta rekomendasi aktivitas perawatan yang tepat untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional *GTC*.

Selanjutnya, Dwijaputra et al. (2022) membahas kebijakan pemeliharaan mesin *IMC* dan *Cane* menerapkan metode *RCM II*. Alat ukur yang digunakan adalah metode *RCM II* untuk merencanakan jadwal pemeliharaan yang efektif bagi mesin-mesin tersebut. Hasil yang didapat meliputi penyusunan jadwal pemeliharaan yang optimal, identifikasi komponen kritis, serta rekomendasi aktivitas perawatan yang tepat untuk meningkatkan keandalan dan kinerja mesin.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No.	Judul	Objek (Industri)				
		Analisis Kegagalan	Pengukuran Kegagalan	Mitigasi Kegagalan	<i>Reliability Centered Maintenance</i>	<i>Age Replacement</i>
1	(Purnomo et al., 2021)	√	√	√	√	
2	(Gustiawan & Affandi, 2021)	√		√	√	
3	(Ramdani & Khaerudin, 2021)		√	√	√	
4	(Pratama & Nurhidayat, 2022)	√	√		√	
5	(Dwi & Endih, 2022)	√	√		√	
6	(Oka Mahendra et al., 2021)	√	√	√	√	√
7	(Rasyid et al., 2020)			√	√	√
8	(Simbolon et al., 2020)	√	√	√	√	√
9	(Dhaneswara & Achmadi, 2022)	√	√	√	√	√
10	(Dwijaputra et al., 2022)		√	√	√	
	Usulan	√	√	√	√	√

2.2 Kajian Deduktif

2.2.1 Perawatan (*Maintenance*)

Pemeliharaan mengacu pada aktivitas yang dilakukan untuk mengawasi, melindungi, dan memperbaiki aset yang ada. Pemeliharaan melibatkan penyesuaian dan modifikasi yang diperlukan untuk memastikan bahwa kondisi pengoperasian sesuai dengan standar yang direncanakan. (Siregar et al., 2022). Sedangkan menurut Sitinjak & Silalahi (2023), pemeliharaan digambarkan sebagai serangkaian tugas terstruktur yang dirancang dalam menjaga hasil atau sistem dalam keadaan baik, hemat biaya, teratur, dan terjaga. Menerapkan sistem pemeliharaan yang terorganisasi dengan baik membantu mempertahankan umur dan fungsionalitas mesin. Aktivitas pemeliharaan menghasilkan dua hasil utama:

- a. *Condition Maintenance* adalah Tindakan yang diambil untuk memastikan bahwa peralatan atau perkakas beroperasi secara efektif sepanjang masa ekonomisnya.

- b. *Replacement Maintenance* adalah proses menjaga mesin atau perkakas agar tetap berfungsi dengan baik sepanjang umur ekonomisnya dengan mengganti suku cadang tepat waktu dan sesuai dengan jadwal.

2.2.2 Tujuan *Maintenance*

Siregar et al. (2022) berpendapat Pemeliharaan didefinisikan sebagai proses perbaikan suatu barang untuk mengembalikannya ke kondisi standar, memastikannya dalam keadaan yang dapat diterima. Aktivitas ini penting untuk menjaga semua fasilitas dalam kondisi optimal dan siap digunakan. Adapun menurut Manesi (2015) tujuan dari kegiatan perawatan antara lain:

1. Dapat memenuhi rencana produksi.
2. Mempertahankan tingkat kualitas yang sesuai untuk memenuhi permintaan produk.
3. Menekan pengeluaran biaya *maintenance* serendah mungkin.
4. Memastikan semua operasi pada mesin atau peralatan siap untuk dioperasikan.
5. Meminimalisir pemeliharaan yang membahayakan sekitar.

2.2.3 Klasifikasi Pemeliharaan

Menurut Mentari et al. (2017), manajemen perbaikan terbagi tiga yaitu perbaikan, pencegahan, dan koreksi pemeliharaan (*maintenance*) dibagi menjadi dua bagian, antara lain:

1. Peningkatan Pemeliharaan (*Maintenance Improvement*)

Seiring waktu, kebijakan pemeliharaan perlu menjadi lebih baik untuk memperbaiki kekurangan apa pun. Dengan demikian, tujuan perbaikan pemeliharaan adalah untuk meminimalkan atau mungkin menghilangkan seluruh kerusakan dan kegagalan yang terjadi.

2. Pemeliharaan Preventif (*Preventive Maintenance*)

Pemeliharaan preventif mencakup pembaruan, modifikasi, dan perbaikan sistem alat berat yang direncanakan. Menurut kategorisasi mesin, program pemeliharaan preventif mengutamakan aturan penjadwalan dan membuat asumsi bahwa produktivitas mesin akan menurun dalam jangka waktu tertentu. Pemeliharaan preventif dibagi menjadi tiga yaitu:

- a. *Time driven* yaitu di mana mengacu pada penggantian komponen berdasarkan jumlah waktu atau jarak yang ditempuh. Biasanya digunakan oleh mesin yang harga suku cadang mesinnya terjangkau.

- b. *Predictive* yaitu mendeteksi kerusakan sistem (berkurangnya fungsi), perlu dilakukan identifikasi penyebab gangguan tersebut dan mengambil tindakan untuk menghilangkannya sebelum terjadi degradasi sistem.
 - c. *Proactive* yaitu sering digunakan pada perusahaan yang menggunakan mesin dengan komponen mahal dan didasarkan pada studi perawatan.
3. Pemeliharaan Korektif (*Corrective Maintenance*)

Pemeliharaan korektif dilakukan apabila sistem tidak berfungsi atau berhenti bekerja, pemeliharaan korektif akan dilakukan. Kerusakan pada komponen yang sudah rusak atau sedang mengalami kerusakan biasanya menjadi penyebab sistem terhenti. Penyebab kerusakan tersebut umumnya terjadi akibat tidak dilakukannya *Preventive Maintenance*. Pemeliharaan korektif biasanya disebut juga *breakdown maintenance*.

2.2.4 Konsep Downtime

Intinya, *downtime* adalah periode waktu dimana fungsi sistem terganggu atau komponen sistem tidak dapat digunakan Dwijaputra et al. (2022). Prinsip utama *downtime* adalah untuk menjaga waktu henti sesingkat mungkin sehingga sistem mesin atau suku cadang pengganti dapat digunakan tanpa menyebabkan kerusakan. Penggantian komponen dan pengaturan interval inspeksi sekaligus mengurangi *downtime* akan menjadi topik utama penelitian ini. Dengan demikian, mengurangi waktu kegagalan adalah tujuan utama manajemen pemeliharaan untuk memaksimalkan efektivitas intervensi pencegahan.

2.2.5 Reliability Centered Maintenance II (RCM II)

Metode *RCM II* merupakan teknik perawatan yang menggabungkan *Preventive* dan *Corrective Maintenance* dan bertujuan untuk merealisasikan masa pakai dan fungsi mesin atau peralatan dengan rendah biaya (Cahyani & Iftadi, 2021). Menurut Alwi (2016) menyatakan bahwa model *RCM II* berkonsentrasi pada tugas-tugas yang, mengingat ketersediaan sistem dan keselamatan operasional, memiliki pengaruh terbesar terhadap kinerja sistem. Salah satu metode untuk menjaga fungsionalitas sistem disebut pemeliharaan yang berpusat pada keandalan. Menurut Iqbal (2017), tujuan dari pendekatan *RCM*:

1. Digunakan untuk gambaran dan pengembangan perawatan.
2. Sebagai penyempurnaan dari desain awal, dari berbagai informasi yang diperoleh dari metode ini yang dirasa kurang baik.

3. Mengembangkan sistem pemeliharaan untuk meningkatkan atau mengembalikan keandalan dan keamanan yang terjadi selama pengoperasian.
4. Mencapai semua tujuan dengan biaya terendah.

Untuk menerapkan teknik *RCM* dengan baik dibutuhkan tindakan utama (Cahyani & Iftadi, 2021):

1. *FBD*
2. *FMEA*
3. *LTA*
4. *TS Map*

2.2.5.1 Functional Block Diagram (FBD)

FBD adalah jenis diagram yang menggambarkan hubungan antara fungsi suatu alat pada tingkat hierarki yang sama. Diagram ini biasanya digunakan untuk menggambarkan sistem operasional atau proses suatu mesin dan merepresentasikan fungsi utama sistem melalui unsur blok. elemen ini menunjukkan hubungan antara subsistem yang bersama-sama membentuk sistem secara keseluruhan.

Menurut Winwin et al. (2015) *FBD* berupa suatu penyajian unsur dari fungsi yang terjadi oleh tiap komponen dan aliran sinyalnya. Dalam suatu diagram blok, semua unsur sistem saling dihubungkan.

2.2.5.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA merupakan alat yang dipergunakan secara luas pada sebuah industri sebagai evaluasi kemungkinan sebuah kegagalan proses, desain, atau sistem untuk dibuat langkah penanganannya (Cahyani & Iftadi, 2021).

Menurut Cahyani & Iftadi (2021) *FMEA* adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis kegagalan dalam suatu sistem, desain, proses, atau layanan. Metode ini melibatkan identifikasi kegagalan dengan memberikan skor pada setiap mode kegagalan berdasarkan faktor-faktor seperti tingkat kejadian, tingkat keparahan, dan deteksi. Analisis ini membantu mengidentifikasi komponen-komponen penting yang mengalami kegagalan paling sering dan menilai dampaknya terhadap fungsionalitas sistem. Hasilnya, strategi pemeliharaan yang tepat dapat diterapkan untuk mengatasi komponen-komponen utama ini.

Tabel 2.2 *Failure Mode and Effect Analysis*

Sistem :									
No	Peralatan	Fungsi	Kegagalan Fungsional	Moda Kegagalan	Efek Kegagalan	S	O	D	RPN

Untuk *SOD* yaitu *Severity (S)*, *Occurrence (O)*, dan *Detection (D)*. Rumus perhitungan *RPN* adalah:

$$RPN = S \times O \times D \quad \dots (2.1)$$

Keterangan:

S = *Severity*

O = *Occurrence*

D = *Detection*

Hasil *RPN* menunjukkan prioritas komponen dengan tingkat resiko tinggi sehingga pada komponen tersebut perlu pelakuan khusus melalui pemeliharaan. Berikut ini merupakan komponen penyusun *RPN* :

a. *Severity*

Komponen tingkat keparahan mengacu pada dampak atau konsekuensi dari kegagalan, yang dinilai berdasarkan faktor-faktor seperti tingkat kerusakan peralatan, tingkat keparahan cedera, dan lamanya waktu henti. Penilaian ini dikenal sebagai peringkat tingkat keparahan yang bersumber dari buku *Total Quality Management* pada chapter 26 halaman 373-389.

Tabel 2.3 *Rating Severity*

<i>Rating</i>	<i>Akibat (Effect)</i>	<i>Kriteria Verbal</i>	<i>Akibat pada Produksi</i>
1	Tidak ada	Belum menyebabkan efek, perlu disesuaikan	Proses masih terkendali
2	Sangat ringan	Mesin masih dapat berjalan aman, hanya menyebabkan sedikit kendala kecil pada peralatan. Hanya operator berpengalaman yang dapat mengetahui efeknya	Proses terkendali, hanya perlu sedikit penyesuaian

<i>Rating</i>	<i>Akibat (Effect)</i>	<i>Kriteria Verbal</i>	<i>Akibat pada Produksi</i>
3	Ringan	Mesin masih dapat berjalan aman, hanya menyebabkan sedikit kendala kecil pada peralatan. Semua operator bisa mengetahui efeknya	Proses diluar kendali dan hanya membutuhkan beberapa penyesuaian
4	Minor	Mesin masih dapat beroperasi dengan aman, tetapi menyebabkan beberapa kegagalan atau kerusakan produk. Operator tidak senang karena kinerja yang berkurang	Kurang dari 30 menit <i>downtime</i> atau tidak ada waktu produksi yang hilang
5	Moderat	Mesin masih dapat beroperasi dengan aman, tetapi menyebabkan beberapa kegagalan atau kerusakan produk. Operator tidak puas karena kinerja yang berkurang	± 1 jam berhenti
6	Signifikan	Mesin masih dapat beroperasi dengan aman, tetapi menyebabkan beberapa kegagalan atau kerusakan produk. Operator sangat tidak senang dengan hasilnya	± 2 jam berhenti
7	Major	Mesin terus bekerja dalam kondisi aman, tetapi tidak dapat bekerja sepenuhnya. Operator sangat senang	± 4 jam berhenti
8	Ekstrem	Mesin belum bisa bekerja, mesin sudah kurang fungsi utama mesin	± 8 jam berhenti
9	Serius	Mesin tidak dapat dioperasikan dan tidak memenuhi standar keselamatan	± 8 jam berhenti
10	Berbahaya	Mesin tidak sesuai untuk pengoperasian karena bisa menyebabkan insiden dan tidak dapat memenuhi standar keselamatan	± 8 jam berhenti

b. Occurrence

Komponen penilaian yang dilakukan pada *rating* tertentu di mana akan terjadi kerusakan mekanis pada sistem. Dari *rating* ini dapat diketahui kemungkinan dan frekuensi kegagalan komponen. Dibawah ini adalah tabel *rating occurrence* yang bersumber dari buku *Total Quality Management* pada chapter 26 halaman 373-389.

Tabel 2.4 *Rating Occurrence*

Rating	Kejadian	Kriteria	Tingkat Kerusakan
1	Hampir tidak pernah	Tidak pernah terdapat kendala	± 10.000 jam penggunaan
2	<i>Remote</i>	Kendala mesin jarang terjadi	± 10.000 jam penggunaan
3	Sangat sedikit	Kendala mesin terbilang sedikit	± 6.000 jam penggunaan
4	Sedikit	Kendala mesin terjadi sedikit	± 3.000 jam penggunaan
5	Rendah	Kendala mesin terjadi pada kemungkinan rendah	± 2.000 jam penggunaan
6	Medium	Kendala mesin terjadi pada kemungkinan sedang	± 1.000 jam penggunaan
7	Agak Tinggi	Kendala mesin terbilang tinggi	± 400 jam penggunaan
8	Tinggi	Kerusakan mesin tinggi	± 100 jam penggunaan
9	Sangat Tinggi	Kerusakan mesin terjadi sangat tinggi	± 10 jam penggunaan
10	Hampir selalu	Kerusakan selalu terjadi	Kurang dari jam penggunaan

c. Detection

Komponen tingkatan evaluasi yang menunjukkan kemampuan untuk mengontrol dan mengendalikan kegagalan. ini menunjukkan *rating detection* yang bersumber dari buku *Total Quality Management* pada chapter 26 halaman 373-389.

Tabel 2.5 *Rating Detection*

Rating	Akibat	Kriteria Verbal
1	Hampir Pasti	Perawatan perbaikan hampir selalu mampu mendeteksi penyebab potensial, mekanisme kerusakan, atau mode kegagalan

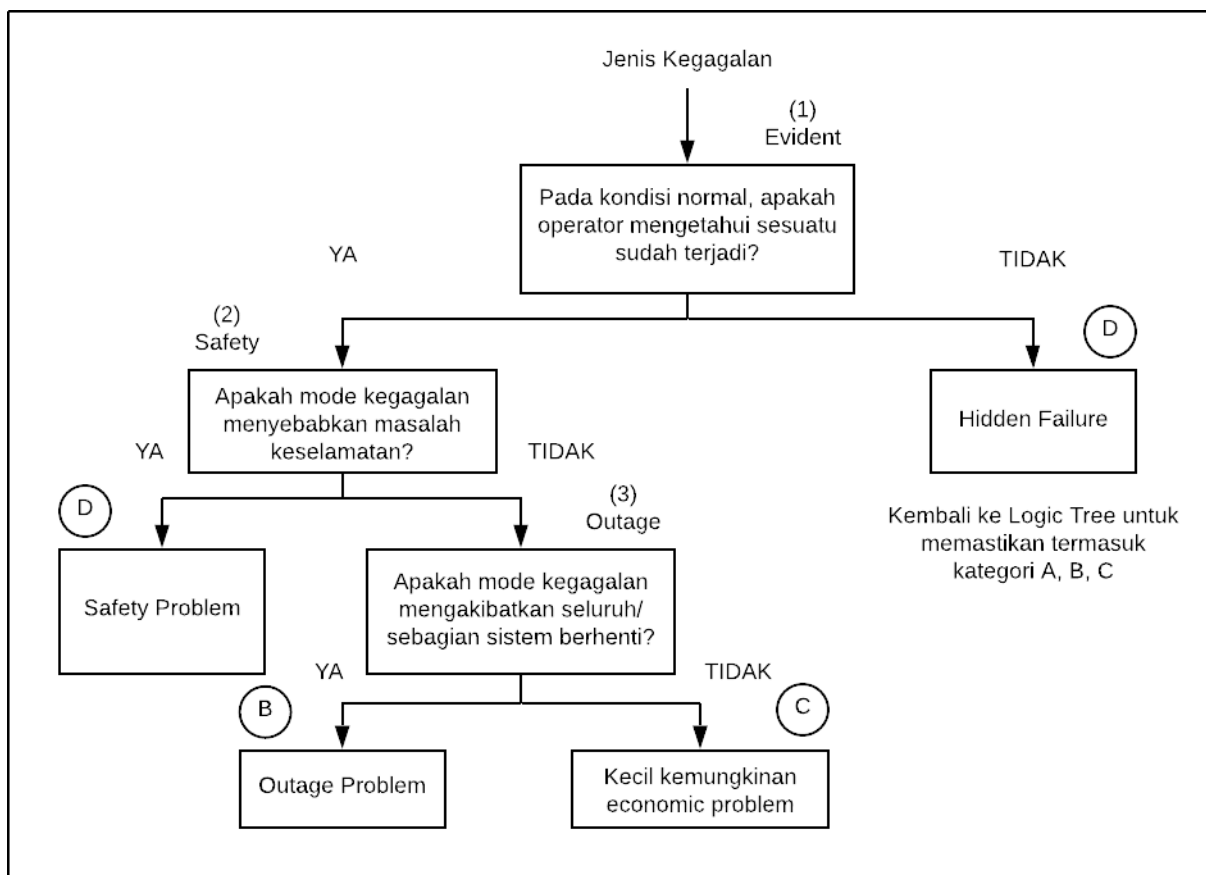
<i>Rating</i>	<i>Akibat</i>	<i>Kriteria Verbal</i>
2	Sangat Tinggi	Perawatan perbaikan memiliki kemungkinan yang sangat tinggi untuk mengidentifikasi penyebab potensi, mekanisme kerusakan, atau mode kegagalan
3	Tinggi	Perawatan perbaikan memiliki kemungkinan yang tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial, mekanisme kerusakan atau mode kegagalan
4	<i>Moderate highly</i>	Perawatan perbaikan memiliki kemungkinan sedang untuk mendeteksi penyebab potensial, mekanisme kerusakan, atau mode kegagalan secara efektif
5	<i>Moderate</i>	Perawatan perbaikan memiliki peluang sedang untuk mengidentifikasi penyebab potensial, mekanisme kerusakan, atau mode kegagalan
6	Rendah	Perawatan perbaikan memiliki kemungkinan yang rendah untuk mendeteksi penyebab potensial, mekanisme kerusakan, atau mode kegagalan
7	Sangat Rendah	Perawatan perbaikan memiliki kemungkinan yang sangat rendah untuk mendeteksi penyebab potensial, mekanisme kerusakan, atau mode kegagalan
8	<i>Remote</i>	Perawatan perbaikan memiliki peluang minimum untuk mendeteksi penyebab potensial, mekanisme kerusakan, atau mode kegagalan

2.2.5.3 Logic Tree Analysis

LTA yaitu alat yang digunakan untuk menilai konsekuensi dari suatu mode kegagalan. Tujuan utamanya adalah untuk memprioritaskan berbagai mode kegagalan. Analisis mode kegagalan diorganisasikan ke dalam empat kategori utama. Hasan et al. (2019):

1. *Evident*: Dapatkah operator mendeteksi kesalahan dalam kondisi operasi normal?
2. *Safety*: Apakah kegagalan menimbulkan risiko keamanan?
3. *Outage*: Apakah moda kegagalan ini menyebabkan semua sistem atau setengah sistem mati?
4. *Category*, Jawaban atas pertanyaan yang diajukan. Kategori *LTA* dibagi menjadi empat:

- a. Kategori A (*Safety problem*) : moda kegagalan mengakibatkan bahaya keselamatan, yang berpotensi menyebabkan kematian atau konsekuensi lingkungan.
- b. Kategori B (*Outage problem*) : moda kegagalan memengaruhi operasi pabrik, yang menyebabkan peningkatan biaya dan kerugian ekonomi.
- c. Kategori C (*Economic problem*) : moda kegagalan tidak memengaruhi keselamatan atau operasi tetapi menyebabkan kerugian ekonomi kecil yang terkait dengan pemeliharaan.
- d. Kategori D (*Hidden failure*) : moda kegagalan diklasifikasikan sebagai kegagalan tersembunyi atau memiliki konsekuensi langsung, yang berpotensi memicu kegagalan lain jika tidak ditangani.



