

**ANALISIS PERAWATAN MESIN DAN PERALATAN DI AREA CRUSHER
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED
MAINTENANCE* (RCM) DAN *LIFE CYCLE COST* (LCC) DI PT. XYZ**

TUGAS AKHIR

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



Nama : Khessy Nor Hamdaniaty
No. Mahasiswa : 20522175

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.



SURAT BUKTI PENELITIAN

Nomor :

245



PT Citra Palu Minerals

Jl. Kapusaraga Km. 4, Vatutempa, RT. 02 RW.
04, Kel. Poboya, Kec. Mantikulore Palu, Sulawesi
Tengah

SURAT KETERANGAN

404/CPM-HR-PLW/X/2023

Dengan hormat,

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	:	Fajar Styvo Pambudi
Nik	:	20300
Jabatan	:	Manager HRD-GA
Dep/Sec	:	HRD - GA
Perusahaan	:	PT Citra Palu Minerals
Alamat	:	Jl. Kapusaraga Km. 4, Vatutempa, RT. 02 RW. 04, Kel. Poboya, Kec. Mantikulore Palu, Sulawesi Tengah.

Dengan ini menerangkan bahwa untuk nama tersebut dibawah ini telah menyelesaikan :
di PT. Citra Palu Minerals, dengan data sebagai berikut :

**Magang-
Penelitian**

Nama	:	Khessi Nor Hamdaniaty
No Mahasiswa/Siswa	:	20522175
Lembaga Pendidikan	:	Univetsitas Islam Indonesia
Program Studi	:	Teknik Industri
Dep/Sec Penempatan	:	Process Plant
Waktu Pelaksanaan	:	01/10/2023 s/d 31/10/2023

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana perlunya.

Palu, 31 Oktober 2023

PT Citra Palu Minerals

Fajar Styvo Pambudi
Manager HRD-GA

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
ANALISIS PERAWATAN MESIN DAN PERALATAN DI AREA
CRUSHER DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY*
CENTERED MAINTENANCE* (RCM) DAN *LIFE CYCLE COST
(LCC) DI PT. XYZ



Dosen Pembimbing

(Dr. Ir. Agus Mansur, S. T., M. Eng. Sc., IPU.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

ANALISIS PERAWATAN MESIN DAN PERALATAN DI AREA CRUSHER DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) DAN LIFE CYCLE COST (LCC)* DI PT. XYZ

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Khessy Nor Hamdaniaty

No. Mahasiswa : 20522175

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

Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, 19 – Juli – 2024

Tim Penguji

Dr. Ir. Agus Mansur, S. T., M. Eng. Sc., IPU.

Ketua

Ir. Hartomo, M. Sc., Ph. D. IPU., ASEAN. Eng

Anggota I

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

015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang
Alhamdulillahirabbil ‘aalaamin, atas segala nikmat yang Allah berikan, penulis
persembahkan skripsi yang telah terselesaikan ini kepada kedua orang tua penulis,

Ibu Nordyawati

Ayah Hamdan

Teruntuk saudara penulis,

Wira Wahyu Nurhamdani

Teruntuk keluarga besar serta kerabat penulis yang senantiasa mendoakan penulis.
Tidak lupa penulis persembahkan untuk diri sendiri karena telah berjuang dan selalu
berusaha untuk sabar serta ikhlas dalam menyelesaikan laporan ini.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

(QS. Al-Baqarah: 286)

"It always seems impossible until it's done."

(Nelson Mandela)

“Kemudian apabila kamu telah membulatkan tekad, maka bertawakkallah kepada Allah. Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang bertawakkal

kepada-Nya.”

(QS. Al-Imran: 159)

KATA PENGANTAR

Assalamu’alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan karunianya serta shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ANALISIS PERAWATAN MESIN DAN PERALATAN DI AREA CRUSHER DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) DAN *LIFE CYCLE COST* (LCC) DI PT. XYZ” dengan baik. Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan dalam menempuh gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan dan dukungan berbagai pihak meskipun dalam perjalanannya terdapat beberapa kendala. Oleh karenanya, pada kesempatan ini dengan segala rasa syukur penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Prof., Dr., Ir., Hari Purnomo, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Dr. Ir. Agus Mansur, S. T., M. Eng. Sc., IPU. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang memberikan saran, masukan, dan bimbingannya dengan sabar dalam penyelesaian laporan ini.
5. Pihak perusahaan yang telah memberikan penulis kesempatan dan fasilitas untuk melaksanakan penelitian tugas akhir.
6. Ayah Hamdan dan Ibu Nordyawati selaku orang tua penulis yang selalu mendoakan, menguatkan, memberikan kasih sayang, mendukung secara materiil serta meyakinkan agar penulis dapat menyelesaikan laporan ini dengan baik.

7. Saudara tercinta Wira Wahyu Nurhamdani yang memberikan semangat serta hiburan di masa-masa penyusunan laporan.
8. Bagian Akademik dan Administrasi Prodi yang membantu dalam memberikan informasi serta kelancaran pengurusan berkas maupun tahapan yang berkaitan dalam penyusunan laporan.
9. Teman terdekat penulis yang memberikan dukungan, motivasi, menemani, serta membantu dalam kelancaran pelaksanaan skripsi.