Gambar 2.1 Alur Kategori LTA

2.2.5.4 Pemilihan Tindakan (*Task Selection*)

Pemilihan *TS* merupakan tahap akhir dalam analisis proses *RCM II*. Pada tahap ini, setiap mode kegagalan ditinjau untuk mengidentifikasi tindakan yang memungkinkan, dan tindakan

yang paling efektif ditentukan. Analisis ini membantu menetapkan tindakan *Preventive Maintenance* yang tepat untuk mode kegagalan tertentu. Tindakan pemeliharaan dikategorikan menjadi tiga jenis:

1. *Time Deredcted (TD)*

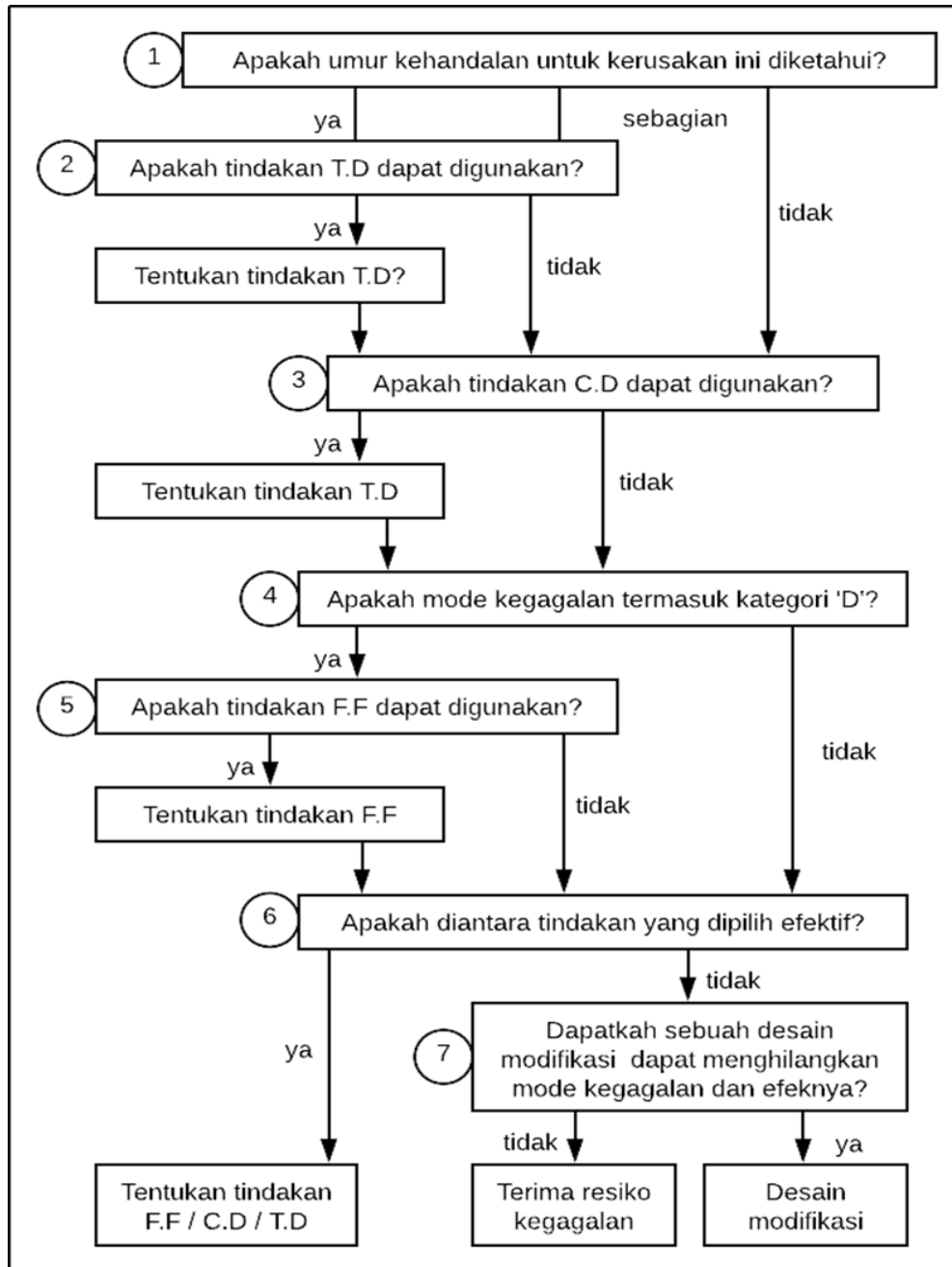
Tindakan pemeliharaan yang difokuskan pada penanganan kerusakan yang disebabkan oleh berlalunya waktu atau usia komponen.

2. *Condition Deredct (CD)*

Tindakan pemeliharaan yang melibatkan inspeksi atau pemeriksaan. Jika tanda-tanda kerusakan terdeteksi selama inspeksi, komponen diperbaiki atau diganti.

3. *Finding Failure (FF)*

Tindakan pemeliharaan yang ditujukan untuk mengidentifikasi kerusakan tersembunyi melalui inspeksi atau pemeliharaan rutin.

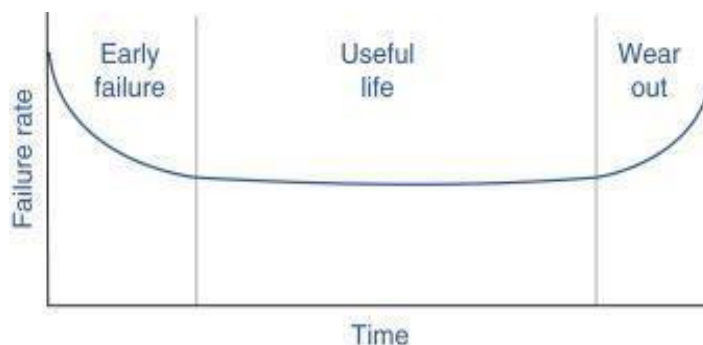


Gambar 2.2 Alur Pemilihan Tindakan (*Task Selection*)

2.2.6 Laju Kerusakan

Sepanjang proses operasional, mesin atau komponen dapat mengalami kegagalan atau kerusakan yang memengaruhi kinerja dan efisiensinya. Tingkat kegagalan didefinisikan sebagai rasio jumlah kegagalan yang terjadi dalam jangka waktu tertentu. Pola tingkat kegagalan ini diilustrasikan oleh kurva yang dikenal sebagai kurva tingkat kegagalan atau Kurva Bak Mandi. Pada dasarnya, tingkat kegagalan suatu komponen atau sistem berfluktuasi

dari waktu ke waktu, biasanya mengikuti pola standar seperti yang dijelaskan di bawah ini (Dwijaputra et al., 2022):



Gambar 2.3 Laju Kerusakan

Setiap periode waktu dalam kurva tingkat kegagalan memiliki karakteristik khusus yang ditentukan oleh tingkat kerusakan:

1. Kerusakan Awal (*Early Failure*)

Periode ini merupakan waktu saat komponen pertama kali digunakan, dengan keandalannya masih 100%. Biasanya singkat karena komponen tersebut relatif baru. Grafik selama periode ini menunjukkan tingkat kegagalan awal yang tinggi yang secara bertahap menurun seiring waktu, yang dikenal sebagai *DFR*. Hal ini mungkin disebabkan oleh ketidaksempurnaan dalam proses produksi.

2. Pengoperasian Normal (*Useful Life-Perform*)

Periode ini dicirikan oleh *CFR*, di mana tingkat kegagalan tetap relatif rendah dan stabil seiring waktu. Kegagalan selama tahap ini biasanya disebabkan oleh beban tambahan yang tiba-tiba, kesalahan manusia, atau penyebab yang tidak ditentukan

$$R t = e n^{-\lambda t} \quad \dots (2.2)$$

Rumusan tersebut digunakan pada mesin yang masih baru dan diasumsikan realibilitasnya $R t = 100\%$.

$$R(t) = M e^{-\lambda t} \quad \dots (2.3)$$

Pada persamaa di atas digunakan untuk komponen atau mesin yang sudah mengalami perawatan sebelumnya.

Keterangan :

$R(t)$ = Distribusi reliabilitas

e = Bilangan euler

λ = Tingkat kegagalan per satuan waktu

t = Waktu

3. Periode *Wear Out*

Area ini adalah periode yang terindikasi adanya kerusakan parah, karna keadaan peralatan semakin memburuk yang disebabkan oleh umur pakai, perawatan yang tidak memadai, atau penyebab lainnya. Sebaiknya pada fase ini dilakukan perawatan pencegahan untuk mengurangi resiko kerusakan fatal.

2.2.7 Peran Distribusi Kerusakan

Pentingnya rumusan distribusi berasal dari hubungannya yang erat dengan probabilitas. Hasil pengukuran digunakan untuk menghitung data waktu kerusakan yang dimasukkan ke dalam data kontinyu pada saat melakukan pemeliharaan preventif. Oleh karena itu, distribusi Normal, Lognormal, *Eksponensial*, dan *Weibull* dalam merancang waktu kerusakan serta perbaikan.

2.2.7.1 Distribusi *Weibull*

Distribusi *Weibull* sering digunakan untuk menghitung tingkat kerusakan karena fleksibilitasnya dalam memodelkan tingkat kegagalan yang meningkat dan menurun. Distribusi ini sangat berguna untuk memperkirakan masa pakai komponen, sehingga sangat berguna untuk analisis risiko. Distribusi ini bergantung pada dua parameter utama: parameter bentuk (Beta) dan parameter skala (Theta) (Sunaryo et al., 2021). Parameter ini memungkinkan derivasi beberapa fungsi penting dari distribusi *Weibull*:

1. Peran Keandalan (*Reality*)

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \quad \dots (2.4)$$

2. Peran Kepadatan Probabilitas (*Probability Density*)

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \quad \dots (2.5)$$

3. Peran Kalkulasi Kerusakan (*Cummulative Density*)

$$f(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \quad \dots (2.6)$$

4. Peran Tingkat Kerusakan (*Hazzard Rate*)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad \dots (2.7)$$

Keterangan :

R(t)	= peran kehandalan
F(t)	= peran kepadatan probabilitas / peran kumulatif kerusakan
λt	= peran laju kerusakan
β (Beta)	= parameter bentuk (<i>shape parameter</i>)
θ (Teta)	= parameter skala (<i>scale parameter</i>)
t	= waktu

2.2.7.2 Distribusi Normal

Distribusi Normal merupakan pendekatan yang efektif untuk memodelkan proses kegagalan dan dapat digunakan untuk memprediksi keausan dan kegagalan. Distribusi ini juga berlaku untuk menganalisis probabilitas lognormal. Kurva distribusi Normal berbentuk lonceng dan ditentukan oleh dua parameter: nilai tengah (μ) dan standar deviasi (σ) (Sunaryo et al., 2021).

1. Peran Keandalan (*Relity*)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \dots (2.8)$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left[\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^{\beta-1}\right] \quad \dots (2.9)$$

2. Peran Ketebalan Probabilitas (*Probability Density*)

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}\right) \text{ untuk } -\infty < t < \infty \text{ di mana } t = \text{waktu} \quad \dots (2.10)$$

3. Peran Kalkulasi Kerusakan (*Cummulative Density*)

$$f(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad \dots (2.11)$$

4. Peran Tingkat Kerusakan (*Hazard Rate*)

$$\lambda t = \frac{F(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \quad \dots (2.12)$$

Keterangan :

R(t)	= peran kehandalan
F(t)	= peran kepadatan probabilitas / peran kumulatif kerusakan
λt	= peran laju kerusakan
μ	= nilai Tengah
σ	= standar deviasi
t	= waktu

2.2.7.3 Distribusi Lognormal

Distribusi Lognormal dicirikan oleh dua parameter utama: parameter bentuk dan parameter lokasi (t_{med}). Distribusi *Weibull* merupakan varian dari distribusi lognormal (Sunaryo et al., 2021):

1. Peran Keandalan (*Reliability*)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \dots (2.13)$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{2} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad \dots (2.14)$$

2. Peran Ketebalan Probabilitas (*Probability Density*)

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi d}} \exp\left(-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \text{ untuk } -\infty < t < \infty \quad \dots (2.15)$$

Atau

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi d}} \exp\left(-\frac{1}{2s^2} \ln\left(\frac{t}{t_{med}}\right)^2\right) \quad \dots (2.16)$$

3. Peran Kalkulasi Kerusakan (*Cummulative Density*)

$$f(t) = \Phi\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right) \quad \dots (2.17)$$

Atau

$$f(t) = \Phi\left(\frac{1}{2} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad \dots (2.18)$$

4. Peran Tingkat Kerusakan (*Hazard Rate*)

$$\lambda t = \frac{F(t)}{R(t)} - \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right)} \quad \dots (2.19)$$

Keterangan :

$R(t)$ = peran kehandalan

$F(t)$ = peran kepadatan probabilitas / peran kumulatif kerusakan

λt = peran laju kerusakan

T_{med} = parameter lokasi (*location parameter*)

s = parameter bentuk

t = waktu

2.2.7.4 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial dapat digunakan untuk menentukan interval waktu atau perbedaan probabilitas tertentu. Menurut Dwijaputra et al. (2022), Distribusi ini dicirikan oleh tingkat kegagalan yang konstan dari waktu ke waktu, yang berarti kemungkinan kegagalan tidak bergantung pada usia alat atau komponen. Parameter yang digunakan dalam distribusi

eksponensial ialah λ , yang rata-ratanya tingkat kegagalan. Dengan $\lambda(t) = \lambda$, untuk $t \geq 0$ dan $\lambda > 0$, (Sunaryo et al., 2021). fungsi berikut diturunkan:

1. Peran Keandalan (*Reliability*)

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad \dots (2.20)$$

2. Peran Ketebalan Probabilitas (*Probability Density*)

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \text{ untuk } t \geq 0; \lambda \geq 0; \text{ dengan } t = \text{waktu} \quad \dots (2.21)$$

3. Peran Kalkulasi Kerusakan (*Cummulative Density*)

$$f(t) = 1 - \lambda \exp(-\lambda t) \quad \dots (2.22)$$

4. Peran Tingkat Kerusakan (*Hazard Rate*)

$$\lambda t = \frac{F(t)}{R(t)} = \lambda \quad \dots (2.23)$$

Keterangan:

R(t) = peran kehandalan

F(t) = peran kepadatan probabilitas / peran kumulatif kerusakan

λt = peran laju kerusakan

λ = rata-rata datangnya kerusakan

t = waktu

2.2.8 Mean Time To Failure (MTTF)

Menurut Sunaryo et al. (2021) *MTTF* mengacu pada "waktu rata-rata yang dibutuhkan peralatan atau mesin untuk gagal," atau dengan kata lain, durasi mesin dan peralatan dapat berfungsi secara efektif. *MTTF* biasanya digunakan untuk memperkirakan berapa lama mesin dapat beroperasi sebelum tidak dapat digunakan lagi. *MTTF* melibatkan penghitungan waktu rata-rata di luar waktu yang dijadwalkan untuk produksi, tanpa mengalami gangguan apa pun..

$$MTTF = \frac{\text{total downtime waktu yang tidak dimanfaatkan}}{\text{banyaknya kerusakan}}$$

2.2.9 Mean Time To Repair (MTTR)

Menurut Sunaryo et al. (2021) *MTTR* mengacu pada "waktu rata-rata yang diperlukan untuk menyelesaikan perbaikan." Ini termasuk total waktu yang diperlukan untuk mengembalikan peralatan ke layanan, yang mencakup pemberitahuan, pemindahan, diagnosis, perbaikan,

menunggu suku cadang, perakitan ulang, dan pengujian. *MTTR* juga mengukur berapa lama operasi akan dihentikan, yang mencerminkan dampak pemeliharaan terhadap tingkat produksi.

$$MTTR = \frac{\text{total downtime waktu untuk perbaikan}}{\text{banyaknya kerusakan}}$$

2.2.10 Model Age Replacement

Model *ARP* merupakan metode yang dirancang untuk meminimalkan waktu henti dengan menjadwalkan penggantian komponen berdasarkan perkiraan waktu kegagalan, dengan mempertimbangkan masa pakai komponen (Muhammad et al., 2023). Dengan menghindari kebutuhan penggantian komponen baru lebih sering dari yang diperlukan, teknik ini dapat mengurangi biaya. Oleh karena itu, penggantian komponen selanjutnya akan didasarkan pada jangka waktu yang telah ditentukan jika penggantian komponen sebelumnya telah selesai.

Model ini dapat digunakan untuk suku cadang yang interval pengantiannya tidak berdampak pada suku cadang lainnya, atau dapat digunakan untuk mengganti hanya satu suku cadang yang rusak dari sekelompok mesin bila terjadi kerusakan komponen. Model ini juga membuat asumsi bahwa suku cadang selalu tersedia dan bahwa mesin dengan suku cadang yang diganti dapat dikembalikan ke keadaan semula. Terdapat dua siklus penggantian preventif dalam model Age Replacement ini:

- a. Siklus 1 yaitu diakhiri dengan penggantian pencegahan berdasarkan usia penggantian komponen yang telah ditentukan sebelumnya.
- b. Siklus 2 yaitu diakhiri dengan operasi penggantian karena kerusakan komponen sebelum waktu penggantian yang dijadwalkan.

$$D(Tp) = \frac{R(tp) + Tf \cdot (1 - R(tp))}{(Tp) \cdot R(tp) + (M(tp) + Tf) \cdot (1 - R(tp))}$$

Keterangan Rumus:

tp = Interval masa penggantian *preventive*

Tf = Masa mengerjakan penggantian komponen

Tp = Masa mengerjakan penggantian pencegahan

$R(tp)$ = Kemungkinan penggantian pencegahan pada saat tp

$M(tp)$ = Masa rata-rata kerusakan apabila perbaikan pada masa tp yang dicari dengan rumus $M(tp)$:

$$M(Tp) = \frac{MTTF}{1 - (tp)}$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Objek Penelitian

Riset ini dilakukan di PT Cilegon Karya Nusa, Perusahaan yang menekuni bidang konstruksi dan produksi. Capaian penelitian ialah mesin *Kobelco RK450 Mobile Crane*. PT Cilegon Karya Nusa beralamat di Jalan Boulevard Raya Blok A1/23, Taman Cilegon Indah, Cilegon, Banten. Riset berlangsung dari bulan Maret 2024 sampai dengan April 2024.

3.2 Metode Pengumpulan Data

3.2.1 Data Primer

Data primer dapat dikumpulkan langsung dari subjek penelitian atau dengan menghubungi penyedia informasi. Di antara metode yang diterapkan pada data primer:

a. Wawancara

Teknik wawancara merupakan suatu langkah dalam proses pengumpulan data yang melibatkan pertukaran informasi secara langsung dengan sumber ahli atau pakar guna mendapatkan informasi mengenai kejadian kegagalan, pemicu kegagalan, dampak kegagalan, dan tindakan pemeliharaan yang relevan dengan bisnis atau sektor tersebut. Temuan penelitian ini didasarkan pada wawancara dan justifikasi terhadap sejumlah spesialis di bidang *mobile crane*, *hoist crane*, dan mesin *forklift*. Para ahli tersebut antara lain Pak Jenni selaku kepala bagian gudang, yang telah bekerja di sana selama 5 tahun, dan Pak Nur, manajer konstruksi, yang telah bekerja di sana selama 10 tahun.

b. Observasi

Teknik observasi terjadi tahapan tindakan yang diakhiri dengan pengamatan langsung terhadap objek atau informasi penelitian untuk memverifikasi kebenaran dan memastikan kebenarannya. Pengamatan langsung penelitian pada bagian mesin pengangkat digunakan untuk mempelajari lebih lanjut tentang proses pembuatan dan pembuatan mesin pengumpul informasi.

3.2.2 Data Sekunder

Data pendukung pengembangan landasan teori penelitian ini dikumpulkan dari makalah pemeliharaan perusahaan dan sumber literatur. Informasi berikut diperlukan untuk metode *ARP* dan *RCM II*:

- a. Profil umum PT. Cilegon Karya Nusa.
- b. Data *downtime* mesin di bagian Lifting.
- c. Data komponen mesin *Mobile Crane Kobelco RK450*.
- d. Data kerusakan-kerusakan yang terjadi pada mesin *Mobile Crane Kobelco RK450*.
- e. Data perbaikan dan waktu antar kerusakan komponen mesin *Mobile Crane Kobelco RK450*.

3.3 Metode dan Pengolahan Data

1. RCM

Data Primer dikumpulkan melalui wawancara dan validasi ahli dari Bapak Jenni, kepala gudang dengan pengalaman 7 tahun, dan Bapak Nur, manajer konstruksi dengan pengalaman 11 tahun. Data ini kemudian dianalisis menggunakan metode *RCM II*. *RCM II* memberikan wawasan tentang sistem kegagalan setiap komponen mesin dan efek yang dihasilkan. Tahapan yang terlibat dalam metode *RCM II* diuraikan di bawah ini:

a. FBD

Diagram blok fungsional membantu dalam memahami struktur dan fungsi dasar dari mobile crane. Dengan membuat *FBD*, kita dapat mengidentifikasi komponen utama dan hubungan fungsional antar komponen, sehingga memudahkan dalam analisis lebih lanjut.

b. FMEA

FMEA digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi kemungkinan mode kegagalan dari setiap komponen mobile crane. Dengan metode ini, kita dapat menilai dampak dari setiap kegagalan dan mengidentifikasi tindakan pencegahan atau perbaikan yang diperlukan untuk meminimalkan risiko.

c. LTA

LTA membantu dalam menentukan penyebab akar dari kegagalan dan menentukan langkah-langkah korektif yang diperlukan. Analisis ini sangat penting dalam memastikan bahwa tindakan yang diambil benar-benar efektif dalam mencegah kegagalan berulang.

d. *TS*

TS merupakan Pemilihan tindakan berdasarkan hasil *FMEA* dan *LTA* membantu dalam menentukan langkah-langkah perawatan yang tepat untuk mencegah kegagalan. Ini memastikan bahwa sumber daya yang ada digunakan dengan efisien dan efektif.

2. Penentuan Komponen Kritis.

Menentukan komponen kritis dari mobile crane sangat penting untuk fokus pada bagian yang paling berpengaruh terhadap kinerja keseluruhan dan keselamatan. Dengan mengidentifikasi komponen-komponen ini, kita dapat mengalokasikan sumber daya perawatan secara lebih efektif dan mencegah kerusakan yang signifikan.

3. Penentuan *TTF* dan *TTR*.

TTF dan *TTR* memberikan informasi tentang seberapa sering komponen cenderung gagal dan berapa lama waktu yang diperlukan untuk memperbaikinya. Informasi ini penting untuk merencanakan perawatan dan mengurangi waktu henti operasional.

4. Penentuan Distribusi *TTF* dan *TTR*.

Memahami distribusi *TTF* dan *TTR* membantu dalam mengidentifikasi pola kegagalan dan perbaikan. Dengan mengetahui distribusi ini, kita dapat mengembangkan strategi perawatan yang lebih akurat dan prediktif.

5. Uji Kecocokan Distribusi.

Menguji kecocokan distribusi data *TTF* dan *TTR* dengan model statistik tertentu memastikan bahwa prediksi yang dibuat berdasarkan data tersebut adalah valid dan dapat diandalkan.

6. *MTTF*

MTTF memberikan gambaran umum tentang rata-rata waktu antara kegagalan untuk komponen tertentu. Informasi ini penting untuk merencanakan interval perawatan yang optimal dan mencegah kegagalan mendadak.

7. *MTTR*

MTTR memberikan gambaran tentang rata-rata waktu yang diperlukan untuk memperbaiki komponen yang rusak. Informasi ini membantu dalam merencanakan sumber daya dan waktu yang diperlukan untuk perbaikan.

8. *Age Replacement* dan minimasi *downtime*.

Age replacement strategy membantu dalam menentukan kapan komponen harus diganti berdasarkan usia atau kondisi untuk meminimalkan risiko kegagalan. Strategi ini efektif dalam mengurangi downtime dan biaya perawatan jangka panjang

9. Frekuensi Pemeriksaan dan interval Waktu Pemeriksaan.

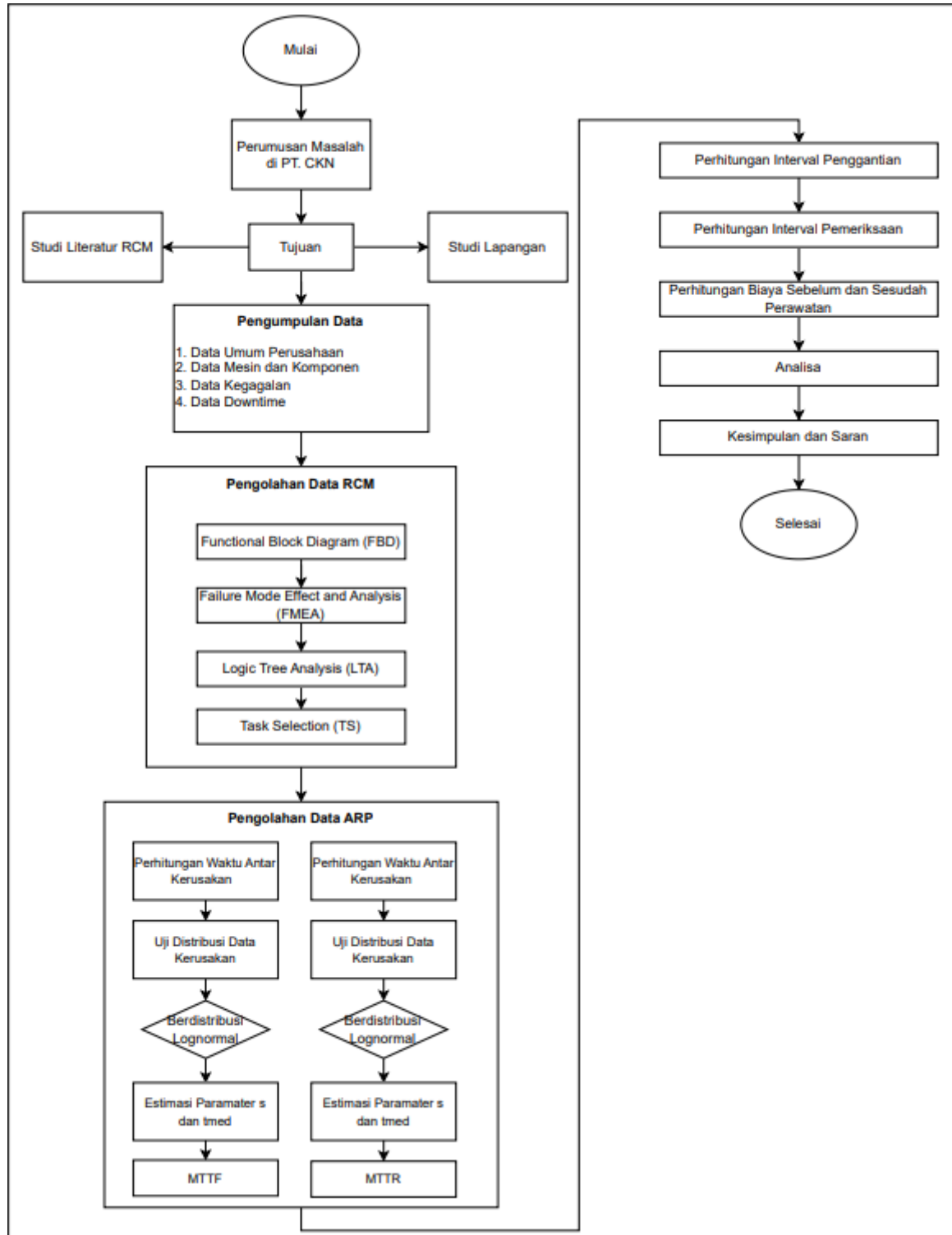
Menentukan frekuensi dan interval pemeriksaan yang tepat berdasarkan data kegagalan dan perbaikan memastikan bahwa perawatan dilakukan tepat waktu, mencegah kegagalan mendadak, dan menjaga kinerja optimal *mobile crane*.

10. Perbandingan Total Biaya Perawatan dan Biaya Usulan.

Menghitung total biaya perawatan dan membandingkannya dengan biaya usulan perawatan membantu dalam mengevaluasi efektivitas dan efisiensi program perawatan. Ini memastikan bahwa strategi perawatan yang dipilih memberikan nilai terbaik dengan biaya yang wajar

3.4 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan tahapan pada penelitian ini dalam wujud:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian Ada beberapa tahapan untuk penelitian ini. Menemukan permasalahan pada item penelitian merupakan langkah awal dalam melakukan penelitian. Fokus penelitian kemudian ditetapkan dengan mengartikulasikan masalah. Untuk menciptakan landasan teori yang mendasari topik penelitian, dilakukan tinjauan literatur yang mencakup penelitian deduktif dan induktif. Pengumpulan data berdasarkan fokus penelitian adalah langkah selanjutnya. Landasan pemrosesan data adalah data ini. Setelah identifikasi dan formulasi, masalah didefinisikan ke dalam proses *RCM II* untuk mengidentifikasi komponen penting dan memilih tindakan terbaik. Teknik *Age Replacement* digunakan untuk menghitung komponen penting pada langkah berikutnya.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Latar Belakang Perusahaan

4.1.1 Sejarah Perusahaan

PT Cilegon Karya Nusa didirikan pada tahun 1998 oleh Bapak Mulyadi. PT Cilegon Karya Nusa berpusat di Jl. Boulevard Raya A1/23 Taman Cilegon, Cilegon-Banten. PT Cilegon Karya Nusa sebagai perusahaan kontraktor terkemuka yang pada bidang Minyak-Gas, Petrokimia, dan Pasokan Industri. untuk terus meningkatkan standar kualitas dan keberlanjutan pembangunan. PT Cilegon Karya Nusa telah membuat komitmen yang kuat untuk secara konsisten memberikan layanan terbaik dan peningkatan kinerja kepada klien. PT Cilegon Karya Nusa berdedikasi untuk menjadi kontraktor terkemuka, menawarkan jasa dan produksi berkualitas tinggi dan secara konsisten berupaya mencapai kemajuan serta berkomitmen untuk menjalankan proses bisnis pada seluruh lokasi dengan handal dan selalu bekerja menggunakan standar sistem manajemen.

4.1.2 Profil Perusahaan

Profil perusahaan :

Nama Perusahaan	: PT Cilegon Karya Nusa
Alamat	: Jl. Boulevard Raya A1/23 Taman Cilegon, Cilegon-Banten
Sub Industri	: Minyak-Gas, Petrokimia, dan Pasokan Industri
Telepon	: (62) 254 382203
Email	: marketing@cilegonkaryanusa.com

4.1.3 Lokasi

PT Cilegon Karya Nusa berlokasi di Jl. Boulevard Raya A1/23 Taman Cilegon.



Gambar 4.1 Lokasi PT Cilegon Karya Nusa

4.1.4 Visi

Menjadi perusahaan kontraktor terkemuka, mempunyai kemampuan untuk melayani dalam bisnis strategis yang bergerak di bidang Minyak, Gas, Petrokimia, dan Pasokan Industri, dengan berorientasi pada kepuasan pelanggan, keselamatan kerja dan menghindari pencemaran lingkungan.

4.1.5 Misi

Menjadi yang terbaik dalam seluruh pelaksanaan pekerjaan proyek dan tepat waktu dalam penyelesaiannya. Memberikan pelatihan bagi personel kami, agar memiliki tim yang kompeten. Terpercaya dan memiliki hubungan yang aman juga memiliki nilai tambah untuk menjamin kualitas terbaik dan efektif dalam melakukan pekerjaan kami untuk klien.

4.1.6 Waktu Kerja

Karyawan pada PT Cilegon Karya Nusa menggunakan shift sehingga seluruh Karyawan akan bekerja dengan waktu yang sama dari berangkat kerja hingga pulang, namun perusahaan mengadakan *system overtime* atau jam lembur untuk mencapai targetnya bisa di lakukan secara *WFO* dan *WFH* selama memiliki bukti dokumentasi waktu *overtime* dan pencapaian dari hari overtimanya. Jam kerja karyawan pada PT Cilegon Karya Nusa :

Tabel 4.1 Jam Kerja Karyawan PT Cilegon Karya Nusa

Hari	Jam Kerja	Istirahat
Senin-Jumat	07.00-18.00	12.00-13.00
Sabtu	07.00-16.00	12.00-13.00

4.2 Pengumpulan Data

4.2.1 Data Waktu Antar Kerusakan Komponen Mesin Mobile Crane Kobelco RK450

Data total *downtime* dari komponen mesin *Mobile Crane Kobelco RK450* periode Januari 2020 sampai Desember 2023:

Tabel 4.2 Data Total *Downtime* Komponen Mesin Mobile Crane Kobelco RK450 Tahun 2020-2023

No	Komponen	Waktu Mulai Kerusakan	Waktu Selesai Kerusakan
1	Boom	15/01/2020 09:12	15/01/2020 10:56
2		22/02/2020 14:25	22/02/2020 17:30
3		03/04/2020 11:30	03/04/2020 13:10
4		06/05/2021 12:37	06/05/2021 16:01
5		10-06-2021 14:08	10-06-2021 15:29
6		17-11-2021 14:20	17-11-2021 15:32
7		11-05-2022 15:34	11-05-2022 18:31
8		15-06-2022 13:27	15-06-2022 16:32
9		04-08-2022 08:54	04-08-2022 12:34
10		17-12-2022 17:46	17-12-2022 21:43
11		02-03-2023 10:31	02-03-2023 13:17
12		21-04-2023 15:34	21-04-2023 18:09
13	Jib	10/03/2020 08:45	10/03/2020 11:20
14		18/05/2020 13:00	18/05/2020 14:45
15		31/01/2021 13:08	31/01/2021 16:49
16		29-08-2021 09:30	29-08-2021 13:00
17		18-10-2022 09:51	18-10-2022 13:42
18		02-12-2022 10:51	02-12-2022 12:07
19		01-01-2023 15:53	01-01-2023 17:59
20		15-02-2023 14:31	15-02-2023 16:14
21		05-06-2023 12:46	05-06-2023 15:16
22	Winch	01/06/2020 10:15	01/06/2020 13:15

No	Komponen	Waktu Mulai Kerusakan	Waktu Selesai Kerusakan
23		09/07/2020 08:22	09/07/2020 09:56
24		09/08/2020 14:33	09/08/2020 16:09
25		07-09-2021 12:40	07-09-2021 15:30
26		18-10-2021 12:52	18-10-2021 14:05
27		21/11/2022 15:00	21/11/2022 17:45
28		12-12-2022 12:35	12-12-2022 16:05
29		30-06-2023 14:49	30-06-2023 17:14
30	<i>Hook Block</i>	11/01/2020 17:14	11/01/2020 20:49
31		15/07/2020 14:25	15/07/2020 18:05
32		28-09-2021 09:17	28-09-2021 11:11
33		03-10-2021 09:10	03-10-2021 11:45
34		12-12-2021 10:30	12-12-2021 13:00
35		25-06-2022 09:27	25-06-2022 12:29
36		15-07-2022 10:47	15-07-2022 14:14
37		10-06-2023 17:55	10-06-2023 20:32
38		15/09/2023 08:38	15/09/2023 10:56
39	<i>Counterweight</i>	21/01/2020 10:44	21/01/2020 12:28
40		25/04/2020 11:45	25/04/2020 15:30
41		14/03/2021 14:50	14/03/2021 18:00
42		01/01/2022 06:04	01/01/2022 08:25
43		16-04-2022 16:51	16-04-2022 19:27
44		29/06/2023 10:00	29/06/2023 12:45
45	<i>Out Rigger</i>	06/03/2020 08:38	06/03/2020 10:42
46		21/05/2020 15:22	21/05/2020 17:26
47		02/02/2021 08:30	02/02/2021 11:30
48		05-07-2021 16:40	05-07-2021 20:21
49		06-04-2022 12:29	06-04-2022 14:01
50		10-05-2022 13:10	10-05-2022 16:00
51		20-07-2022 13:35	20-07-2022 16:46
52		19/05/2023 11:00	19/05/2023 14:30
53		18/09/2023 07:32	18-09-2023 10:52
54		18/11/2023 09:33	18/11/2023 11:27
55	<i>Operator Cabin</i>	08/02/2020 13:33	08/02/2020 15:39
56		05/04/2020 09:25	05/04/2020 12:10
57		22/07/2021 10:30	22/07/2021 14:00
58		19/08/2021 10:23	19/08/2021 11:41
59		28/09/2021 15:00	28/09/2021 17:45
60		23-10-2022 17:14	23-10-2022 19:12
61		17-11-2022 12:46	17-11-2022 16:12