Demikian penulisan laporan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dan ketidaksempurnaan dalam penyusunannya. Sehingga kritik serta saran dapat diberikan sebagai perbaikan dan pedoman dalam penyusunan laporan pada penelitian berikutnya. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat kepada penulis maupun pembacanya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 25 – 06 - 2024



(Khessy Nor Hamdaniaty)
20522175

ABSTRAK

Permasalahan yang dihadapi oleh PT. XYZ adalah seringnya terjadi *downtime* pada peralatan dan mesin yang ada di area crusher pertambangan dengan *downtime* sebesar 53%, dimana peralatan dan mesin yang ada di area crusher tidak beroperasi dengan maksimal, sehingga mengurangi total *output* produksi tonase, dan biaya operasional meningkat sedangkan pendapatan menurun yang mengurangi efisiensi operasional di pertambangan tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui komponen yang memiliki nilai kritis tertinggi penyebab *downtime*, lalu strategi perawatan untuk menurunkan tingkat *downtime* menggunakan RCM, dan total biaya LCC dari perawatan mesin kritis. Metode yang digunakan yaitu, *Reability Centered Maintenance (RCM)*, dan *Life Cycle Cost (LCC)*. Hasil analisis menunjukkan bahwa *Vibrating Grizzly* merupakan mesin kritis dan komponen Motor Penggerak dianggap sebagai komponen yang paling kritis dengan RPN tertinggi sebesar 168, dan menggunakan *Finding Failure (FF)* sebagai tindakan perawatan yang efektif untuk komponen Motor Penggerak dimana tindakan perawatan tersebut akan mengurangi waktu *downtime* dan interval kejadian kerusakan pada komponen Motor Penggerak yang tadinya setiap 1279 menit menjadi 3251 menit atau berkurang sebanyak 1.972 menit dan kegagalan mesin yang terjadi setiap 30 kali dalam sebulan dapat diminimalisir menjadi maksimal 13 kali dalam sebulan, hal ini akan mengurangi jumlah biaya perawatan dan perbaikan pada mesin atau komponen yang sering mengalami kegagalan dari Rp 10.468.226.200 menjadi Rp 4.819.000.000 untuk masa penggunaan komponen Motor Penggerak pada mesin *Vibrating Grizzly* selama 15 tahun berdasarkan dari perhitungan *Life Cycle Cost (LCC)* dengan presentase pengurangan biaya sebesar 53.97%. Adapun nilai total LCC pada komponen Motor Penggerak dengan nilai i nya 12% didapatkan NPVnya adalah sekitar Rp 2.461.191.602. Kesimpulannya adalah pengurangan waktu *downtime* pada komponen kritis dengan menggunakan metode RCM akan memberikan rekomendasi penjadwalan perawatan yang efisien dilihat dari biaya perawatannya yang berkurang

setelah dilakukan penjadwalan perawatan *preventive* didapatkan dari nilai LCC untuk 15 tahun umur komponen motor penggerak.

Kata Kunci: *Downtime, MTTF, Reability Centered Maintenance (RCM), Life Cycle Cost (LCC).*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kajian Literatur.....	5
2.1.1 Perawatan (Maintenance)	11
2.1.2 Tujuan Maintenance	11
2.1.3 Jenis- Jenis Perawatan	11
2.1.4 Konsep Downtime.....	13
2.1.5 Reliability Centered Maintenance (RCM).....	14
2.1.6 Realibility	23
2.1.7 Fungsi Keandalan.....	24
2.1.8 Laju Kerusakan (Failure Mode).....	24
2.1.9 Distribusi	26
2.1.10 Goodness of Fit	29

2.1.11	Estimasi Parameter	32
2.1.12	Mean Time to Failure (MTTF)	33
2.1.13	Mean Time to Repair (MTTR)	34
2.1.14	Interval Waktu Perawatan Optimal	34
2.1.15	Reability Sebelum dan Setelah dilakukan Perawatan	34
2.1.16	Life Cycle Cost (LCC)	35
3	BAB III METODE PENELITIAN	37
3.1	Objek Penelitian	37
3.2	Perumusan Masalah	37
3.3	Studi Lapangan dan Studi Literatur	37
3.4	Metode Pengumpulan Data	37
3.4.1	Data Primer	38
3.4.2	Data Sekunder	38
3.5	Diagram Alur Penelitian dan Pengolahan Data	39
4	BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	53
4.1	Pengumpulan Data	54
4.2	Data Kerusakan Pada mesin	56
4.3	Pengolahan Data Kualitatif	60
4.4	Pengolahan Data Kuantitatif	77
4.4.1	Penentuan Mesin Kritis	77
4.4.2	Penentuan Komponen Kritis	78
4.4.3	Perhitungan Kerusakan dan Perbaikan	79
4.4.4	Identifikasi Data dengan Distribusi	81
4.4.5	Uji Goodness of Fit	89
4.4.6	Estimasi Parameter	94
4.4.7	Perhitungan MTTF dan MTTR	94
4.5	Interval Waktu Perawatan Optimal	95
4.6	Perhitungan <i>Realibility</i> Sebelum dan Sesudah Perawatan	95
4.7	Perhitungan <i>Life Cycle Cost</i> (LCC)	97
	BAB V PEMBAHASAN	102
5.1	Analisis Data Kualitatif (Penentuan Mesin Kritis)	102
5.1.1	Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)	102