No	Komponen	Waktu Mulai Kerusakan	Waktu Selesai Kerusakan
62		21-04-2023 08:48	21-04-2023 12:28
63		25-06-2023 10:50	25-06-2023 13:57
64	<i>Engine</i>	01/05/2020 17:59	01/05/2020 20:09
65		12/01/2021 09:59	12/01/2021 11:11
66		11/03/2021 14:45	11/03/2021 17:15
67		11/04/2022 16:57	11/04/2022 20:00
68		25-05-2023 09:20	25-05-2023 12:10
69		03/07/2023 08:00	03/07/2023 11:00
70		13-09-2023 09:02	13-09-2023 10:21
71		<i>Hydraulic System</i>	12/02/2020 10:10
72	30/03/2020 15:00		30/03/2020 18:30
73	05/06/2020 09:25		05/06/2020 13:00
74	18/05/2021 09:29		18/05/2021 12:33
75	16/07/2021 11:30		16/07/2021 14:30
76	12/11/2021 10:30		12/11/2021 12:45
77	02/12/2021 10:45		02/12/2021 14:00
78	25/02/2022 09:35		25/02/2022 10:37
79	18-04-2022 13:00		18-04-2022 17:00
80	21/05/2022 13:02		21/05/2022 14:43
81	20-07-2022 09:45		20-07-2022 13:30
82	28-09-2022 06:58		28-09-2022 09:09
83	10-10-2022 15:20		10-10-2022 18:30
84	25-12-2022 08:30		25-12-2022 12:30
85	02-03-2023 14:50		02-03-2023 18:10
86	19-05-2023 09:15		19-05-2023 12:30
87	28-07-2023 13:10		28-07-2023 16:10
88	05-10-2023 11:00	05-10-2023 14:00	
89	<i>Chassis</i>	01/01/2020 08:21	01/01/2020 11:33
90		15/02/2020 09:00	15/02/2020 11:45
91		22-04-2021 10:30	22-04-2021 13:30
92		11-05-2021 07:13	11-05-2021 10:52
93		11/07/2022 08:50	11/07/2022 11:45
94		15/07/2023 09:21	15/07/2023 13:06
95	<i>Control Panel</i>	05/03/2020 14:20	05/03/2020 16:50
96		17/05/2020 09:15	17/05/2020 12:10
97		26/08/2020 13:00	26/08/2020 16:00
98		05/02/2021 16:33	05/02/2021 18:09
99		25/07/2021 14:09	25/07/2021 17:15
100		16/05/2022 10:59	16/05/2022 12:35

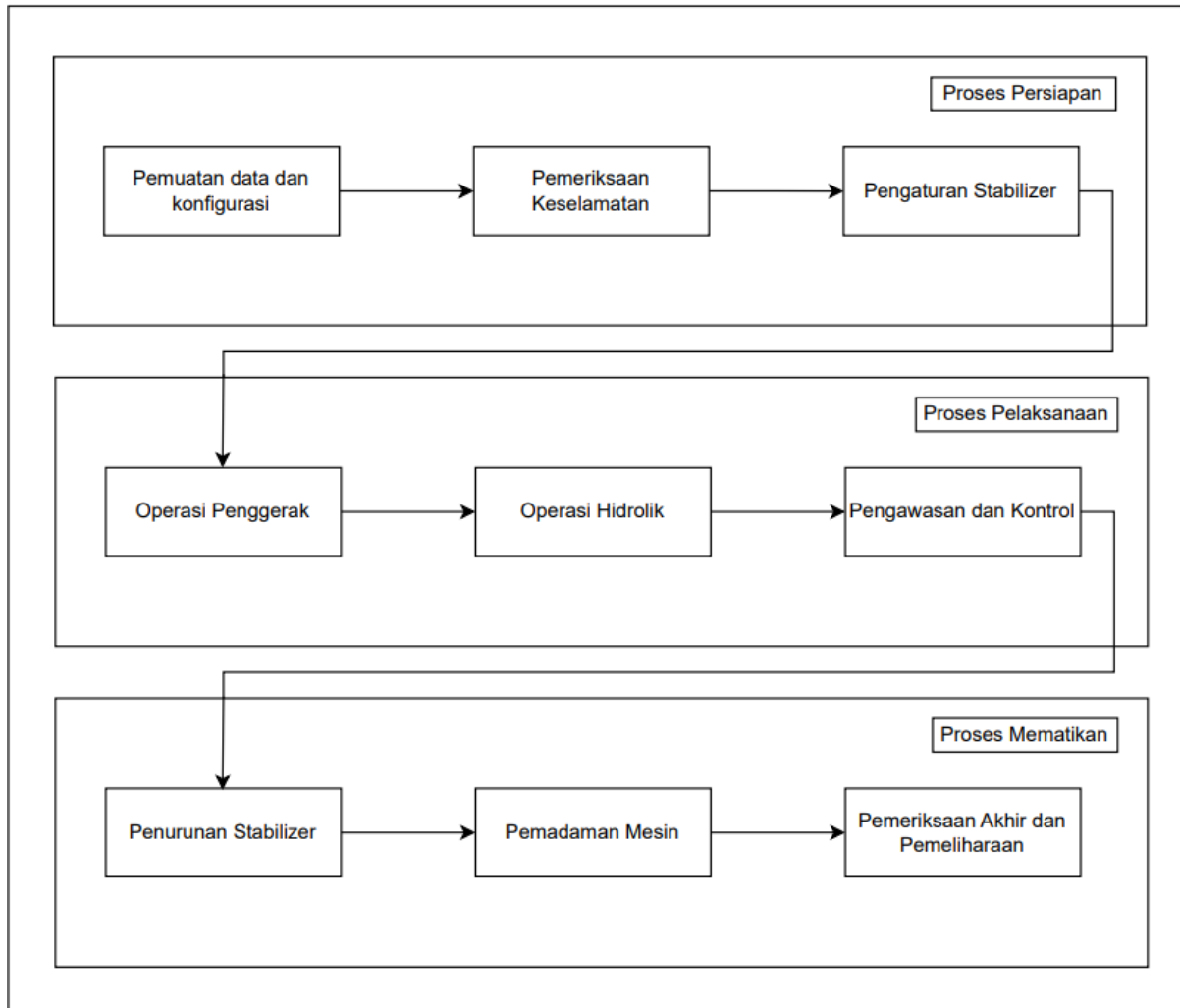
No	Komponen	Waktu Mulai Kerusakan	Waktu Selesai Kerusakan
101		21/06/2022 06:09	21/06/2022 07:48
102		21-05-2023 13:34	21-05-2023 15:18
103		13-10-2023 17:40	13-10-2023 19:37
104		02-11-2023 10:34	02-11-2023 12:30
105		27/12/2023 08:17	27/12/2023 09:27
106	<i>Load Moment Indicator</i>	22/03/2020 07:03	22/03/2020 08:24
107		17/11/2020 06:09	17/11/2020 07:47
108		11/01/2021 10:10	11/01/2021 14:00
109		29/03/2021 09:20	29/03/2021 12:15
110		11-04-2022 15:02	11-04-2022 17:20
111		18-06-2022 13:30	18-06-2022 16:30
112		20-06-2022 10:18	20-06-2022 12:21
113		30/01/2023 16:04	30/01/2023 18:34
114		21/05/2023 16:02	21/05/2023 18:09

4.3 Pengolahan Data Komponen Kritis dan Penentuan Tindakan Perawatan

Pengolahan data untuk menentukan komponen kritis dilakukan dengan teknik *RCM II*. Meliputi *FBD*, *FMEA*, *LTA*, dan *TS*.

4.3.1 *Functional Block Diagram*

FBD dapat membawa sebuah informasi lengkap perihal suatu sistem atas media yang dikaji sedari dimulainya pemakaian sampai pada akhir pemakaian mesinnya. Melalui yang dihasilkan atas informasi beserta kajian selanjutnya dipaparkan pada *FBD* ataupun kepanjangannya yakni "*Functional Block of Diagram*" dengan wujud diagramnya lebih sederhana serta menginterpretasikan fungsi atas suatu sistem yang berwujud mobile crane melalui susunan operasi. Diterangkan di sini *FBD* dari *mobile crane*:



Gambar 4.2 FBD dari Mobile Crane

a. Proses Persiapan:

1. Pemuatan Data dan Konfigurasi merupakan aktivitas input data operasional dan konfigurasi beban kerja serta parameter operasional.
2. Pemeriksaan Keselamatan merupakan aktivitas pemeriksaan fisik crane termasuk fungsi rem serta sistem penggerak dan verifikasi sistem hidrolik.
3. Pengaturan Stabilizer merupakan aktivitas pemilihan serta penempatan stabilizer dan pengaturan tinggi juga kestabilan.

b. Proses Pelaksanaan:

1. Operasi Penggerak merupakan aktivitas pengoperasian mesin serta melakukan pengaturan sistem penggerak dan pemantuan pengendalian kecepatan.

2. Operasi Hidrolik merupakan aktivitas pengoperasian sistem hidrolik pada boom dan pengendalian saat pengangkatan serta penurunan beban.
 3. Pengawasan dan Kontrol merupakan aktivitas pemantauan parameter operasional serta pengendalian operasi melalui panel kendali.
- c. Proses Mematikan
1. Penurunan Stabilizer merupakan aktivitas penarikan dan penyimpanan stabilizer serta pengaturan ulang keseimbangan.
 2. Pemadaman Mesin merupakan aktivitas proses pemadaman mesin crane dan verifikasi pemadaman semua sistem.
 3. Pemeriksaan Akhir dan Pemeliharaan merupakan aktivitas pemeriksaan pasca-operasi serta pemeliharaan rutin dan catatan kerusakan.

Penggunaan *Mobile Crane Kobelco RK450* dalam konstruksi dimulai dengan persiapan seperti pemuatan data operasional dan pengaturan stabilizer. Pada tahap pelaksanaan, *crane* mengangkat dan menempatkan material menggunakan sistem *hydraulic* yang dipantau melalui panel kendali. Setelah selesai, *crane* dimatikan dan diperiksa kembali. Sistem *hydraulic* rentan rusak karena tekanan tinggi saat mengangkat komponen berat, yang bisa menyebabkan penundaan proyek, biaya perbaikan tinggi, dan risiko keselamatan. Oleh karena itu, keandalan sistem *hydraulic* sangat penting untuk keberhasilan dan keselamatan operasi *crane*.

4.3.2 Failure Mod and Effect Analysis (FMEA)

Pendekatan *FMEA* digunakan untuk mengevaluasi mode dan efek kegagalan setiap komponen serta dampaknya terhadap keandalan sistem. *Expert* mengawasi operasi, dengan manajer konstruksi meninjau dan memperbarui hasil. Analisis ini berasal dari wawancara teknisi yang divalidasi oleh manajer konstruksi. Untuk menyatukan nilai *FMEA* dari dua *expert*, dilakukan pengumpulan nilai, penghitungan rata-rata, dan diskusi untuk mencapai konsensus. Maka penjelasan data *FMEA*:

Tabel 4.3 Penjelasan Data *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

No	Equipment	Function	Failure Mode	Effect of Failure	S	O	D	RPN
1	Boom	Lengan utama untuk	Keretakan, deformasi,	Penurunan kemampuan	1 0	4	3	120

No	Equipment	Function	Failure Mode	Effect of Failure	S	O	D	RPN
		mengangkat dan memindahkan beban	atau kegagalan sambungan	angkat, risikonya jatuh dan potensi kecelakaan serius				
2	<i>Jib</i>	Bagian tambahan dari boom untuk memperpanjang jangkauan angkat	Keretakan atau kegagalan sambungan	Penurunan jangkauan angkat, risiko ketidakstabilan, dan potensi kecelakaan	7	2	3	70
3	<i>Winch</i>	Perangkat penggulung kabel untuk menarik atau mengangkat beban	Kegagalan mekanis, kabel putus, atau kerusakan motor	Ketidakmampuan mengangkat atau menurunkan beban, risikonya jatuh dan penundaan operasi	8	4	3	96
4	<i>Hook Block</i>	Pengait untuk mengangkat beban	Kerusakan pengait, keausan, atau kegagalan pengaman	Risiko jatuhnya beban, potensi cedera pada personel, dan kerusakan material	8	3	4	96
5	<i>Counterweight</i>	Bobot tambahan untuk menyeimbangkan crane	Kegagalan pemasangan atau pergerakan tak terduga	Ketidakstabilan crane, risiko terbalik, dan potensi kecelakaan besar	10	1	5	50

No	Equipment	Function	Failure Mode	Effect of Failure	S	O	D	RPN
6	<i>Outriggers</i>	Penyangga untuk meningkatkan stabilitas crane	Penyangga untuk meningkatkan stabilitas crane	Penurunan stabilitas, risiko terbalik, dan potensi kerusakan crane dan lingkungan sekitar	9	3	4	108
7	<i>Operator Cabin</i>	Tempat kontrol bagi operator untuk mengoperasikan crane	Kerusakan kontrol, kegagalan sistem elektronik, atau kerusakan struktural	Ketidakmampuan operator untuk mengendalikan crane dengan aman, risiko kesalahan operasi, dan potensi kecelakaan	7	2	5	70
8	<i>Engine</i>	Menyediakan tenaga untuk mengoperasikan crane	Kegagalan mesin, kehabisan bahan bakar, atau masalah mekanis	Crane tidak bisa beroperasi, penundaan operasi, dan potensi kerusakan mesin lebih lanjut	9	2	4	72
9	<i>Hydraulic System</i>	Menggerakkan berbagai komponen crane menggunakan fluida hidrolik	Kebocoran fluida, kegagalan pompa, atau penyumbatan	Ketidakmampuan menggerakkan boom atau outriggers, risiko penurunan efisiensi operasi,	9	3	5	135

No	Equipment	Function	Failure Mode	Effect of Failure	S	O	D	RPN
				dan potensi kebakaran				
10	Chassis	Rangka dasar yang mendukung semua komponen crane	Kerusakan struktural atau korosi	Penurunan kekuatan struktural, risiko keruntuhan, dan potensi kecelakaan serius	8	2	5	80
11	Control Panel	Panel kontrol untuk mengoperasikan crane	Kegagalan elektronik, kerusakan tombol atau tuas	Ketidakmampuan operator untuk mengendalikan crane dengan baik, risiko kesalahan operasi, dan potensi kecelakaan	7	3	4	84
12	Load Moment Indicator	Sistem keamanan untuk memantau beban yang diangkat	Kegagalan sensor, kerusakan elektronik, atau kalibrasi yang salah	Risiko overloading, peningkatan risiko kecelakaan, dan potensi kerusakan crane	8	2	3	48

4.3.3 Logic Tree Analysis (LTA)

Logic Tree Analysis (LTA) dilakukan untuk mengidentifikasi tindakan pemeliharaan terbaik untuk setiap mode kegagalan. Expert mengawasi operasi dan melengkapi justifikasi, yang ditinjau oleh manajer konstruksi. Untuk menyatukan nilai LTA dari dua expert, dilakukan pengumpulan nilai, penghitungan rata-rata, dan diskusi untuk mencapai konsensus. Metode

median dan bobot penilaian diterapkan jika diperlukan. Validasi hasil dilakukan oleh manajer konstruksi untuk memastikan rekomendasi akurat. Penjelasan *Logic Tree Analysis (LTA)*:

Tabel 4.4 Penjelasan *Logic Tree Analysis (LTA)*

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis			Category
				Evidents	Safety	Outage	
1	<i>Boom</i>	Lengan utama untuk mengangkat dan memindahkan beban	Keretakan, deformasi, atau kegagalan sambungan	Y	Y	Y	A
2	<i>Jib</i>	Bagian tambahan dari boom untuk memperpanjang jangkauan angkat	Keretakan atau kegagalan sambungan	Y	Y	N	C
3	<i>Winch</i>	Perangkat penggulung kabel untuk menarik atau mengangkat beban	Kegagalan mekanis, kabel putus, atau kerusakan motor	Y	Y	Y	B
4	<i>Hook Block</i>	Pengait untuk mengangkat beban	Kerusakan pengait, keausan, atau kegagalan pengaman	Y	Y	Y	A
5	<i>Counterweight</i>	Bobot tambahan untuk menyeimbangkan crane	Kegagalan pemasangan atau pergerakan tak terduga	Y	Y	Y	B
6	<i>Outriggers</i>	Penyangga untuk meningkatkan stabilitas crane	Penyangga untuk meningkatkan	Y	Y	Y	B

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis			
				Evidents	Safety	Outage	Category
			stabilitas crane				
7	Operator Cabin	Tempat kontrol bagi operator untuk mengoperasikan crane	Kerusakan kontrol, kegagalan sistem elektronik, atau kerusakan struktural	N	Y	N	D
8	Engine	Menyediakan tenaga untuk mengoperasikan crane	Kegagalan mesin, kehabisan bahan bakar, atau masalah mekanis	Y	Y	Y	B
9	Hydraulic System	Menggerakkan berbagai komponen crane menggunakan fluida hidrolik	Kebocoran fluida, kegagalan pompa, atau penyumbatan	Y	Y	Y	B
10	Chassis	Rangka dasar yang mendukung semua komponen crane	Kerusakan struktural atau korosi	Y	Y	Y	B
11	Control Panel	Panel kontrol untuk mengoperasikan crane	Kegagalan elektronik, kerusakan tombol atau tuas	N	Y	N	D
12	Load Moment Indicator	Sistem keamanan untuk memantau	Kegagalan sensor, kerusakan	N	Y	Y	B

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis			
				Evidents	Safety	Outage	Category
		beban yang diangkat	elektronik, atau kalibrasi yang salah				

4.3.4 Task Selection Road Map (Pemilihan Tindakan)

TS yang disesuaikan dengan peta jalan menjadi dasar pemilihan tindakan untuk skenario kegagalan mobile crane Kobelco RK450. Expert mengawasi operasi dan melengkapi justifikasi, yang ditinjau oleh manajer konstruksi. Untuk menyatukan nilai Task Selection (TS) dari dua expert, dilakukan pengumpulan nilai, penghitungan rata-rata, dan diskusi untuk mencapai konsensus. Metode median dan bobot penilaian diterapkan jika diperlukan, dan hasilnya divalidasi oleh manajer konstruksi. Berdasarkan *task selection road map*, penjelasan mesin mobile Crane Kobelco RK450:

Tabel 4.5 Penjelasan Mesin Mobile Crane Kobeko RK450

No	equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis							Selection Task
				1	2	3	4	5	6	7	
1	Boom	Lengan utama untuk mengangkat dan memindahkan beban	Keretakan, deformasi, atau kegagalan sambungan	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD
2	Jib	Bagian tambahan dari boom untuk memperpanjang jangkauan angkat	Keretakan atau kegagalan sambungan	Y	Y	Y	Y	-	-	-	CD
3	Winch	Perangkat penggulung kabel untuk menarik atau mengangkat beban	Kegagalan mekanis, kabel putus, atau kerusakan motor	Y	Y	Y	Y	Y	-	-	TD

No	equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis							Selection Task
				1	2	3	4	5	6	7	
		menggunakan fluida hidrolik	pompa, atau penyumbatan								
10	Chassis	Rangka dasar yang mendukung semua komponen crane	Kerusakan struktural atau korosi	Y	Y	Y	Y	Y	-	-	TD
11	Control Panel	Panel kontrol untuk mengoperasikan crane	Kegagalan elektronik, kerusakan tombol atau tuas	Y	Y	Y	Y	-	-	-	CD
12	Load Moment Indicator	Sistem keamanan untuk memantau beban yang diangkat	Kegagalan sensor, kerusakan elektronik, atau kalibrasi yang salah	Y	Y	Y	Y	Y	-	-	TD