5.1.2	Analisis Logic Tree Analysis (LTA).....	103
5.1.3	Analisis Task Selection (TS)	105
5.2	Analisis data Kuantitatif (Penentuan interval pergantian dan pemeriksaan) .	106
5.2.1	Analisis Distribusi Kerusakan dan Perbaikan.....	106
5.2.2	Analisis Godnest of Fit.	108
5.2.3	Analisis Parameter nilai MTTF dan MTTR	109
5.2.4	Analisis Interval Waktu Perawatan.....	110
5.2.5	Analisis Perbaikan Nilai MTTF	112
5.2.6	Perbandingan Reliability Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen.	112
5.3	Perhitungan <i>Life Cycle Cost</i> (LCC)	113
BAB VI PENUTUP		116
6.1	Kesimpulan.....	117
6.2	Saran	118
DAFTAR PUSTAKA.....		119
LAMPIRAN		1

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kajian Literatur	10
Tabel 2.2 FMEA	16
Tabel 2.3 Severity	17
Tabel 2.4 <i>Occurance</i>	18
Tabel 2.5 <i>Detection</i>	19
Tabel 4.1 Data Kerusakan Mesin.....	56
Tabel 4.2 Responden.....	59
Tabel 4.3 <i>Failure Mode and Effect Analysis Method</i> (FMEA)	62
Tabel 4.4 <i>Logic Tree Analysis</i> (LTA)	68
Tabel 4.5 <i>Selection Task</i>	72
Tabel 4.6 Jumlah Total Frekuensi Downtime Mesin.....	77
Tabel 4.7 Jumlah Total Frekuensi <i>Downtime</i> Komponen <i>Vibrating Grizzly</i>	78
Tabel 4.8 Data Waktu <i>Downtime</i> Mesin <i>Vibrating Grizzly</i>	79
Tabel 4.9 Data Waktu Kerusakan Komponen Motor Penggerak	81
Tabel 4.10 Distribusi Lognormal.....	83
Tabel 4.11 <i>Index Of Fit To Failure</i>	84
Tabel 4.12 Data Waktu Perbaikan Komponen Motor Penggerak	85
Tabel 4.13 Distribusi Lognormal.....	87
Tabel 4.14 <i>Index Of Fit To Repair</i>	88
Tabel 4.15 Uji <i>Goodness Of Fit Time To Failure</i>	89
Tabel 4.16 Uji <i>Goodness Of Fit Time To Repair</i>	91
Tabel 4.17 <i>Present Value</i> (PV).....	100
Tabel 4.1 <i>Index Of Fit To Failure</i>	107
Tabel 4.2 Index Of Fit To Repair	107
Tabel 4.3 Nilai Parameter Distribusi MTTF	109
Tabel 4.4 Nilai Parameter Distribusi MTTR.....	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Road Map Logic Tree Analysis (LTA)</i>	21
Gambar 2.2 <i>Road Map Task Selection</i>	23
Gambar 2.3 <i>Bath Tub Curve</i>	25
Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	41
Gambar 4.1 Area Crusher.....	54
Gambar 4.2 Vibrating Grizzly Feeder.....	55
Gambar 4.3 Proses Produksi pada Area Crusher	55
Gambar 4.4 <i>Functional Block Diagram (FBD)</i>	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan yang berada di Palu, Sulawesi Tengah. Permasalahan yang dihadapi oleh PT. XYZ adalah seringnya terjadi *downtime* pada peralatan dan mesin yang ada di area crusher pertambangan. Diketahui bahwa peralatan dan mesin pada area crusher di industri pertambangan ini beroperasi 24 jam *nonstop* jika tidak terjadi kerusakan atau hambatan, namun pada kasus peralatan di area crusher terjadi kegagalan produksi dengan *downtime* sebesar **53%**, dimana angka tersebut menunjukkan bahwa peralatan dan mesin yang ada di area crusher tidak beroperasi lebih dari setengah dari waktu yang seharusnya, sehingga mengurangi total output produksi tonase, dan biaya operasional meningkat sedangkan pendapatan menurun yang mengurangi efisiensi operasional di pertambangan tersebut. Perawatan yang efektif dari Peralatan di Area Crusher sangat penting memastikan dilakukan keberlangsungan operasi untuk dan produktivitas. Akan tetapi, metode perawatan yang digunakan mungkin belum sepenuhnya efektif, seperti Jadwal produksi yang tidak menentu karena perusahaan sampai saat ini belum melakukan perawatan dengan tindakan pencegahan (*pereventive maintenance*) secara intensif dan masih menggunakan perawatan yang dilakukan sebagai respon terhadap kegagalan atau kerusakan mesin, peralatan ataupun sistem (*corrective maintenance*). Banyaknya jenis kegagalan yang menyebabkan Peralatan di Area Crusher berhenti secara tiba-tiba. Permasalahan ini mengakibatkan ketidakcapaian target produksi, dan untuk mengatasi masalah tersebut, perlu dilakukan evaluasi dan perbaikan terhadap waktu hambatan yang terjadi pada kinerja mesin maupun alat di area crusher. Dengan melakukan ini, masalah teknis dan non-teknis dapat diidentifikasi dan diatasi, sehingga target produksi tonase dapat tercapai.

Adapun beberapa metode sebelumnya yang telah digunakan dalam penelitian tentang perawatan mesin adalah sebagai berikut, Penelitian oleh Fitri & Farid (2023)

dengan menggunakan metode RCM yang berjudul “Perawatan Mesin Crusher Menggunakan Metode RCM dan MVSM di PT. Galatta Lestarindo Sijunjung”, yang dimana penelitian tersebut menghasilkan output berupa mesin yang memiliki nilai kritis tertinggi serta strategi perawatan seperti apa yang dibutuhkan untuk mengurangi *downtime* pada mesin seperti interval waktu perawatan yang baik pada mesin atau peralatan. *Preventive maintenance* merupakan salah satu faktor penting yang dapat digunakan sebagai cara untuk menghindari tingginya atau bertambahnya masa *downtime* pada mesin dan alat sehingga proses produksi dapat berjalan dengan lebih baik dan efisien. *Preventive maintenance* bertujuan untuk mencapai *availability* dan *reliability* peralatan dan juga sistem dengan mengurangi *downtime* beserta biaya perawatannya dalam jangka panjang (Setiawannie et al., 2022)

Adapun metode yang digunakan pada penelitian terdahulu yaitu ada berbagai macam jenis metode contohnya metode MVSM atau Metode Vikor dengan *Simple Multi-Attribute Rating Technique* (SMART), *Importance-Based Maintenance Priority* (IBMP), *Remaining useful life* (RUL), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Reliability Centred Maintenance* (RCM), *Life Cycle Cost* (LCC), *mean time to failure* (MTTF), dan FTA. Dari beberapa contoh tersebut metode RCM dan metode LCC yang dipilih untuk digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan aktivitas *preventive maintenance* dalam mengatasi permasalahan pada mesin dan peralatan yang belum terorganisir atau terprogram dan keandalan atau *realibility* mesin akibat dari usia yang sudah tua, maka diperlukan adanya penggambaran sistem perawatan yang aktual menggunakan metode *Realibility Centered Maintenance* (RCM). Adapun RCM digunakan karena mengutamakan dan menekankan pada *failure consequence* yang berarti bahwa tindakan utama dari *pereventive maintenance* adalah untuk mencegah dan mengurangi konsekuensi dari *failure* atau kegagalan yang terjadi dan mempertimbangkan dengan perhitungan yang dapat memvalidasi hasil identifikasi dan juga umur mesin untuk perawatan jangka panjang, sehingga dapat menjamin *realibility* dan *safety* dari peralatan yang akan digunakan. Adapun metode lain yaitu melakukan uji pengukuran biaya dengan menggunakan metode *Life Cycle Cost* (LCC). Dimana LCC merupakan suatu metode ekonomi yang digunakan untuk mengevaluasi suatu proyek atau usaha yang

dimana seluruh biaya dalam kepemilikan, operasional, perawatan, dan penjualan dari proyek tersebut dapat dipertimbangkan untuk kepentingan pada keputusan proyek tersebut (Abdullah, 2017). Sehingga kedua metode itu memiliki keunggulan dibanding metode lainnya dalam penyelesaian permasalahan yang ada pada penelitian ini.

Berdasarkan latar belakang tersebutlah maka perlu dilakukan penelitian ini untuk merencanakan kebijakan perawatan dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), dan metode *Life-Cycle Cost* (LCC). Dengan menggunakan metode RCM diharapkan dapat mampu membantu perusahaan dalam upaya pencegahan terjadinya kegagalan mesin atau alat pada crusher dan juga dapat menunjukkan sebab dan akibat dari kegagalan tersebut serta strategi perawatan seperti apa yang dapat perusahaan terapkan pada mesin tersebut. Lalu metode RCM dapat dikombinasikan dengan metode *Life-Cycle Cost* (LCC) untuk menghitung biaya selama siklus hidup mesin, dan juga menentukan strategi perawatan yang akan dipilih sehingga biaya total yang dikeluarkan dapat diminimalkan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah adalah sebagai berikut.

1. Komponen manakah yang termasuk dalam kategori kritis pada mesin atau alat di area crusher?
2. Bagaimana strategi perawatan menggunakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk menurunkan tingkat *downtime* pada komponen kritis di area crusher?
3. Berapakah total biaya perawatan komponen kritis di area crusher dengan menggunakan metode LCC?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui komponen manakah yang termasuk dalam kategori kritis pada mesin atau alat di area crusher.
2. Untuk mengetahui strategi perawatan menggunakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk menurunkan tingkat *downtime* pada komponen kritis di area crusher.

3. Untuk mengetahui total biaya perawatan komponen kritis di area crusher dengan menggunakan metode *Life Cycle Cost* (LCC).

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian adalah sebagai berikut.

1. Bagi Penulis, Peneliti mampu menerapkan ilmu teori yang telah dipelajari dan relevansinya, khususnya pada mata kuliah manajemen risiko dengan metode *Reliability Centered Maintenance* dan *Life Cycle Cost* (LCC) di dunia nyata.
2. Bagi Perusahaan, hasil penelitian dapat dijadikan informasi dan saran bagi perusahaan tentang perencanaan perawatan untuk meminimalisir terjadinya *downtime*.
3. Bagi Universitas, Mampu menciptakan hubungan yang baik antara kampus dan perusahaan serta menjadi bahan studi pada mahasiswa dikampus.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini berfokus hanya pada area Crusher departemen Process Plant 4000 di PT. XYZ.
2. Sumber data yang digunakan yaitu data primer dan sekunder.
3. Data *downtime* area crusher pada tanggal 20 september sampai dengan 20 oktober 2023.
4. Penelitian dilakukan hanya pada komponen yang memiliki nilai kritis terbesar.
5. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Reliability Centered Maintenance* (RCM), dan *Life-Cycle Cost* (LCC).
6. Perhitungan *Life-Cycle Cost* (LCC) hanya pada komponen kritis berdasarkan waktu periode pada 20 september sampai dengan 20 oktober 2023.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Kajian literatur adalah sebuah uraian atau deskripsi tentang literatur yang relevan dengan idang maupun topik tertentu yaitu tinjauan tentang apa yang telah dibahas oleh peneliti sebelumnya terkait permasalahan, teori, metode, dan metodologi yang sesuai yang merupakan bagian penting dalam sebuah penelitian oleh Wekke (2019). Adapun pada penelitian ini jurnal yang digunakan berupa 10 jurnal nasional dan lima jurnal internasional dari tahun 2018 sampai dengan tahun 2023, yang berkaitan dengan analisis perawatan mesin dari hasil identifikasi downtime mesin. berikut ini merupakan kajian literatur yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari penelitian terdahulu, diantaranya sebagai berikut;