4.4 Pengolahan Data Penentuan Interval Pemeriksaan dan Penggantian Komponen Kritis

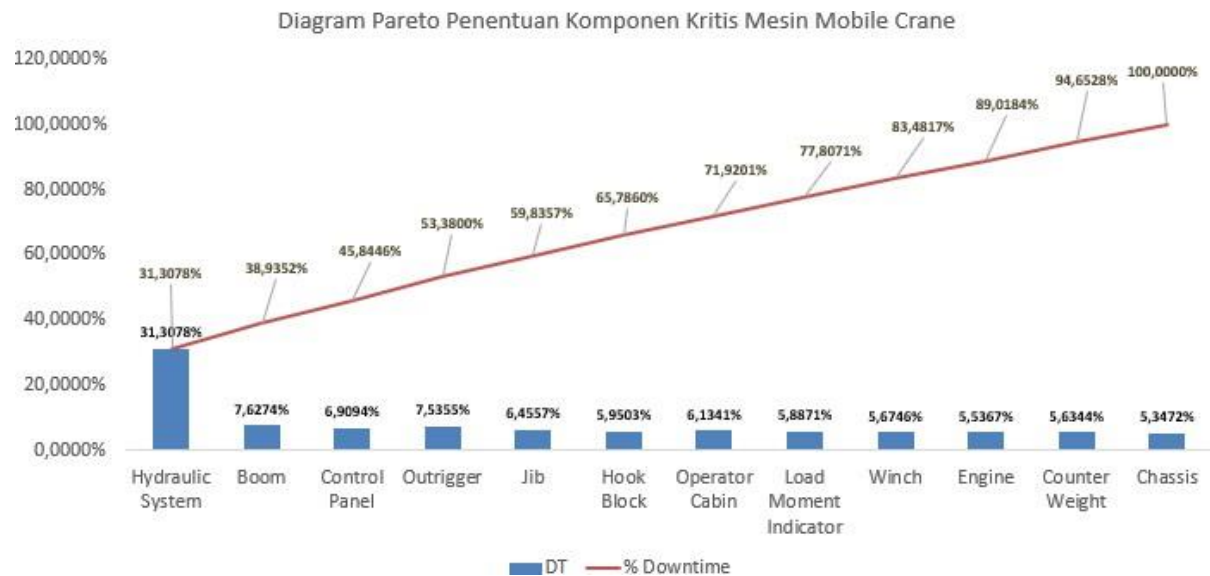
4.4.1 Penentuan Komponen Kritis

Pengujian berdasarkan data *downtime* komponen mesin *Mobile Crane Kobelco RK 450*:

Tabel 4.6 Data Komponen Mesin *Mobile Crane Kobelco RK450*

No	Komponen Mesin	Frekuensi Kerusakan	Downtime (menit)	% Downtime	% Downtime Kumulatif
1	Hydraulic System	18	5451	31,3078%	31,3078%
2	Boom	12	1328	7,6274%	38,9352%
3	Control Panel	11	1203	6,9094%	45,8446%
4	Outrigger	10	1312	7,5355%	53,3800%
5	Jib	9	1124	6,4557%	59,8357%
6	Hook Block	9	1036	5,9503%	65,7860%
7	Operator Cabin	9	1068	6,1341%	71,9201%
8	Load Moment Indicator	9	1025	5,8871%	77,8071%
9	Winch	8	988	5,6746%	83,4817%

No	Komponen Mesin	Frekuensi Kerusakan	Downtime (menit)	% Downtime	% Downtime Kumulatif
10	Engine	7	964	5,5367%	89,0184%
11	Counterweight	6	981	5,6344%	94,6528%
12	Chassis	6	931	5,3472%	100,0000%
Total		114	17411		



Gambar 4.3 Diagram Pareto Penentuan Komponen Kritis *Mobile Crane*

4.4.2 Penentuan Distribusi Antar Waktu Kerusakan (*Time to Failure*)

Setelah mengetahui komponen kritis dilakukan pencarian jarak antar kerusakan pada komponen Sistem Hidrolik:

Tabel 4.7 Penentuan Jarak antar Kerusakan

No	Mulai Downtime	Selesai Downtime	Ti
1	12/02/2020 10:00	12/02/2020 13:02	0
2	28/03/2020 07:00	28/03/2020 23:45	64438
3	05/06/2020 09:25	05/06/2020 14:28	98500
4	18/08/2021 08:30	18/08/2021 12:37	631802
5	16/09/2021 11:30	16/09/2021 16:30	41693
6	12/11/2021 10:30	12/11/2021 13:33	81720
7	02/12/2021 10:30	02/12/2021 12:35	28617
8	07/05/2022 07:30	07/05/2022 13:39	224335
9	18/06/2022 13:00	18/06/2022 15:07	60441
10	21/07/2022 13:15	21/07/2022 19:19	47408

No	Mulai Downtime	Selesai Downtime	Ti
11	20/08/2022 09:45	20/08/2022 15:44	42626
12	28/09/2022 06:00	28/09/2022 08:01	55576
13	10/10/2022 14:20	10/10/2022 20:23	17659
14	25/12/2022 08:30	25/12/2022 14:35	108727
15	02/04/2023 14:30	02/04/2023 16:37	141115
16	19/05/2023 09:15	19/05/2023 14:14	67238
17	28/07/2023 13:10	28/07/2023 17:15	100736
18	05/10/2023 11:00	05/10/2023 17:07	98985

Pengujian berikut dengan Teknik *LSCF* dimana adanya pencarian nilai *IOF* terbesar.

1. Distribusi Eksponensial

Kalkulasi Distribusi *Eksponensial*:

$$\begin{aligned}
 X_i &= T_i \\
 &= 17659 \\
 X_i^2 &= 17659^2 \\
 &= 311840281 \\
 F(t_i) &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \\
 &= \frac{(i-0,3)}{(17+0,4)} = 0,0402298: 9 \\
 Y_i &= \text{Ln} \left[\frac{1}{\{1-F(t_i)\}} \right] \\
 &= \text{Ln} \left[\frac{1}{\{1-0,040229885\}} \right] = 0,041061487 \\
 Y_i^2 &= 0,041061487^2 \\
 &= 0,001686046 \\
 X_i Y_i &= 17480 * 0,04106148 \\
 &= 725,1047954
 \end{aligned}$$

Tabel fungsi merupakan kalkulasi nilai *r* pada Distribusi *Eksponensial*:

$$\begin{aligned}
 r_{\text{eksponensial}} &= \frac{[n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] - [\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \\
 r_{\text{(index of fit)}} &= \frac{(17*(725,1047954)) - (17659*(0,041061487))}{\sqrt{((17*311840281) - 17659^2) * ((17*0,001686046) - (0,041061487)^2)}} \\
 &= 0,874680878
 \end{aligned}$$

Tabel 4.8 Perhitungan Nilai r

No	ti	Xi = ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	17659	17659	311840281	0,040229885	0,041061487	0,001686046	725,1047954
2	28617	28617	818932689	0,097701149	0,102809494	0,010569792	2942,099286
3	41693	41693	1738306249	0,155172414	0,168622712	0,028433619	7030,38675
4	42626	42626	1816975876	0,212643678	0,239074373	0,057156556	10190,78424
5	47408	47408	2247518464	0,270114943	0,314868213	0,099141991	14927,27223
6	55576	55576	3088691776	0,327586207	0,396881364	0,157514817	22057,07871
7	60441	60441	3653114481	0,385057471	0,486226465	0,236416175	29388,01376
8	64438	64438	4152255844	0,442528736	0,584344321	0,341458285	37653,97934
9	67238	67238	4520948644	0,5	0,693147181	0,480453014	46605,83013
10	81720	81720	6678158400	0,557471264	0,815249877	0,664632363	66622,21998
11	98500	98500	9702250000	0,614942529	0,95436268	0,910808125	94004,72396
12	98985	98985	9798030225	0,672413793	1,116004031	1,245464998	110467,659
13	100736	100736	10147741696	0,729885057	1,308907698	1,713239361	131854,1258
14	108727	108727	11821560529	0,787356322	1,548137387	2,396729368	168324,3336
15	141115	141115	19913443225	0,844827586	1,863218433	3,47158293	262928,0692
16	224335	224335	50326192225	0,902298851	2,325841955	5,4095408	521767,755
17	631802	631802	3,99174E+11	0,959770115	3,21314515	10,32430176	2030071,532
TOTAL	1911616	1911616	5,3991E+11	8,5	16,17190282	27,54913	3557560,968

2. Distribusi Normal

Kalkulasi Distribusi Normal:

$$\begin{aligned}
 X_i &= T_i \\
 &= 17659 \\
 X_i^2 &= 17659^2 \\
 &= 311840281 \\
 F(t_i) &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \\
 &= \frac{(i-0,3)}{(17+0,4)} = 0,040229889 \\
 Y_i &= z_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] \\
 &= z_i = \Phi^{-1} [0,040229885] = -1,748024587 \\
 Y_i^2 &= -1,748024587^2 \\
 &= 3,05558955 \\
 X_i Y_i &= 17480 * -1,748024587 \\
 &= -30868,3617
 \end{aligned}$$

Tabel fungsi merupakan kalkulasi nilai r pada Distribusi Normal:

$$r \text{ normal} = \frac{[n \sum_{i=1}^n XiYi - (\sum_{i=1}^n Xi) (\sum_{i=1}^n Yi)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2] - [\sum_{i=1}^n yi^2 - (\sum_{i=1}^n yi)^2]}}$$

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(17*(-311840281)) - (17659*(-1,748024587))}{\sqrt{((17*311840281) - 17659^2) * ((17*3,055589955) - (-1,748024587)^2)}}$$

$$= 0,720921629$$

Tabel 4.9 Perhitungan Distribusi Normal

No	ti	Xi = ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	17659	17659	311840281	0,040229885	-1,748024587	3,055589955	-30868,36617
2	28617	28617	818932689	0,097701149	-1,294762132	1,676408979	-37052,20794
3	41693	41693	1738306249	0,155172414	-1,014498746	1,029207705	-42297,49621
4	42626	42626	1816975876	0,212643678	-0,797281854	0,635658355	-33984,93633
5	47408	47408	2247518464	0,270114943	-0,612465397	0,375113863	-29035,75956
6	55576	55576	3088691776	0,327586207	-0,446588205	0,199441024	-24819,58605
7	60441	60441	3653114481	0,385057471	-0,29222455	0,085395187	-17662,34401
8	64438	64438	4152255844	0,442528736	-0,144561025	0,02089789	-9315,223344
9	67238	67238	4520948644	0,5	0	0	0
10	81720	81720	6678158400	0,557471264	0,144561025	0,02089789	11813,52698
11	98500	98500	9702250000	0,614942529	0,29222455	0,085395187	28784,11814
12	98985	98985	9798030225	0,672413793	0,446588205	0,199441024	44205,53342
13	100736	100736	10147741696	0,729885057	0,612465397	0,375113863	61697,31427
14	108727	108727	11821560529	0,787356322	0,797281854	0,635658355	86686,06419
15	141115	141115	19913443225	0,844827586	1,014498746	1,029207705	143160,9905
16	224335	224335	50326192225	0,902298851	1,294762132	1,676408979	290460,4629
17	631802	631802	3,99174E+11	0,959770115	1,748024587	3,055589955	1104405,43
TOTAL	1911616	1911616	5,3991E+11	8,5	-3,33067E-15	14,15542592	1546177,521

3. Distribusi Log Normal

Kalkulasi Distribusi Log Normal:

$$Xi = \ln Ti$$

$$= \ln (17659) = 9,779000847$$

$$Xi2 = 9,779000847^2$$

$$= 95,62887757$$

$$F(ti) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)}$$

$$= \frac{(t-0,3)}{(17+0,4)} = 0,040229885$$

$$Y_i = z_i = \Phi^{-1} [F(t_i)]$$

$$= z_i = \Phi^{-1} [0,040229885] = -1,748024587$$

$$Y_i^2 = -1,748024587^2$$

$$= 3,05558955$$

$$X_i Y_i = 9,77900047 * -1,748024587$$

$$= -17,09393391$$

Tabel fungsi merupakan kalkulasi nilai r pada Distribusi Log Normal:

$$r \text{ Log Normal} = \frac{[n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] - [\sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(17 * -17,09393391) - (9,779000847 * (-1,748024587))}{\sqrt{((17 * 95,62885757) - (9,779000847)^2) * ((17 * 3,055589955) - (-1,748024587)^2)}}$$

$$= 0,964027292$$

Tabel 4.10 Perhitungan Distribusi Log Normal

No	ti	Xi = ln ti	Xi ²	F(ti)	Yi	Yi ²	XiYi
1	17659	9,779000847	95,6288576	0,040229885	-1,748024587	3,055589955	-17,09393391
2	28617	10,26175623	105,303641	0,097701149	-1,294762132	1,676408979	-13,28653337
3	41693	10,63808853	113,168928	0,155172414	-1,014498746	1,029207705	-10,79232747
4	42626	10,66021967	113,640284	0,212643678	-0,797281854	0,635658355	-8,499199711
5	47408	10,76654627	115,918519	0,270114943	-0,612465397	0,375113863	-6,594137039
6	55576	10,92550673	119,366697	0,327586207	-0,446588205	0,199441024	-4,879202435
7	60441	11,00942296	121,207394	0,385057471	-0,29222455	0,085395187	-3,217223667
8	64438	11,0734588	122,62149	0,442528736	-0,144561025	0,02089789	-1,600790557
9	67238	11,11599384	123,565319	0,5	0	0	0
10	81720	11,31105405	127,939944	0,557471264	0,144561025	0,02089789	1,63513757
11	98500	11,49781183	132,199677	0,614942529	0,29222455	0,085395187	3,359942883
12	98985	11,5027236	132,31265	0,672413793	0,446588205	0,199441024	5,136980681
13	100736	11,52025851	132,716356	0,729885057	0,612465397	0,375113863	7,055759707
14	108727	11,59659543	134,481026	0,787356322	0,797281854	0,635658355	9,245755112
15	141115	11,85733044	140,596285	0,844827586	1,014498746	1,029207705	12,02924686
16	224335	12,32089575	151,804472	0,902298851	1,294762132	1,676408979	15,95262925
17	631802	13,35633133	178,391587	0,959770115	1,748024587	3,055589955	23,34719556
TOTAL	1911616	191,1929948	2160,86312	8,5	-3,33067E-15	14,15542592	11,79929946

4. Distribusi Weibull

Kalkulasi Distribusi Weibull:

$$\begin{aligned}
X_i &= \ln T_i \\
&= \ln(17659) = 9,779000847 \\
X_i^2 &= 9,779000847^2 \\
&= 95,62885757 \\
F(t_i) &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \\
&= \frac{(1-0,3)}{(17+0,4)} = 0,040229885 \\
Y_i &= \ln \left| \ln \left[\frac{1}{1-F(t_i)} \right] \right| \\
&= \ln \left| \ln \left[\frac{1}{1-0,040229885} \right] \right| = -3,192684658 \\
Y_i^2 &= -3,192684658^2 \\
&= 10,19323532 \\
X_i Y_i &= 9,779000847 * -3,192684658 \\
&= -31,22126597
\end{aligned}$$

Tabel fungsi merupakan kalkulasi nilai r pada Distribusi *Weibull*:

$$\begin{aligned}
r_{Weibull} &= \frac{[n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] - [\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \\
r_{(index\ of\ fit)} &= \frac{(17 * -31,22126597) - (9,779000847 * (-3,192684658))}{\sqrt{((17 * 95,62885757) - (9,779000847)^2) * ((17 * 10,19323532) - (-3,192684658)^2)}} \\
&= 0,926758907
\end{aligned}$$

Tabel 4.11 Perhitungan Distribusi *Weibull*

No	ti	Xi = ln ti	Xi ²	F(ti)	Yi	Yi ²	XiYi
1	17659	9,779000847	95,62885757	0,040229885	-3,192684658	10,19323532	-31,22126597
2	28617	10,26175623	105,3036408	0,097701149	-2,274877577	5,175067992	-23,34423914
3	41693	10,63808853	113,1689275	0,155172414	-1,780091531	3,168725857	-18,93677129
4	42626	10,66021967	113,6402835	0,212643678	-1,43098059	2,047705448	-15,25456744
5	47408	10,76654627	115,9185186	0,270114943	-1,1556011	1,335413902	-12,44183271
6	55576	10,92550673	119,3666974	0,327586207	-0,924117873	0,853993843	-10,09645604
7	60441	11,00942296	121,2073939	0,385057471	-0,721080787	0,519957501	-7,938683371
8	64438	11,0734588	122,6214898	0,442528736	-0,53726488	0,288653551	-5,949380509

9	67238	11,11599384	123,5653191	0,5	-0,366512921	0,134331721	-4,074155369
10	81720	11,31105405	127,9399437	0,557471264	-0,204260615	0,041722399	-2,310402853
11	98500	11,49781183	132,1996768	0,614942529	-0,046711512	0,002181965	-0,537080178
12	98985	11,5027236	132,3126503	0,672413793	0,109754476	0,012046045	1,262475405
13	100736	11,52025851	132,7163562	0,729885057	0,269192971	0,072464855	3,101172612
14	108727	11,59659543	134,4810256	0,787356322	0,437052522	0,191014907	5,068321283
15	141115	11,85733044	140,5962852	0,844827586	0,622305333	0,387263927	7,378879966
16	224335	12,32089575	151,8044721	0,902298851	0,844082105	0,7124746	10,39984762
17	631802	13,35633133	178,3915867	0,959770115	1,167250255	1,362473158	15,59018115
TOTAL	1911616	191,1929948	2160,863125	8,5	-9,184546381	26,498727	-89,30395684

Tabel fungsi merupakan hasil dari *IOF* pada 4 distribusi yaitu Distribusi *Eksponensial*, Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, dan Distribusi *Weibull*:

Tabel 4.12 *Index of Fit (IOF)*

No	Distribusi	<i>Index Of Fit</i>
1	<i>Eksponensial</i>	0,874680878
2	Normal	0,720921629
3	Log Normal	0,964027292
4	<i>Weibull</i>	0,926758907
No	Distribusi	<i>Index Of Fit</i>
1	Log Normal	96,40%
2	<i>Eksponensial</i>	87,47%
3	<i>Weibull</i>	92,68%
4	Normal	72,09%

Dari table di atas maka dapat ditentukan nilai terbesar dari hasil *IOF* yaitu pada Distribusi Log Normal dengan nilai *IOF* sebesar 96,37% sebagai distribusi terpilih.

4.4.3 Penentuan Distribusi Data Antar Waktu Perbaikan (*Time To Repair*)

Setelah mengetahui jarak antar kerusakan dilakukan pencarian jarak antar perbaikan pada komponen Sistem Hidrolik:

Tabel 4.13 Penentuan Jarak antar Perbaikan

No	Mulai <i>Downtime</i>	Selesai <i>Downtime</i>	Dti
1	12/02/2020 10:00	12/02/2020 13:02	182
2	28/03/2020 07:00	28/03/2020 23:45	1005
3	05/06/2020 09:25	05/06/2020 14:28	303

4	18/08/2021 08:30	18/08/2021 12:37	247
5	16/09/2021 11:30	16/09/2021 16:30	300
6	12/11/2021 10:30	12/11/2021 13:33	183
7	02/12/2021 10:30	02/12/2021 12:35	125
8	07/05/2022 07:30	07/05/2022 13:39	369
9	18/06/2022 13:00	18/06/2022 15:07	127
10	21/07/2022 13:15	21/07/2022 19:19	364
11	20/08/2022 09:45	20/08/2022 15:44	359
12	28/09/2022 06:00	28/09/2022 08:01	121
13	10/10/2022 14:20	10/10/2022 20:23	363
14	25/12/2022 08:30	25/12/2022 14:35	365
15	02/04/2023 14:30	02/04/2023 16:37	127
16	19/05/2023 09:15	19/05/2023 14:14	299
17	28/07/2023 13:10	28/07/2023 17:15	245
18	05/10/2023 11:00	05/10/2023 17:07	367

Pengujian berikut dengan Teknik *LSCF* Dimana adanya pencarian nilai *IOF* terbesar.