Penelitian oleh Sinta (2021) berjudul “Analisis Perawatan Mesin dengan Metode *Realibility Centered Maintenance* (RCM) terhadap Mesin *Air Jet Loom* (AJL)” dengan metode yang digunakan yaitu *Realibility Centered Maintenance* (RCM) dan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada penelitian ini penulis menggunakan metode RCM untuk menganalisis downtime dan jumlah mode kegagalan pada mesin kritis juga rekomendasi perawatan yang harus diberikan pada mesin kritis. Yang berarti metode RCM dapat menganalisis downtime pada mesin kritis dan rekomendasi perawatannya. Sedangkan penelitian oleh Fitri & Farid (2023) berjudul “Perawatan Mesin Crusher Menggunakan Metode RCM dan MVSM di PT. Galatta Lestarindo Sijunjung” dengan metode yang digunakan yaitu *Realibility Centered Maintenance* (RCM) dan MVSM serta hasil dari penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah dengan menggunakan metode RCM dapat mengetahui penyediaan waktu untuk pemeliharaan mesin untuk setiap unit mesin dan usulan pengurangan perawatan. Penelitian oleh Prasmoro (2020) berjudul “Analisa sistem perawatan pada mesin las MIG dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis*: Studi kasus di PT. TE” dengan metode yang digunakan yaitu *Failure Mode and Effect Analysis* serta hasil dari penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah Studi RCM telah berhasil menetapkan strategi pemeliharaan yang sesuai untuk setiap *failure mode* yang dijadikan dasar penyusunan program pemeliharaan yang baru.

Penelitian oleh MERT SARIGÜL (2022) yang berjudul “*Development of Reliability-Based Maintenance Policies for Haul Trucks in a Surface Mine*” dengan metode yang digunakan yaitu *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan FTA serta hasil penelitian dari penggunaan metode RCM adalah kebijakan pemeliharaan untuk meningkatkan keandalan dievaluasi dan dibandingkan berdasarkan kontribusinya terhadap biaya pengoperasian dan ketersediaan armada. Penelitian oleh Qarahasanlou (2023) yang berjudul “*Operating Environmental Condition Effect on Reliability-Centred Maintenance*” dengan metode yang digunakan yaitu *Reliability Centered Maintenance* (RCM) serta hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis mengungkapkan bahwa metode RCM juga dapat digunakan sebagai alat untuk memilih skenario perawatan terbaik yang dapat digunakan perusahaan berdasarkan dari angka kritis mesin, dan intensitas kegagalannya, dimana dalam hal ini pemeliharaan preventif berbasis waktu adalah strategi yang paling tepat untuk hal ini.

Penelitian oleh Saedudin (2020) yang berjudul “*The Optimization of Maintenance Time And Total Site Crew for Base Transceiver Station (BTS) Maintenance Using Reliability Centered Maintenance (RCM) And Life Cycle Cost (LCC)*” dengan metode yang digunakan yaitu *Reliability Centered Maintenance* (RCM) serta hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis mengungkapkan bahwa dengan metode RCM dapat diketahui jumlah *site crew* yang dibutuhkan dalam perawatan BTS berdasarkan hasil perhitungan nilai MTTFnya dan pengolahan data dengan metode LCC dapat diperoleh jumlah *site crew* yang paling optimal berdasarkan biaya. Penelitian oleh Patil (2022) yang berjudul “*Development of Optimized Maintenance Program for a Steam Boiler System Using Reliability-Centered Maintenance Approach*” dengan metode yang digunakan yaitu *Reliability Centered Maintenance* (RCM) serta hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis mengungkapkan bahwa penerapan teknik RCM efektif akan meningkatkan keandalan dan ketersediaan suatu sistem. Selain itu, persentase biaya pemeliharaan dapat dihemat setiap tahunnya dengan menerapkan program pemeliharaan terjadwal dari hasil analisis RCM. Penelitian oleh Kiki Ayu (2020) yang berjudul “*A Holistic Framework for Supporting Maintenance and Asset Management Life Cycle Decisions for Power Systems*” dengan metode yang digunakan yaitu *Life*

Cycle Cost (LCC) serta hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis mengungkapkan bahwa total *Life Cycle Cost (LCC)* dapat digunakan sebagai penentuan dalam mengambil keputusan teknis yang berkaitan dengan pembaruan dan atau penggantian aset. Penelitian oleh Wang (2022) yang berjudul “*Importance measure-based maintenance strategy considering maintenance costs*” dengan metode yang digunakan yaitu *Importance-Based Maintenance Priority (IBMP)* dan *joint importance-based maintenance priority (JIBMP)* model serta hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis mengungkapkan bahwa penting bagi sebuah perusahaan untuk melakukan startegi pemeliharaan mesin terjadwal untuk mengetahui prioritas pemeliharaan tertinggi, yang selanjutnya menjelaskan perbedaan pentingnya setiap komponen pada suatu sistem. Penelitian oleh Han (2021) yang berjudul “*Remaining useful life prediction and predictive maintenance strategies for multi-state manufacturing systems considering functional dependence*” dengan metode yang digunakan yaitu pemeliharaan prediktif sistem berdasarkan kepentingan fungsional komponen dan *Remaining useful life (RUL)* serta hasil menunjukkan bahwa pendekatan yang diusulkan oleh penulis dalam pembuatan strategi pemeliharaan mesin manufaktur dapat memastikan kemampuan sistem manufaktur untuk menyelesaikan tugas produksi dengan produk berkualitas tinggi, dan mengurangi biaya pemeliharaan dalam siklus produksi secara bersamaan.

Penelitian oleh Laseinde (2021) yang berjudul “*Optimization of condition-based maintenance strategy prediction for aging automotive industrial equipment using FMEA*” dengan metode yang digunakan yaitu *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* serta hasil menunjukan prediksi tingkat kinerja berbasis kondisi dirancang untuk membantu dalam merumuskan jadwal pemeliharaan dan strategi yang menghilangkan prediksi tingkat kinerja berbasis kondisi dirancang untuk membantu dalam merumuskan jadwal pemeliharaan dan strategi yang menghilangkan waktu henti yang tidak direncanakan. Penelitian oleh Putra Cahyadi & Pudji Widjajati (2021) yang berjudul “*Analisis Reliabilitas, Laju Kerusakan, dan Analisis Biaya pada Mesin Penenun Menggunakan Metode LCC di PT. XYZ Mojokerto*” dengan metode yang digunakan yaitu *Realibility Centered Maintenance (RCM)* dan *Failure Mode and Effect*

Analysis (FMEA) serta hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis mengungkapkan bahwa metode RCM akan memberikan jadwal perawatan yang efisien dan metode LCC akan memberikan gambaran nilai LCC terendahnya dengan umur optimal pada mesin kritis. Penelitian oleh Randiana (2018) yang berjudul “Analisis Realibility pada mesin Fan Mill Unit 1 di PT Cahaya Fajar Kaltim” dengan metode yang digunakan yaitu perhitungan nilai *mean time to failure* (MTTF) serta hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis mengungkapkan bahwa analisis raelibility pada suatu mesin yang dilakukan perawatan sangat penting untuk memvalidasi tingkat keandalan suatu mesin kritis sebelum dan setelah dilakukan perawatan. Penelitian oleh Farsi (2023) yang berjudul “A Robust Design for Lifecycle Cost with Reliability Analysis Integration” dengan metode yang digunakan yaitu *Life Cycle Cost (LCC)* serta hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis mengungkapkan bahwa tingkat ketahanan dalam estimasi biaya siklus hidup dapat dicapai dengan umpan balik yang berkesinambungan pada fase desain dan pada tubuh pengetahuan selama siklus hidup aset. Selain itu, studi ini menunjukkan bahwa model optimasi untuk *trade-off* antara biaya dan keandalan harus memenuhi persyaratan keselamatan dan kelestarian lingkungan persyaratan keselamatan dan keberlanjutan lingkungan saat memberikan solusi keandalan yang hemat biaya. Penelitian oleh Vandenberg & Chattopadhyay (2021) yang berjudul “*Improvement in Reliability, Availability and Maintainability (RAM) using Reliability Centred Maintenance (RCM) in Liquefied Natural Gas (LNG) loading arms*” dengan metode yang digunakan yaitu *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) serta hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis mengungkapkan bahwa mengikuti proses FMECA, yang diikuti dengan logika keputusan RCM, untuk merumuskan rekomendasi strategi pemeliharaan yang optimal telah terbukti bermanfaat, sebagaimana divalidasi oleh para insinyur disiplin dan persetujuan dari otoritas teknis terhadap pendekatan tersebut, dan pengecekan dengan aplikasi logika keputusan QRCM untuk memberikan tingkat kepercayaan yang lebih tinggi, Selain peningkatan optimasi pemeliharaan yang berasal dari proses RCM, terdapat aliran efek yang jelas karena hal ini mendukung dukungan pemeliharaan yang optimal dan pengembangan strategi penghematan.

berikut ini merupa

kan ringkasan dari kajian literatur yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari penelitian terdahulu, diantaranya sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kajian Literatur

Penulis	Industri			Metode							
	Energi	Manufaktur	Pertambangan	RCM	MVSM	FMEA	FTA	LCC	RUL	MTTF	IBMP
Sinta (2021)	√			√							
Fitri & Farid (2023))		√		√	√						
Prasmoro (2020)		√		√		√					
MERT SARIGÜL (2022)			√	√			√				
Qarahasanlou (2023)		√		√							
Saedudin (2020)	√			√				√			
Patil (2022)	√			√							
Kiki Ayu (2020)	√							√			
Wang (2022)		√									√
Han (2021)		√							√		
Laseinde (2021)		√				√					
Putra Cahyadi & Pudji Widjajati (2021)		√		√				√			
Randiana (2018)		√				√					
Farsi (2023)		√						√			
Chattopadhyay (2021)	√			√							