1. Distribusi *Ekspensial*

Kalkulasi Distribusi *Ekspensial*:

$$\begin{aligned}
 X_i &= D_{ti} \\
 &= 121 \\
 X_i^2 &= 121^2 \\
 &= 14641 \\
 F(D_{ti}) &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \\
 &= \frac{(i-0,3)}{(18+0,4)} = 0,0380434 \cdot 8 \\
 Y_i &= \text{Ln} \left[\frac{1}{\{1-F(t_i)\}} \right] \\
 &= \text{Ln} \left[\frac{1}{\{1-0,038043478\}} \right] = 0,038786025 \\
 Y_i^2 &= 0,038786025^2 \\
 &= 0,001504356 \\
 X_i Y_i &= 121 * 0,038786025 \\
 &= 4,693109029
 \end{aligned}$$

Tabel fungsi merupakan kalkulasi nilai *r* pada Distribusi *Ekspensial*:

$$r_{\text{ekspensial}} = \frac{[n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] [n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}}$$

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(18*(4,693109029)) - (121*(0,038043478))}{\sqrt{((18*14641) - 121^2)*((18*0,001504356) - (0,038786025)^2)}}$$

$$= 0,892278969$$

Tabel 4.14 Perhitungan *Eksponensial*

No	d _{ti}	X _i = d _{ti}	X _i ²	F(d _{ti})	Y _i	Y _i ²	X _i Y _i
1	121	121	14641	0,038043478	0,038786025	0,001504356	4,693109029
2	125	125	15625	0,092391304	0,096941945	0,009397741	12,11774315
3	127	127	16129	0,14673913	0,158689952	0,025182501	20,15362394
4	127	127	16129	0,201086957	0,224503171	0,050401674	28,5119027
5	182	182	33124	0,255434783	0,294954832	0,086998353	53,68177939
6	183	183	33489	0,309782609	0,370748671	0,137454577	67,84700682
7	245	245	60025	0,364130435	0,452761823	0,204993268	110,9266466
8	247	247	61009	0,418478261	0,542106923	0,293879916	133,90041
9	299	299	89401	0,472826087	0,640224779	0,409887768	191,427209
10	300	300	90000	0,527173913	0,749027639	0,561042404	224,7082917
11	303	303	91809	0,581521739	0,871130336	0,758868062	263,9524917
12	359	359	128881	0,635869565	1,010243138	1,020591198	362,6772866
13	363	363	131769	0,690217391	1,17188449	1,373313257	425,3940698
14	364	364	132496	0,744565217	1,364788156	1,86264671	496,7828887
15	365	365	133225	0,798913043	1,604017845	2,572873247	585,4665134
16	367	367	134689	0,85326087	1,919098892	3,682940556	704,3092932
17	369	369	136161	0,907608696	2,381722414	5,672601655	878,8555706
18	1005	1005	1010025	0,961956522	3,269025609	10,68652843	3285,370737
TOTAL	5451	5451	2328627	9	17,16065664	29,41110567	7850,776573

2. Distribusi Normal

Kalkulasi Distribusi Normal:

$$X_i = D_{ti}$$

$$= 121$$

$$X_i^2 = 121^2$$

$$= 14641$$

$$F(D_{ti}) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)}$$

$$= \frac{(i-0,3)}{(18+0,4)} = 0,038043478$$

$$Y_i = z_i = \Phi^{-1} [F(t_i)]$$

$$= z_i = \Phi^{-1} [0,038043478] = -1,773856096$$

$$Y_i^2 = -1,773856096^2$$

$$= 3,146. 65448$$

$$XiYi = 121 * -1,773856096$$

$$= -214,6365876$$

Tabel fungsi merupakan kalkulasi nilai r pada Distribusi Normal:

$$r \text{ normal} = \frac{[n \sum_{i=1}^n XiYi - (\sum_{i=1}^n Xi) (\sum_{i=1}^n Yi)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2] - [\sum_{i=1}^n yi^2 - (\sum_{i=1}^n yi)^2]}}$$

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(18 * (-214,6365876)) - (121 * (-1,773856096))}{\sqrt{((18 * 14641) - 121^2) * ((18 * 3,146565448) - (-1,773856096)^2)}}$$

$$= 0,626534346$$

Tabel 4.15 Perhitungan Distribusi Normal

No	dti	Xi = dti	Xi2	F(dti)	Yi	Yi2	XiYi
1	121	121	14641	0,038043478	-1,773856096	3,146565448	-214,6365876
2	125	125	15625	0,092391304	-1,326172371	1,758733158	-165,7715464
3	127	127	16129	0,14673913	-1,050521827	1,10359611	-133,4162721
4	127	127	16129	0,201086957	-0,837745038	0,701816748	-106,3936198
5	182	182	33124	0,255434783	-0,657484296	0,4322856	-119,6621419
6	183	183	33489	0,309782609	-0,496466641	0,246479126	-90,85339537
7	245	245	60025	0,364130435	-0,34743989	0,120714477	-85,1227731
8	247	247	61009	0,418478261	-0,205787992	0,042348697	-50,82963393
9	299	299	89401	0,472826087	-0,068167656	0,004646829	-20,38212911
10	300	300	90000	0,527173913	0,068167656	0,004646829	20,45029677
11	303	303	91809	0,581521739	0,205787992	0,042348697	62,35376146
12	359	359	128881	0,635869565	0,34743989	0,120714477	124,7309206
13	363	363	131769	0,690217391	0,496466641	0,246479126	180,2173908
14	364	364	132496	0,744565217	0,657484296	0,4322856	239,3242838
15	365	365	133225	0,798913043	0,837745038	0,701816748	305,7769388
16	367	367	134689	0,85326087	1,050521827	1,10359611	385,5415107
17	369	369	136161	0,907608696	1,326172371	1,758733158	489,3576049
18	1005	1005	1010025	0,961956522	1,773856096	3,146565448	1782,725376
TO							
TA	5451	5451	2328627	9	0	15,11437239	2603,409985
L							

3. Distribusi Log Normal

Kalkulasi Distribusi Log Normal:

$$Xi = \text{Ln Dti}$$

$$= \ln (121) = 4,795790546$$

$$\begin{aligned}
Xi2 &= 4,795790 \cdot 46^2 \\
&= 22,99960 \cdot 96 \\
F(Dti) &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \\
&= \frac{(i-0,3)}{(18+0,4)} = 0,038043478 \\
Yi &= zi = \Phi^{-1} [F(ti)] \\
&= zi = \Phi^{-1} [0,038043478] = -1,773856096 \\
Yi2 &= -1,773856096^2 \\
&= 3,146565448 \\
XiYi &= 4,795790 \cdot 46 * -1,773856096 \\
&= -8,507042293
\end{aligned}$$

Tabel fungsi merupakan kalkulasi nilai r pada Distribusi Log Normal:

$$\begin{aligned}
r \text{ Log Normal} &= \frac{[n \sum_{i=1}^n XiYi - (\sum_{i=1}^n Xi) (\sum_{i=1}^n Yi)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2] - [\sum_{i=1}^n yi^2 - (\sum_{i=1}^n yi)^2]}} \\
r \text{ (index of fit)} &= \frac{(18 * -8,507042293) - (4,795790546 * (-1,773856096))}{\sqrt{((18 * 22,99960696) - (4,795790546)^2) * ((18 * 3,146565448) - (-1,773856096)^2)}} \\
&= 0,940511223
\end{aligned}$$

Tabel 4.16 Perhitungan Distribusi Log Normal

No	dti	Xi = ln dti	Xi2	F(dti)	Yi	Yi2	XiYi
1	121	4,795790546	22,99960696	0,038043478	-1,773856096	3,146565448	-8,507042293
2	125	4,828313737	23,31261355	0,092391304	-1,326172371	1,758733158	-6,403176277
3	127	4,844187087	23,46614853	0,14673913	-1,050521827	1,10359611	-5,08892427
4	127	4,844187087	23,46614853	0,201086957	-0,837745038	0,701816748	-4,058193694
5	182	5,204006687	27,0816856	0,255434783	-0,657484296	0,4322856	-3,421552674
6	183	5,209486153	27,13874598	0,309782609	-0,496466641	0,246479126	-2,586336094
7	245	5,501258211	30,2638419	0,364130435	-0,34743989	0,120714477	-1,911356549
8	247	5,509388337	30,35335984	0,418478261	-0,205787992	0,042348697	-1,133765961
9	299	5,700443573	32,49505693	0,472826087	-0,068167656	0,004646829	-0,388585876
10	300	5,703782475	32,53313452	0,527173913	0,068167656	0,004646829	0,388813481
11	303	5,713732806	32,64674257	0,581521739	0,205787992	0,042348697	1,175817599
12	359	5,883322388	34,61348233	0,635869565	0,34743989	0,120714477	2,044100885
13	363	5,894402834	34,74398477	0,690217391	0,496466641	0,246479126	2,926374378
14	364	5,897153868	34,77642374	0,744565217	0,657484296	0,4322856	3,87728606
15	365	5,899897354	34,80878878	0,798913043	0,837745038	0,701816748	4,942609731
16	367	5,905361848	34,87329856	0,85326087	1,050521827	1,10359611	6,20371152
17	369	5,910796644	34,93751697	0,907608696	1,326172371	1,758733158	7,8387352

No	dti	Xi = ln dti	Xi2	F(dti)	Yi	Yi2	XiYi
18	1005	6,912742821	47,7860133	0,961956522	1,773856096	3,146565448	12,26221099
TOTAL	5451	100,1582545	562,2965934	9	0	15,11437239	8,160726157

4. Distribusi Weibull

Kalkulasi Distribusi Weibull:

$$\begin{aligned}
 X_i &= \ln D_{ti} \\
 &= \ln (121) = 4,795790546 \\
 X_i^2 &= 4,795790546^2 \\
 &= 22,99960696 \\
 F(D_{ti}) &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \\
 &= \frac{(18-0,3)}{(18+0,4)} = 0,038043478 \\
 Y_i &= \ln \left| \ln \left[\frac{1}{1-F(t_i)} \right] \right| \\
 &= \ln \left| \ln \left[\frac{1}{1-0,038043478} \right] \right| = -3,249695277 \\
 Y_i^2 &= -3,249695277^2 \\
 &= 10,56051939 \\
 X_i Y_i &= 4,795790546 * -3,249695277 \\
 &= -15,58485788
 \end{aligned}$$

Tabel fungsi merupakan kalkulasi nilai r pada Distribusi Weibull:

$$\begin{aligned}
 r \text{ Weibull} &= \frac{[n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] - [\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \\
 r \text{ (index of fit)} &= \frac{(18 * -15,58485788) - (4,795790546 * (-3,249695277))}{\sqrt{((18 * 22,99960696) - (4,795790546^2)) * ((18 * 10,56051939) - (-3,249695277^2))}} \\
 &= 0,915407056
 \end{aligned}$$

Tabel 4.17 Perhitungan Distribusi Weibull

No	dti	Xi = ln dti	Xi2	F(dti)	Yi	Yi2	XiYi
1	80	4,382026635	19,20215743	0,038043478	-3,249695277	10,56051939	-14,24025126
2	120	4,787491743	22,92007719	0,092391304	-2,333642983	5,445889571	-11,17229651
3	120	4,787491743	22,92007719	0,14673913	-1,840802966	3,388555561	-8,812829001
4	130	4,86753445	23,69289163	0,201086957	-1,493865448	2,231633977	-7,271441532
5	165	5,105945474	26,07067918	0,255434783	-1,220933047	1,490677505	-6,234017565
6	170	5,135798437	26,37642559	0,309782609	-0,992230882	0,984522124	-5,095897814

7	190	5,247024072	27,53126161	0,364130435	-0,792389069	0,627880437	-4,157684521
8	210	5,347107531	28,59155895	0,418478261	-0,612292022	0,37490152	-3,273991281
9	210	5,347107531	28,59155895	0,472826087	-0,445935947	0,198858869	-2,38446746
10	225	5,416100402	29,33414357	0,527173913	-0,288979395	0,083509091	-1,565141418
11	240	5,480638923	30,03740301	0,581521739	-0,137963674	0,019033975	-0,756129082
12	240	5,480638923	30,03740301	0,635869565	0,010191033	0,000103857	0,055853371
13	242	5,488937726	30,12843736	0,690217391	0,158613128	0,025158124	0,870617583
14	255	5,541263545	30,70560168	0,744565217	0,310999219	0,096720514	1,723328637
15	295	5,686975356	32,3416887	0,798913043	0,472511635	0,223267245	2,687162022
16	395	5,978885765	35,74707499	0,85326087	0,651855749	0,424915917	3,897371056
17	4470	8,405143688	70,64644041	0,907608696	0,867823929	0,753118372	7,29418482
18	7425	8,912607964	79,43458071	0,961956522	1,184491961	1,403021207	10,55691249
TOTAL	15182	101,3987199	594,3094611	9	-9,752244056	28,33228726	-37,87871746

Tabel fungsi merupakan hasil dari *IOF* pada 4 distribusi yaitu Distribusi *Eksponensial*, Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, dan Distribusi *Weibull*:

Tabel 4.18 Hasil dari *Index of Fit (IOF)*

No	Distribusi	<i>Index Of Fit</i>
1	<i>Eksponensial</i>	0,892278969
2	Normal	0,813336562
3	Log Normal	0,940511223
4	<i>Weibull</i>	0,915407056
No	Distribusi	<i>Index Of Fit</i>
1	Log Normal	94,05%
2	<i>Eksponensial</i>	89,23%
3	<i>Weibull</i>	91,54%
4	Normal	81,33%

Dari tabel di atas maka dapat ditentukan nilai terbesar dari hasil *IOF* yaitu pada Distribusi Log Normal dengan nilai *IOF* sebesar 94,05% sebagai distribusi terpilih.

4.4.4 Uji *Goodnes of Fit* Pada Distribusi Data Waktu Kerusakan (*Time To Failure*)

Uji *Goodness of Fit* atau uji kesesuaian, digunakan untuk mengevaluasi hipotesis mengenai distribusi yang dipilih. Dalam kasus ini, distribusi Log Normal diuji terhadap kerusakan data, mengikuti proses pemilihan awal. Uji *Kolmogorov-Smirnov* digunakan untuk melakukan uji Kesesuaian pada distribusi data waktu kerusakan.

Tabel 4.19 Uji *Goodness of Fit* pada Distribusi Data Waktu Kerusakan

No	ln(ti)	[ln (ti) - xbar ln (ti)] ²	Zti	Fti	D1	D2
1	9,779000847	2,153984509	-1,860117271	0,031434468	0,03143447	0,02738906
2	10,26175623	0,970009354	-1,248265589	0,105966906	0,04714338	0,01168015
3	10,63808853	0,370343115	-0,77129617	0,220265701	0,10261864	-0,04379511
4	10,66021967	0,34389672	-0,74324681	0,228666134	0,05219555	0,00662798
5	10,76654627	0,230496475	-0,608486829	0,27143232	0,0361382	0,02268533
6	10,92550673	0,103130914	-0,407017864	0,341997434	0,04787979	0,01094374
7	11,00942296	0,056275128	-0,300661128	0,381836457	0,02889528	0,02992825
8	11,0734588	0,029994068	-0,21950111	0,413129858	0,00136515	0,05745838
9	11,11599384	0,017070183	-0,165591534	0,434239205	-0,036349	0,09517256
10	11,31105405	0,0041483	0,081630808	0,532529849	0,00311808	0,05570545
11	11,49781183	0,063083894	0,318330523	0,624882883	0,03664759	0,02217594
12	11,5027236	0,065575352	0,324555784	0,627241352	-0,0198175	0,078641
13	11,52025851	0,074863394	0,346779801	0,635621624	-0,0702607	0,12908426
14	11,59659543	0,122464077	0,443530402	0,671308933	-0,0933969	0,15222048
15	11,85733044	0,372934563	0,77399001	0,78053165	-0,0429978	0,10182129
16	12,32089575	1,154010903	1,3615199	0,913325275	0,03097233	0,0278512
17	13,35633133	4,45076902	2,673847078	0,996250668	0,0550742	0,00374933
TOTAL	191,1929948	10,58304997		Dn Max	0,10261864	0,15222048

Dari tabel di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Nilai Dhitung ditetapkan sebagai yang terbesar antara D1 dan D2, sehingga menghasilkan Dhitung = 0,152220479

Hipotesis untuk Uji *Kolmogorov-Smirnov* adalah:

H0 = Data kegagalan waktu mengikuti distribusi Log Normal

H1 = Data kegagaln waktu tidak mengikuti distribusi Log Normal

Dengan tingkat signifikansi (α) sebesar 0,05, nilai kritis (Dtabel) dari tabel D *Kolmogorov-Smirnov* adalah 0,318.

Aturan keputusan: Jika $D_n < D_{crit}$, maka H0 diterima. Dalam hal ini, karena $D_n = 0,152220479$ lebih kecil dari $D_{crit} = 0,318$, maka kita menerima H0.

4.4.5 Uji *Goodness of Fit* Pada Distribusi Data Waktu Perbaikan (*Time To Repair*)

Uji *Goodness of Fit* atau uji kesesuaian, digunakan untuk mengevaluasi hipotesis mengenai distribusi yang dipilih. Dalam kasus ini, distribusi Log Normal diuji terhadap perbaikan data, mengikuti proses pemilihan awal. Uji *Kolmogorov-Smirnov* digunakan untuk melakukan uji Kesesuaian pada distribusi data waktu perbaikan.

Tabel 4.20 Uji *Goodness of Fit* pada Distribusi Data Waktu Perbaikan

No	ln(ti)	[ln (ti) - xbar ln (ti)] ²	Zti	Fti	D1	D2
1	4,795790546	0,590679746	-1,46097414	0,072011269	0,07201127	-0,01645571
2	4,828313737	0,541745655	-1,399149777	0,080884037	0,02532848	0,03022707
3	4,844187087	0,518630977	-1,368975626	0,085503447	-0,0256077	0,08116322
4	4,844187087	0,518630977	-1,368975626	0,085503447	-0,0811632	0,13671878
5	5,204006687	0,12984548	-0,684983179	0,246677268	0,02445505	0,03110051
6	5,209486153	0,125926554	-0,674567089	0,249975424	-0,0278024	0,08335791
7	5,501258211	0,003980255	-0,119928366	0,452269947	0,11893661	-0,06338106
8	5,509388337	0,003020506	-0,104473552	0,458396778	0,06950789	-0,01395233
9	5,700443573	0,018522149	0,258709384	0,602070261	0,15762582	-0,10207026
10	5,703782475	0,019442121	0,265056407	0,604516996	0,104517	-0,04896144
11	5,713732806	0,022315979	0,283971305	0,611783814	0,05622826	-0,0006727
12	5,883322388	0,101744999	0,606349502	0,727858653	0,11674754	-0,06119199
13	5,894402834	0,108936544	0,627412671	0,734805618	0,06813895	-0,0125834
14	5,897153868	0,110760099	0,632642197	0,736516338	0,01429412	0,04126144
15	5,899897354	0,112593725	0,637857376	0,738216737	-0,039561	0,0951166
16	5,905361848	0,116290806	0,648245007	0,741586752	-0,0917466	0,14730214
17	5,910796644	0,12002703	0,658576182	0,744916019	-0,1439729	0,19952843
18	6,912742821	1,818170022	2,563207326	0,994814495	0,05037005	0,0051855
TOTAL	100,1582545	4,981263624		Dn Max	0,15762582	0,19952843

Dari tabel di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Nilai Dhitung ditetapkan sebagai yang terbesar antara D1 dan D2, sehingga menghasilkan Dhitung = 0,199528425

Hipotesis untuk melakukan Uji *Kolmogorov-Smirnov* adalah:

H0 = Data perbaikan waktu mengikuti Log Normal

H1 = Data perbaikan waktu tidak mengikuti Log Normal

Dengan tingkat signifikansi (α) sebesar 0,05, nilai kritis (Dtabel) dari tabel D Kolmogorov-Smirnov adalah 0.309.