2.1.1 Perawatan (*Maintenance*)

Maintenance menurut (Shinta et al., 2021) adalah “semua tindakan teknik dan administratif yang dilakukan untuk menjaga agar kondisi mesin dan peralatan tetap baik dan dapat melakukan segala fungsinya dengan baik, efisien, dan ekonomis sesuai dengan tingkat keamanan yang tinggi”, sehingga dapat dikatakan semakin berjalannya waktu maka fungsi dari mesin yang digunakan dalam proses produksi akan semakin berkurang. Namun dengan adanya suatu sistem perawatan yang baik dan tepat yang dilakukan secara berkala, maka umur dan fungsi mesin dapat diperpanjang. Terdapat dua hasil dari kegiatan perawatan, yaitu:

- a. *Condition maintenance*, yaitu kegiatan perawatan untuk mempertahankan agar mesin atau peralatan dapat digunakan dengan baik sesuai dengan umur ekonomisnya.
- b. *Replacement maintenance*, yaitu kegiatan perawatan dengan penggantian komponen dengan tepat waktu sesuai penjadwalan yang sudah direncanakan.

2.1.2 Tujuan *Maintenance*

Tujuan pemeliharaan yang utama antara lain:

1. Memperpanjang umur penggunaan asset.
2. Menjamin *avability* yang optimal dari mesin atau komponen sehingga diharapkan dapat mendapatkan laba yang maksimum.
3. Menjamin kesiapan operasional pada semua peralatan yang diperlukan dalam keadaan dadakan maupun darurat.
4. Mengurangi kecelakaan ditempat kerja dan menjamin keselamatan bagi yang menggunakannya.

2.1.3 Jenis- Jenis Perawatan

Terdapat beberapa jenis perawatan yaitu:

1. Perawatan Terencana (*Planned Maintenance*) Menurut Lannf (1996), tujuan dari metode ini adalah “*Planned maintenance aims to have trouble free machines and equipments to produce defect free products to fully satisfy customers requirements*”. Dikatakan bahwa *planned maintenance* mempunyai tujuan agar mesin yang digunakan untuk berproduksi bebas dari kegagalan atau masalah sehingga produksi tidak terhambat dan menghasilkan produk yang berhasil atau tidak cacat agar 13 kepuasan konsumen dapat terpenuhi. Sehingga dapat dikatakan *Planned maintenance* merupakan jenis perawatan yang sudah dilakukan pencatatan disetiap proses nya, dilakukan perencanaan dan penjadwalan secara terorganisir. Terdapat tiga tipe perawatan didalam *Planned maintenance*, yaitu:
 - a. *Reactive* atau *Corrective maintenance (Repair and Breakdown)*
Corrective maintenance merupakan perawatan yang dilakukan saat mesin atau komponen mengalami kondisi kegagalan atau *breakdown*. Perawatan ini mengharuskan teknisi dan operator melakukan hal-hal sebagai berikut:
 1. Menganalisa kerusakan yang terjadi dan mencari semua penyebabnya dengan mencatat hasil yang terlihat dari kerusakan yang terjadi secara terperinci dan detail.
 2. Memberikan saran-saran setelah dilakukannya pencatatan dan analisa agar kejadian yang serupa tidak akan terjadi lagi pada mesin atau komponen.
 - b. *Preventive Maintenance*
Preventive maintenance adalah jenis perawatan perbaikan yang dilakukan sebelum terjadi kegagalan pada mesin atau komponen untuk. Sehingga pemeriksaan merupakan kegiatan yang sangat dibutuhkan untuk merencanakan perawatan atau penjadwalan secara rutin untuk kegiatan selanjutnya agar lebih tepat dan cepat. Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan *Preventive Maintenance* adalah:

1. Membersihkan lingkungan disekitar mesin atau komponen.
2. Memeriksa kembali mesin atau komponen setelah digunakan.
3. Memberikan pelumas pada mesin atau komponen tertentu yang membutuhkannya.

c. *Predictive maintenance* Pemeliharaan prediktif meliputi pemantauan terhadap kondisi sistem di masa depan dimana pengambilan keputusan pemeliharaan didasarkan 14 pada hasil prediksi. Perawatan jenis ini dilakukan pada interval waktu yang didasarkan dari hasil prediksi dan hasil analisa.

2. Perawatan Tak Terencana (*Unplanned Maintenance*) Perawatan tak terencana adalah bentuk perawatan darurat yang dapat didefinisikan sebagai perawatan yang perlu segera dilakukan untuk mencegah akibat yang lebih serius, seperti hilangnya waktu untuk berproduksi, kerusakan besar pada peralatan dan biaya – biaya perbaikan yang lebih mahal.