Aturan keputusan: Jika $D_n < D_{crit}$, maka H0 diterima. Dalam hal ini, karena $D_n = 0,199528425$ lebih kecil dari $D_{crit} = 0.309$, maka kita menerima H0.

4.4.6 Perhitungan Peran Distribusi Data Waktu Kerusakan (*Time To Failure*)

Parameter perhitungan Tmed (Parameter Lokasi) dan S (Parameter Bentuk):

a. Tmed (Parameter Lokasi)

$$\begin{aligned}
 N &= 17 \\
 \mu &= \mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(ti)}{n} \\
 \mu &= \frac{191,1929948}{17} \\
 \mu &= 11,24664675 \\
 Tmed &= e^\mu \\
 &= e^{\mu 11,2427381} \\
 &= 76323,64757
 \end{aligned}$$

b. S (Parameter Bentuk)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \ln^2(ti)}}{n} \\
 S &= \frac{\sqrt{191,1929948}}{17} \\
 S &= 0,789007193
 \end{aligned}$$

4.4.7 Perhitungan Peran Distribusi Data Waktu Perbaikan (*Time To Repair*)

Parameter perhitungan Tmed (Parameter Lokasi) dan S (Parameter Bentuk):

a. Tmed (Parameter Lokasi)

$$\begin{aligned}
 N &= 18 \\
 \mu &= \mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(ti)}{n} \\
 \mu &= \frac{100,1582545}{18} \\
 \mu &= 5,56434747 \\
 Tmed &= e^\mu \\
 &= e^{\mu 5,56434747} \\
 &= 260,9548672
 \end{aligned}$$

b. S (Parameter Bentuk)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \ln^2(ti)}}{n} \\
 S &= \frac{\sqrt{100,15825459}}{18} \\
 S &= 0,526057856
 \end{aligned}$$

4.4.8 Penentuan Nilai Tengah Dari Distribusi Data Waktu Kerusakan (*Mean Time To Failure*)

Perhitungan nilai tengah dari distribusi data waktu kerusakan *MTTF* terhadap distribusi Log Normal:

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \\ &= 76622,55427 * e^{\frac{0,789007193}{2}} = 104601,4748 \end{aligned}$$

4.4.9 Penentuan Nilai Tengah Dari Distribusi Data Waktu Perbaikan (*Mean Time To Repair*)

Perhitungan nilai tengah dari distribusi data waktu perbaikan *MTTR* terhadap distribusi Log Normal:

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \\ &= 260,9548672 * e^{\frac{0,526057856}{2}} = 299,6801993 \end{aligned}$$

4.4.10 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Dengan Minimasi *Downtime*

Perhitungan interval masa penggantian preventif dilakukan dengan meminimalkan waktu henti menggunakan metode *ARP*. Dalam metode ini, interval waktu antara kegagalan (*tp*) yang menghasilkan waktu henti paling sedikit dipilih. Data berikut diperlukan untuk menentukan interval penggantian preventif yang optimal dengan waktu henti yang diminimalkan:

1. Hasil waktu kerusakan dengan peran Log Normal
 - MTTF = 104601,4748
 - Tmed = 76622,55427
 - S = 0,789007193
2. Waktu terjadinya penggantian kerusakan komponen
 - Tf = 299,6801993 menit
3. Waktu tindakan penggantian *preventive*
 - Tp = 299,6801993 menit

Tabel 4.21 Data Perhitungan Interval Waktu Penggantian dengan Minimasi *Downtime*

tp	R(tp)	F(tp)	tp + Tp	MTTF/F(tp) + Tf	D(tp)
1	1	2,1113E-46	300,6801993	4,95434E+50	0,0028567592267838
17659	0,968565532	0,03143447	17958,6802	3327904,096	0,0024562933260247

28617	0,894033094	0,10596691	28916,6802	987414,2333	0,0022966516567219
41693	0,779734299	0,2202657	41992,6802	475187,3926	0,0021809100742849
42626	0,771333866	0,22866613	42925,6802	457741,5982	0,0021750626272915
47408	0,72856768	0,27143232	47707,6802	385668,2133	0,0021491527052201
55576	0,658002566	0,34199743	55875,6802	306154,2405	0,0021183258065015
60441	0,618163543	0,38183646	60740,6802	274242,8122	0,0021065138667329
64438	0,586870142	0,41312986	64737,6802	253492,406	0,0020998081771878
67238	0,565760795	0,4342392	67537,6802	241184,1366	0,0020965193004696
81720	0,467470151	0,53252985	82019,6802	196723,3643	0,0020941600460940
98500	0,375117117	0,62488288	98799,6802	167693,4073	0,0021126527719688
98985	0,372758648	0,62724135	99284,6802	167063,9959	0,0021134203843035
100736	0,364378376	0,63562162	101035,6802	164865,3132	0,0021162783521055
108727	0,328691067	0,67130893	109026,6802	156116,8751	0,0021308508651439
141115	0,21946835	0,78053165	141414,6802	134312,7913	0,0022056159759261
224335	0,086674725	0,91332528	224634,6802	114827,8528	0,0024100639791002
631802	0,003749332	0,99625067	632101,6802	105294,8166	0,0027937002533196
Total			Min D(tp)	0,0020941600460940	

Kalkulasi interval waktu penggantian terhadap mesin *Mobile Crane Kobelco RK450* di komponen *Hydraulic System* pada distribusi Log Normal dengan $tp = 81720$:

$$\begin{aligned}
 \text{a. } F(81720) &= \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \\
 &= 0,53252985 \\
 \text{b. } R(81720) &= 1 - F(81720) \\
 &= 1 - 0,53252985 \\
 &= 0,467470151 \\
 \text{c. } M(81720) &= \frac{MTTF}{1-R(tp)} \\
 &= 196423,6841 \\
 \text{d. } D(81720) &= \frac{Tp.R(tp)+Tf.(1-R(tp))}{(tp+tp).R(tp)+(M(tp)+Tf).(1-R(tp))} \\
 &= 0,0020941600460940
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan perhitungan di atas, nilai minimum $D(tp)$ terjadi pada $tp = 81.720$ menit. Oleh karena itu, interval waktu optimal untuk mengganti rantai komponen, dengan tujuan meminimalkan waktu henti, adalah 81.720 menit..

4.4.11 Perhitungan Frekuensi Perawatan (Interval Perawatan)

Berdasarkan hasil yang sudah didapatkan maka selanjutnya menentukan interval waktu perbaikan dan waktu pemeriksaan pada komponen *Hydraulic System*:

a. Penentuan Interval Pemeriksaan

1 Bulan = 26 hari/8 Jam kerja

T = 208 jam/bulan

Jumlah kerusakan *Hydraulic System* selama 4 tahun = 18

$$K = \frac{18}{48 \text{ bulan}} = 0,375$$

1. Masa rata-rata yang dibutuhkan untuk perbaikan

MTTR = 299,6801993 mer it (4,99 Jam)

T = 208 Jam/Bulan

$1/\mu$ = MTTR/t

$$= 4,49/208$$

$$= 0,024012836$$

μ = 41,64439303

2. Masa rata-rata melakukan pemeriksaan

T = 208 Jam/Bulan

$$\frac{1}{i} = \frac{ti}{t}$$

$$= \frac{1}{208} = 0,004807692$$

3. Kalkulasi Frekuensi Pemeriksaan

$$N = \sqrt{\frac{k.i}{\mu}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,375 \cdot 208}{41,64439303}}$$

$$= 1,36 \text{ kali pemeriksaan}$$

4. Interval Waktu Pemeriksaan

$$\frac{t}{n} = \frac{t}{n}$$

$$= \frac{208}{1,36} = 153 \text{ Jam} = 19 \text{ Hari}$$

4.4.12 Perbandingan Biaya Perawatan Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen

Perhitungan total biaya perawatan dilakukan untuk menentukan semua biaya terkait pemeliharaan pencegahan untuk mencegah kegagalan mesin. Biaya ini mencakup berbagai aspek yang diperlukan agar mesin dapat berjalan dengan optimal dan mencegah *downtime* tidak terduga. Berikut merupakan variabel perhitungan biaya perawatan :

a. Biaya Tenaga Kerja

Biaya yang dibayarkan kepada teknisi atau operator yang melakukan perawatan pada mesin. Berikut merupakan biaya tenaga kerja dengan durasi pekerjaan selama 8 jam per hari.

Biaya Tenaga Kerja per bulan	= Rp. 7.200.000
Biaya Tenaga Kerja per hari	= Rp. 7.200.000/26 hari kerja = Rp. 277.000
Biaya Tenaga Kerja per jam	= Rp. 277.000/8 jam kerja = Rp. 34.000
Total Tenaga Kerja	= 2 operator
Total Biaya Tenaga Kerja per hari	= Rp. 277.000 x 2 operator = Rp. 554.000 per hari

b. Biaya Material (Komponen)

Biaya material (Komponen) merupakan biaya pembelian suku cadang yang digunakan dalam melakukan penggantian atau perawatan. Biaya material *Hydraulic System* yang diperlukan sebesar Rp. 15.000.000.

c. Biaya kerugian selama kerusakan

Pada perusahaan konstruksi biaya kerugian merupakan biaya tenaga kerja yang lembur atau tambahan waktu kerja dikarenakan mesin yang rusak dimana untuk setiap 1 jam kerusakan akan dilakukan penambahan biaya tenaga kerja sebesar Rp. 34.000.

Biaya Kerugia per jam	= 2 x Rp. 34.000 = Rp. 68.000
-----------------------	----------------------------------

$$\begin{aligned}\text{Waktu rata-rata pergantian kerusakan} &= 299,6801993 \text{ menit} \\ &= 4,99 \text{ jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total biaya kerugian selama kerusakan} &= \text{Rp. } 68.000 \times 4,99 \text{ Jam} \\ &= \text{Rp. } 399.320\end{aligned}$$

Dikarenakan waktu rata-rata penggantian kerusakan komponen *Hydraulic System* adalah 299,6801993 menit atau 4,99 Jam. Maka total biaya kerugian produksi adalah Rp. 399.320.

d. Biaya perbaikan terjadwal (C_p)

$$\begin{aligned}C_p &= (\text{biaya tenaga kerja} + \text{biaya material} + \text{biaya pemasangan}) \\ &= \text{Rp. } 544.000 + \text{Rp. } 15.000.000 + \text{Rp. } 300.000 \\ &= \text{Rp. } 15.844.000\end{aligned}$$

e. Biaya perbaikan tidak terjadwal (C_f)

$$\begin{aligned}C_f &= (\text{biaya tenaga kerja} + \text{biaya material} + \text{biaya kerugian selama kerusakan} + \\ &\text{biaya pemasangan}) \\ &= \text{Rp. } 544.000 + \text{Rp. } 15.000.000 + \text{Rp. } 399.320 + \text{Rp. } 300.000 \\ &= \text{Rp. } 16.243.320\end{aligned}$$

f. Biaya penggantian komponen sebelum adanya usulan perawatan pencegahan

$$\begin{aligned}\text{Frekuensi kerusakan} &= 18 \text{ kali kerusakan} \\ \text{Biaya penggantian} &= 18 \times \text{Biaya tidak terencana (Failure Cost)} \\ &= 18 \times \text{Rp. } 16.245.200 \\ &= \text{Rp. } 292.379.760\end{aligned}$$

g. Biaya *Preventive Maintenance* menggunakan *Age Replacement*

$$\begin{aligned}C(tp) &= \frac{(C_p \times T(tp) + C_f \times [1 - R(tp)])}{((tp + Tp) \times R(tp)) + ((M(tp) + Tf) \times [1 - R(tp)])} \\ &= \text{Rp. } 7.511.583\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat diketahui biaya penggantian atau perawatan komponen sebesar Rp. 7.511.583.

h. Biaya penggantian yang diusulkan setelah menggunakan *Preventive Maintenance*

$$\begin{aligned}\text{Periode data kerusakan} &= 4 \text{ tahun} \\ \text{Waktu interval penggantian komponen} &= 48 \text{ bulan} \\ \text{Waktu interval penggantian komponen} &= 81720 \text{ menit} \\ &= 2 \text{ bulan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total frekuensi perawatan komponen} &= 48/2 \\ &= 24 \text{ kali} \\ \text{Total biaya penggantian} &= \text{frekuensi perawatan} \times C(tp) \\ &= 24 \times \text{Rp. } 7.511.583 \\ &= \text{Rp. } 180.278.009 \end{aligned}$$

Berdasarkan kalkulasi di atas, dapat diketahui biaya yang dikeluarkan sebelum menggunakan *preventive maintenance* selama periode 4 tahun dengan 18 kali kerusakan adalah sebesar Rp. 292.379.760. sedangkan biaya pergantian usulan yang didapatkan setelah menggunakan *Preventive maintenance* adalah sebesar Rp. 180.278.009 dengan frekuensi perawatan selama periode 4 tahun adalah sebanyak 24 kali.

BAB V

HASIL DAN ANALISIS

5.1 Analisis Pengolahan Data Kualitatif (Penentuan Komponen Kritis)

Komponen penting dari mesin *Kobelco RK450 Mobile Crane* diidentifikasi melalui analisis data menggunakan *FMEA*, dengan dukungan dari *FBD* untuk memperjelas fungsi dan interaksi mesin. Kategori kegagalan ditetapkan menggunakan *LTA*, sementara tindakan perawatan yang efektif ditentukan melalui *TS*. Informasi untuk studi teknik *RCM II* dan *ARP* dikumpulkan dari berbagai ahli, termasuk Tn. Jeni dari departemen perawatan. Selama tahap *FBD*, aliran proses dirinci, menggambarkan urutan dari komponen awal hingga akhir dalam sistem produksi *Kobelco RK450 Mobile Crane*.

5.1.1 Functional Block Diagram

FBD pada *Mobile Crane Kobelco RK450* terdiri dari tiga tahapan utama. Pertama, Proses Persiapan, yang melibatkan pemuatan data, konfigurasi parameter kerja, pemeriksaan keselamatan fisik *crane* (termasuk rem dan sistem penggerak), verifikasi sistem hidrolik, dan pengaturan stabilizer. Kedua, Proses Pelaksanaan, mencakup operasi penggerak mesin, pengaturan sistem penggerak, pemantauan kecepatan, pengendalian boom saat pengangkatan dan penurunan beban, serta pengawasan operasional melalui panel kendali. Terakhir, Proses Mematikan, meliputi penarikan dan penyimpanan *stabilizer*, pengaturan ulang keseimbangan *crane*, pemadaman mesin, serta pemeriksaan dan pemeliharaan rutin untuk memastikan kondisi *crane* pasca-operasi dan mencatat kerusakan yang mungkin terjadi.

5.1.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Selama tahap *FMEA*, teknik ini digunakan secara luas untuk mengevaluasi sifat, penyebab, dan dampak kegagalan pada kinerja sistem secara keseluruhan. *FMEA* sering kali mencakup penilaian kualitatif yang memperkirakan kemungkinan kegagalan. Kolom "fungsi" menunjukkan fungsi yang gagal, kolom "failure mode" mengidentifikasi penyebab kegagalan, dan kolom "failure effect" menjelaskan konsekuensi ketika komponen mesin *Kobelco RK450 Mobile Crane* tidak memenuhi standar kinerjanya.

Hasil dari *FMEA* menunjukkan *RPN* dihitung dengan formula $S \times O \times D$, yaitu $9 \times 3 \times 5 = 135$, berdasarkan wawancara dengan ahli mesin seperti Bapak Jeni. *Severity* mendapat

ranking 9 karena mesin tetap beroperasi dengan gangguan, *occurrence* mendapat ranking 3 karena kerusakan sering terjadi, dan *detection* mendapat ranking 5 karena operator cukup mampu mendeteksi penyebab kerusakan. Komponen *Hydraulic System* pada mesin *Mobile Crane Kobelco RK450* sering mengalami kerusakan, terutama jika motor terkena kotoran, yang bisa menyebabkan crane tidak beroperasi dan menimbulkan kerusakan lebih lanjut.

5.1.3 Logic Tree Analysis

Selama tahap Analisis Pohon Logika (*LTA*), proses kualitatif ini digunakan untuk menilai konsekuensi dari setiap mode kegagalan pada mesin *Derek Bergerak Kobelco RK450*. Tujuan *LTA* adalah untuk mengkategorikan mode kegagalan ke dalam kelompok yang berbeda untuk menetapkan prioritas intervensi. Komponen telah diklasifikasikan ke dalam empat kategori berdasarkan wawancara ahli terkait dengan mesin konstruksi, yang dilakukan oleh Tn. Jeni, sebagaimana diuraikan di bawah ini.:

1. *Safety Failure* (Kategori A): kegagalan yang berdampak pada keamanan dan hingga bisa menyebabkan kehilangan nyawa, mencakup dua komponen yaitu *boom* dan *hookblock*. Kegagalan pada *boom* bisa menyebabkan jatuhnya beban yang diangkat, berpotensi mencederai atau membunuh pekerja di sekitar. Kegagalan pada *hookblock* dapat menyebabkan beban terlepas secara tiba-tiba, menimbulkan risiko cedera parah atau kematian.
2. *Outage Failure* (Kategori B): kegagalan di sini berdampak sebagian hingga seluruhnya dan mengganggu operasi *crane*, mencakup tujuh komponen yaitu *winch*, *counterweight*, *outrigger*, *engine*, *hydraulic system*, *chassis*, dan *load moment indicator*. Kegagalan pada *winch* dapat menghentikan pengangkatan atau penurunan beban, mengganggu proses kerja. Kegagalan pada *counterweight* bisa menyebabkan *crane* menjadi tidak seimbang dan berisiko terbalik. Kegagalan pada *outrigger* dapat mengakibatkan *crane* tidak stabil selama operasi. Kegagalan pada *engine* akan menghentikan operasi keseluruhan *crane*. Kegagalan pada *Hydraulic System* dapat menghentikan semua fungsi hidrolik *crane*. Kegagalan pada *chassis* bisa mengganggu mobilitas *crane*. Kegagalan pada *load moment indicator* dapat menyebabkan operator tidak mengetahui batas aman beban yang diangkat, meningkatkan risiko kecelakaan.
3. *Economic Failure* (Kategori C): kegagalan pada kategori ini belum mempengaruhi keselamatan atau operasi secara signifikan tetapi berdampak pada ekonomi dengan biaya

perbaikan kecil, mencakup satu komponen yaitu *jib*. Kegagalan pada *jib* dapat menyebabkan penurunan performa atau fleksibilitas *crane* dalam mengangkat beban, yang memerlukan perbaikan kecil.

4. *Hidden Problem* (Kategori D): kegagalan ini memiliki dampak tidak menuju namun bisa serius apabila tidak segera di atasi dan berpotensi menyebabkan kegagalan lainnya, mencakup satu komponen yaitu *control panel*. Kegagalan pada control panel bisa mengakibatkan kontrol yang tidak tepat atas crane, yang dapat memicu kegagalan pada komponen lain dan menurunkan kinerja keseluruhan crane.

5.1.4 Analisis Task Selection (TS)

Pemilihan tindakan merupakan fase akhir dari analisis *RCM II*. Pada tahap ini, daftar tindakan potensial dibuat untuk setiap mode kegagalan, dan tindakan yang paling efektif dipilih. Untuk mesin *Kobelco RK450 Mobile Crane*, kesimpulan tentang setiap komponen diambil melalui wawancara dengan ahli mekanik, Bapak Jeni:

1. *TD* atau *PM* terjadi 5 komponen yang perawatannya dilakukan secara langsung terhadap sumber kerusakan berdasarkan umur atau waktu komponen. Komponen kritis seperti *Hydraulic System* termasuk dalam tindakan perawatan pencegahan ini, dimana perawatan dilakukan sebelum komponen mencapai umur tertentu untuk meminimalisir kegagalan mesin.
2. *CD* atau *PDM* terjadi 7 komponen yang perawatannya dilakukan melalui pemeriksaan dan inspeksi. Jika ditemukan gejala kerusakan selama inspeksi, dilakukan perbaikan atau penggantian komponen.

5.2 Analisis Pengolahan Data Kuantatif (Penentuan Interval Pemeriksaan dan Penggantian Komponen Kritis)

Hasil analisis menunjukkan bahwa komponen Sistem Hidraulik dari *Kobelco RK450 Mobile Crane* memerlukan pemeriksaan setiap 19 hari dan penggantian setiap 60 hari. Interval ini ditentukan berdasarkan analisis distribusi, uji kesesuaian, estimasi parameter, dan nilai *MTTF* dan *MTTR* yang dihitung, yang menggunakan data waktu henti untuk komponen Sistem Hidraulik.

Analisis pola distribusi kerusakan mencakup empat distribusi: *Eksponensial*, *Weibull*, *Log Normal*, dan *Normal*. Distribusi ini dievaluasi untuk menghitung *Indeks Kesesuaian* untuk

waktu antara kegagalan dan perbaikan komponen kritis, menggunakan metode *LSCF*. Distribusi Log Normal muncul dengan *Indeks* Kesesuaian tertinggi, mencapai 96,40% untuk waktu antara kegagalan dan 94,05% untuk waktu antara perbaikan. Distribusi ini kemudian divalidasi ulang menggunakan Uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk mengonfirmasi bahwa data waktu antara kegagalan dan perbaikan mengikuti distribusi Log Normal.

Hasilnya mengonfirmasi bahwa distribusi Log Normal selaras dengan data waktu antara kegagalan dan perbaikan. Waktu Rata-rata Hingga Kegagalan (MTTF) untuk komponen Sistem Hidraulik dihitung sebesar 104.601,4748 menit, atau sekitar 1743 jam, yang menunjukkan bahwa komponen tersebut kemungkinan akan gagal lagi setelah sekitar 72 hari beroperasi. Waktu Rata-rata Hingga Perbaikan (MTTR) dihitung sebesar 299,6801993 menit, atau sekitar 4,99 jam. Setelah menentukan MTTF dan MTTR, interval penggantian preventif dihitung menggunakan distribusi Log Normal dan kriteria minimalisasi waktu henti..

Hasilnya, interval penggantian komponen *Hydraulic System* ditetapkan setiap 56 hari untuk meminimalisir kegagalan mesin. Selain itu, komponen ini juga harus diperiksa setiap 7 hari untuk mencegah kerusakan yang mengganggu sistem produksi. Dalam konteks PT Cilegon Karya Nusa yang belum menerapkan *preventive maintenance*, jadwal penggantian komponen secara preventif sangat penting. Dengan mengganti komponen *Hydraulic System* setiap 56 hari dan melakukan pemeriksaan rutin setiap 7 hari, perusahaan dapat meningkatkan kualitas kinerja dan mengurangi risiko kegagalan mesin yang dapat mengganggu produksi.

5.3 Analisis Biaya Perawatan Komponen Mesin

Perhitungan keseluruhan biaya perawatan dilakukan untuk mengidentifikasi semua biaya yang berhubungan dengan pemeliharaan pencegahan guna menghindari kerusakan komponen. Biaya ini meliputi berbagai aspek yang diperlukan.

Perhitungan biaya diawali dengan menghitung biaya penggantian terencana/penggantian pencegahan (C_p) yang mencakup biaya tenaga kerja, biaya material, dan biaya pemasangan yang dikeluarkan saat mengganti komponen dimana total biaya penggantian terencana/penggantian pencegahan didapatkan nilai sebesar Rp. 15.844.000. kemudian menghitung biaya penggantian tidak terencana/penggantian kerusakan (C_f) yang mencakup biaya tenaga kerja, biaya material, biaya kerugian yang disebabkan saat mesin mengalami kegagalan, dan biaya pemasangan yang didapatkan nilai sebesar Rp. 16.243.320.

Sebelum adanya *Preventive Maintenance*, frekuensi kerusakan sebanyak 18 kali dengan total biaya penggantian tidak terencana (Cf) sebesar Rp. 292.379.760. Setelah dilakukan *Preventive Maintenance* menggunakan pendekatan *Age Replacement*, biaya sekali perawatan sebesar Rp. 7.511.583 dalam periode 4 tahun (48 bulan) dengan interval perawatan setiap 2 bulan maka didapatkan biaya sebesar Rp. 180.278.009 untuk 24 kali perawatan. Maka dapat diketahui setelah dilakukannya *Preventive Maintenance* menghemat biaya sebesar Rp. 112.101.750 selama periode penggunaan 4 tahun.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

1. Sistem Hidrolik telah diidentifikasi sebagai komponen paling kritis dari *Kobelco RK450 Mobile Crane*. Kesimpulan ini diambil dari FMEA, di mana komponen ini memiliki *RPN* tertinggi yaitu 135 (dihitung sebagai tingkat keparahan x kejadian x deteksi = $9 \times 3 \times 5$). Sistem Hidrolik sering mengalami kebocoran pada pipa bertekanan tinggi, yang menyebabkan hilangnya tekanan dan mengorbankan kinerja sistem secara keseluruhan.
2. Untuk tindakan perawatan yang optimal menggunakan teknik *RCM II* pada *Kobelco RK450 Mobile Crane*:
 - a. *TD*

TD atau *PM* Ada 5 komponen yang menjalani perawatan yang secara langsung menargetkan sumber potensi kegagalan, berdasarkan usia komponen atau waktu pengoperasian.
 - b. *CD*

CD atau *PDM* Ada 7 komponen yang menerima perawatan melalui inspeksi dan pemeriksaan rutin. Jika tanda-tanda kerusakan terdeteksi selama inspeksi, proses pemeliharaan dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen yang diperlukan.
3. Perhitungan biaya penggantian terencana (*Cp*) mencakup biaya tenaga kerja, material, dan pemasangan dengan nilai sebesar Rp. 15.844.000, sedangkan biaya penggantian tidak terencana (*Cf*) mencakup biaya tenaga kerja, material, kerugian akibat kegagalan, dan pemasangan dengan nilai sebesar Rp. 16.245.200. Sebelum dilakukannya *Preventive Maintenance* dengan frekuensi kerusakan sebanyak 18 kali selama periode 4 tahun didapatkan biaya sebesar Rp. 292.413.600. Setelah dilakukan *Preventive Maintenance* menggunakan pendekatan *Age Replacement* dengan nilai biaya setiap penggantian sebesar Rp. 7.478.372 maka didapatkan total biaya penggantian sebesar Rp. 179.480.931 untuk 24 kali Tindakan. Maka Perusahaan dapat menghemat biaya sebesar Rp. 112.101.751 serta mengurangi risiko *downtime* tidak terduga dan meningkatkan efisiensi operasional.

6.2 Saran

6.2.1 Saran Untuk Perusahaan

1. Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar PT Cilegon Karya Nusa mengadopsi pendekatan *RCM II* sebagai sistem perawatan mesinnya. Penerapan konsep RCM II akan memungkinkan perusahaan untuk mengidentifikasi strategi perawatan yang optimal, sehingga dapat meningkatkan kinerja mesinnya.

6.2.2 Saran Untuk Penelitian Selanjutnya

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya mempertimbangkan untuk mengevaluasi komponen lain selain komponen kritis yang telah diidentifikasi dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwi, M. R. (2016). Reliability Centered Maintenance Dalam Perawatan F.O. Service Pump Sistem Bahan Bakar Kapal Ikan. *Jurnal Riset Dan Teknologi Kelautan (JRTK)*, 14(1), 77–86.
- Cahyani, O. D., & Iftadi, I. (2021). Penjadwalan Preventive Maintenance dengan Metode Reliability Centered Maintenance pada Stasiun Cabinet PU di PT IJK. *Teknoin*, 27(1). <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol27.iss1.art4>
- Dhaneswara, A. P., & Achmadi, F. (2022). Analisa Komponen Kritis Dan Penerapan Reliability Centered Maintenance II (RCM II) (Studi Kasus: Gas Turbine Compressor (GTC) Pada Fasilitas Eksplorasi Dan Produksi Lepas Pantai PT. X). *Prosiding SENASTITAN (Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan)*, 2(Rcm Ii), 540–546. <https://ejurnal.itats.ac.id/senastitan/article/view/2445/2142>
- Dwi, W., & Endih, A. (2022). Analisis Perawatan Mesin dengan Menggunakan Metode Reability Centered Maintenance dan Fuzzy Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 3(08), 867–878. <https://doi.org/10.36418/jist.v3i8.474>
- Dwijaputra, A., Nurasanti, E., & Priyasmanu, T. (2022). Perencanaan Jadwal pemeliharaan mesin Cane Carrier Dan IMC Dengan Menggunakan Metode Reability Centered Maintenance II (RCM II) Pada PG Kebon Agung. *Jurnal Valtech (Jurnal Mahasiswa Teknik Industri)*, 5(1), 1–10.
- Gustiawan, M., & Affandi, N. (2021). Perencanaan Ulang Penjadwalan Perawatan Mesin Extr Uder Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Di Pt Staedter Indonesia. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, 1(2), 255–270. <https://doi.org/10.46306/tgc.v1i2.20>
- Hasan, I., Denur, & Hakim, L. (2019). Penerapan Reliability Centered Maintenance Maintenance (RCM) Pada Mesin Ripple Mill. *Surya Teknika*, 6(1), 43–48.
- Iqbal, M. (2017). Pengaruh Preventive Maintenance (Pemeliharaan Pencegahan) Dan Breakdown Maintenance (Penggantian Komponen Mesin) Terhadap Kelancaran Proses Produksi Di PT. Quarryndo Bukit Barokah. *Jurnal Manajemen Dan Bisnis (Almana)*, 1(3), 33–45. <https://media.neliti.com/media/publications/284305-pengaruh-preventive-maintenance-pemeliha-59ade3c4.pdf>
- Juwandono, J. T., & Purnama, J. (2023). Analisa Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Age Replacement. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 6(3), 483–492. <https://doi.org/10.31004/jutin.v6i3.15768>
- Kemenperin, P. (2022). Analisis Perkembangan Industri Pengolahan Non Migas Indonesia 2020-Edisi IV. *Www.Kemenperin.Go.Id*, 08.
- Manesi, D. (2015). Penerapan Preventive Maintenance untuk Meningkatkan Kinerja Fasilitas Praktik Laboratorium Prodi Pendidikan Teknik Mesin Undana. *Jurnal Teknologi*, 3(4), 1693–9522.
- Mentari, D., Lie, D., Efendi, & Sherly. (2017). Analisis Pelaksanaan Kegiatan Pemeliharaan (Maintenance) Terhadap kualitas Produk Pada CV Green Perkasa Pematangsiantar. *Jurnal Maker*, 3(1), 40–48.

- Muhammad, A., Fitri, M., Farid, M., Imani, R., & Nofriadiman. (2023). Perawatan Mesin Sterilizer Menggunakan Metode Age Replacement. *Jurnal Teknik Dan Teknologi Tepat Guna*, 2(3), 132–139.
- Oka Mahendra, I. G., Dwi Atmaji, F. T., & Alhilman, J. (2021). Proposed Maintenance Policy Design on Paving Molding Machine Using Reliability and Risk Centered Maintenance (RRCM) Method at PT XYZ. *Opsi*, 14(2), 231. <https://doi.org/10.31315/opsi.v14i2.5477>
- Pratama, R., & Nurhidayat, A. (2022). Manajemen Perawatan Mesin Genset Gedung Plaza Mandiri Menggunakan Metode Realibility Centered Maintenance dan Maintenance Value Stream Map. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 3(10), 1101–1116. <https://doi.org/10.36418/jist.v3i10.514>
- Purnomo, J., Affandi, N., & Rahmatullah, A. (2021). Analisis Penerapan Perawatan Motor Konveyor Mesin Xray Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada PT. Tristan Engineering. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, 1(2), 154–169. <https://doi.org/10.46306/tgc.v1i2.14>
- Ramdani, M., & Khaerudin, D. (2021). Perencanaan Penjadwalan Pemeliharaan Motor Listrik Tatung T60 L Nomor 3 Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Di PT Luhai Indonesia - Cikande. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, 1(2), 170–186. <https://doi.org/10.46306/tgc.v1i2.15>
- Rasyid, A., Mokodompit, A., & Aprilia, N. I. (2020). Perencanaan Pemeliharaan Mesin First Press Expeller P03 Dengan Menggunakan Metode RCM di PT. Multi Nabati Sulawesi. *Jurnal Ekonomi, Sosial & Humaniora*, 2(05), 104–110. <https://jurnalintelektiva.com/index.php/jurnal/article/view/392>
- Simbolon, R., Simbolon, D., & Ginting, P. J. (2020). Perancangan Interval Perawatan Mesin Secara Preventive Maintenance Dengan Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II) Studi Kasus : PT. Gunung Selamat Lestari. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 1(3), 210–221. <https://doi.org/10.36418/jist.v1i3.23>
- Siregar, C. T. N., Kindangen, P., & Palandeng, I. D. (2022). Evaluasi Pemeliharaan Mesin dan Peralatan Produksi PT. Multi Nabati Sulawesi (MNS) Kota Bitung. *Jurnal EMBA : Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi*, 10(3), 428. <https://doi.org/10.35794/emba.v10i3.42362>
- Sitinjak, F. R., & Silalahi, F. T. R. (2023). Analisis Strategi Pemeliharaan Preventive Maintenance Excavator Menggunakan Pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Analisis Sensitivitas. *Journal of Integrated System*, 6(2), 226–242. <https://doi.org/10.28932/jis.v6i2.7633>
- Sunaryo, Japri, Yuhelson, & Hakim, L. (2021). Implementasi RCM pada mesin diesel Deutz 20 kVA. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 10(1), 42–52. <https://doi.org/10.24127/trb.v10i1.1451>
- Winwin, Soeharsono, & Halim, A. (2015). Pengendalian Modul Overhead Handling Station Berbasis Sequential Function Chart. *Poros*, 13(1), 15–22.

Lampiran

$n \backslash \alpha$	0.001	0.01	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2
1		0.99500	0.99000	0.97500	0.95000	0.92500	0.90000
2	0.97764	0.92930	0.90000	0.84189	0.77639	0.72614	0.68377
3	0.92063	0.82900	0.78456	0.70760	0.63604	0.59582	0.56481
4	0.85045	0.73421	0.68887	0.62394	0.56522	0.52476	0.49265
5	0.78137	0.66853	0.62718	0.56327	0.50945	0.47439	0.44697
6	0.72479	0.61660	0.57741	0.51926	0.46799	0.43526	0.41035
7	0.67930	0.57580	0.53844	0.48343	0.43607	0.40497	0.38145
8	0.64098	0.54180	0.50654	0.45427	0.40962	0.38062	0.35828
9	0.60846	0.51330	0.47960	0.43001	0.38746	0.36006	0.33907
10	0.58042	0.48895	0.45662	0.40925	0.36866	0.34250	0.32257
11	0.55588	0.46770	0.43670	0.39122	0.35242	0.32734	0.30826
12	0.53422	0.44905	0.41918	0.37543	0.33815	0.31408	0.29573
13	0.51490	0.43246	0.40362	0.36143	0.32548	0.30233	0.28466
14	0.49753	0.41760	0.38970	0.34890	0.31417	0.29181	0.27477
15	0.48182	0.40420	0.37713	0.33760	0.30397	0.28233	0.26585
16	0.46750	0.39200	0.36571	0.32733	0.29471	0.27372	0.25774
17	0.45440	0.38085	0.35528	0.31796	0.28627	0.26587	0.25035
18	0.44234	0.37063	0.34569	0.30936	0.27851	0.25867	0.24356
19	0.43119	0.36116	0.33685	0.30142	0.27135	0.25202	0.23731
20	0.42085	0.35240	0.32866	0.29407	0.26473	0.24587	0.23152
25	0.37843	0.31656	0.30349	0.26404	0.23767	0.22074	0.20786
30	0.34672	0.28988	0.27704	0.24170	0.21756	0.20207	0.19029
35	0.32187	0.26898	0.25649	0.22424	0.20184	0.18748	0.17655
40	0.30169	0.25188	0.23993	0.21017	0.18939	0.17610	0.16601
45	0.28482	0.23780	0.22671	0.19842	0.17881	0.16676	0.15673
50	0.27051	0.22585	0.21460	0.18845	0.16982	0.15790	0.14886
OVER 50	1.91947	1.62762	1.51743	1.35810	1.22385	1.13795	1.07275
	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}

(Sumber: Statistikan)

Topik	Pertanyaan	Jawaban
Pendahuluan	Perkenalan diri dan tujuan wawancara	-
	Penjelasan singkat mengenai Metode FMEA,LTA,TS	-
	Konfirmasi kesediaan dan izin untuk melakukan wawancara	Bersedia

Deskripsi Proses	Bagaimana proses mobilitas secara umum dalam menggunakan Mobile Crane	Dijelaskan proses pengoperasian Mobile Crane
Identifikasi Mode Kegagalan	Apa saja potensi kegagalan yang dapat terjadi dalam pengoperasian ?	(FMEA)
	Apakah terdapat contoh spesifik dari kegagalan yang pernah terjadi ?	(FMEA)
Dampak Kegagalan	Apa saja dampak dari mode kegagalan yang telah di jabarkan terhadap keselamatan, kualitas, dan kinerja ?	(FMEA)
	Bagaimana kegagalan tersebut mempengaruhi kinerja ?	(FMEA)
Penyebab Kegagalan	Apa saja penyebab yang mungkin mengarah pada kegagalan tersebut ?	(FMEA)
	Adakah faktor internal atau eksternal yang mempengaruhi terhadap penyebab kegagalan ?	(FMEA)
Deteksi Kegagalan	Bagaimana cara anda mendeteksi jika kegagalan tersebut terjadi ?	(LTA)
	Apakah ada metode atau alat khusus yang digunakan untuk mendeteksi kegagalan ?	(LTA)
Tingkat Keparahan, Kejadian, dan Deteksi	Bagaimana anda menilai tingkat keparahan (Severity) dari setiap mode kegagalan ?	(LTA)
	Seberapa sering (Occurance) kegagalan tersebut terjadi ?	(LTA)
	Seberapa efektif sistem deteksi (Detection) yang ada saat ini ?	(LTA)
Tindakan Pencegahan dan Pengendalian	Apa langkah-langkah pencegahan yang telah diterapkan untuk mengatasi kegagalan ?	(LTA)
	Adakah prosedur pengendalian yang sedang atau telah diterapkan untuk mengatasi kegagalan ?	(LTA)
Evaluasi dan Tindak Lanjut	Bagaimana anda menilai efektivitas dari tindakan pencegahan dan pengendalian yang telah dilakukan ?	(TS)
	Adakah rencana tindak lanjut untuk mengurangi atau mengeliminasi kegagalan di masa mendatang ?	(TS)
Penutup	Apakah ada informasi tambahan yang ingin anda sampaikan terkait dengan potensi kegagalan dalam proses atau produk ini ?	Kurang lebihnya sudah dijelaskan apabila ada yang kurang boleh ditanyakan kembali
	Terimakasih atas partisipasi dan waktu yang telah diberikan.	Sama-sama



(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



(Sumber: Dokumentasi Pribadi)