2.1.4 Konsep *Downtime*

Downtime merupakan keadaan berhentinya mesin pada saat proses produksi sedang berlangsung sehingga menyebabkan mesin harus segera diperbaiki dengan melibatkan engineering dalam perbaikannya. Gasper (1992) berpendapat dalam jurnal oleh Arsy (2021) bahwa downtime merupakan lama waktu mesin atau komponen tidak dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Hal ini dapat terjadi apabila terdapat suatu mesin atau komponen mengalami kegagalan sehingga mengganggu kinerja dan kualitas produksi. Pada dasarnya prinsip yang utama dalam perawatan (*maintenance*) adalah meminimalisasi adanya downtime, sehingga pergantian komponen mesin atau suatu sistem sangat penting digunakan untuk menekan laju kerusakan pada batas minimum. Pada penelitian ini difokuskan pada proses pembuatan keputusan perawatan serta penentuan interval pemeriksaan dengan sistem dengan minimasi downtime, sehingga tujuan utama dari manajemen sistem perawatan adalah untuk memperpendek periode kerusakan sampai batas minimum dapat dicapai sebagai bentuk pengoptimalan tindakan *preventive*.

2.1.5 *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Terdapat beberapa definisi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) diantara lain adalah:

1. *Reliability Centered Maintenance* menurut Moubray (1997) dalam jurnal (Pump et al., 2016) adalah sebuah proses untuk menentukan hal apa yang harus dilakukan agar dapat menjamin aset fisik itu tetap dalam keadaan optimal saat memproduksi atau tetap bekerja dengan efektif sesuai yang diharapkan.
2. *Reliability Centered Maintenance* menurut Henley (1981) dalam jurnal (Ahmad & Ashari, 2022) adalah suatu pendekatan *maintenance* yang mengkolaborasikan antara praktek dan strategi dari perawatan pencegahan (PM) dengan perawatan perbaikan (CM) yang terjadwal dengan tujuan untuk mengoptimalkan umur (*life time*) dan fungsi dari suatu komponen ataupun sistem dengan meminimasi biaya.
3. *Reliability Centered Maintenance* menurut Al Ghamdi (2005) merupakan suatu pendekatan yang efektif untuk pemenuhan strategi-strategi *preventive maintenace* dalam meminimalkan adanya kegagalan dalam sistem atau komponen dan menyediakan alat yang efektif sehingga dapat memenuhi keinginan konsumen dan dapat unggul dalam bersaing. Menurut Hutabarat (2008) dalam jurnal (Afiva et al., 2019) beberapa tujuan dari metode *Reliability Centered Maintenance* adalah sebagai berikut:
 - a. Sebagai pengembang desain yang bersifat *maintainability* atau mampu dipelihara dengan baik.
 - b. Untuk *improvement* pada desain awal yang dirasa kurang baik dengan berbagai informasi yang dapat diperoleh dari metode ini.
 - c. Untuk mengembangkan sistem perawatan yang mampu mengembalikan *reliability* dan *safety* seperti awal mula peralatan dari kemunduran dan penurunan mutu yang terjadi setelah sekian lama dioperasikan.

- d. Melakukan semua tujuan diatas dengan biaya yang minimum. Untuk mengoptimalkan preventive maintenane, maka RCM mempunyai berbagai Prinsip – prinsip yaitu sebagai berikut:
1. RCM tidak hanya memelihara suatu alat atau sistem agar dapat beroperasi akan tetapi memelihara agar fungsi dari sistem atau alat tersebut sesuai dengan yang diharapkan.
 2. RCM lebih memperhatikan fungsional sistem daripada suatu komponen tunggal, yaitu apabila terjadi kegagalan apakah sistem masih dapat menjalankan fungsi utamanya.
 3. RCM berbasiskan *reliability* yaitu kemampuan suatu sistem atau alat dapat berfungsi secara normal saat terus beroperasi sesuai dengan yang diinginkan.
 4. RCM bertujuan untuk menjaga *reliabilitas* agar sesuai dengan kemampuan yang dirancang untuk sistem tersebut.
 5. RCM lebih mengutamakan keamanan dan keselamatan (*safety*) daripada masalah ekonomi.
 6. RCM mendefinisikan bahwa kegagalan dianggap sebagai kondisi yang tidak dapat memenuhi harapan sehingga tidak memuaskan, sebagai ukurannya adalah berjalannya fungsi sesuai *performance* standart yang ditentukan.
 7. RCM harus mampu memberikan *output* yang nyata dan jelas dan dapat meminimasi tingkat kerusakan akibat kegagalan yang terjadi.

Berdasarkan pendapat Deshpande & Modak (2002), untuk mengimplementasikan metode RCM dengan baik, dibutuhkan langkah- langkah utama sebagai berikut:

1. *Functional Block Diagram* (FBD)
2. *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)
3. *Logic Tree Analysis* (LTA)
4. Pemilihan tindakan perawatan (*task selection road map*).

2.1.5.1 *Functional Blok Diagram (FBD)*

Functional Block Diagram merupakan diagram yang berbentuk blok-blok yang menjelaskan mengenai fungsi dari setiap komponen beserta hubungan dari komponen satu dengan yang lainnya sehingga dapat terlihat dengan jelas pengaruh antar komponen.

2.1.5.2 *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mengevaluasi desain sistem dengan mengidentifikasi mode kegagalan dari setiap komponen dari sistem dan menganalisis pengaruhnya terhadap reliability sistem. FMEA merupakan alat yang dapat digunakan untuk menganalisis reliability dari sebuah sistem dan penyebab terjadinya kegagalan sehingga dapat mencapai keandalan, keamanan sistem desain beserta proses. Kegiatan FMEA melibatkan banyak hal seperti menganalisis kegagalan sistem, penyebab terjadinya kegagalan, serta efek atau dampak yang terjadi akibat kegagalan pada masing-masing komponen. Dari analisis ini didapatkan penentuan komponen kritis yang paling banyak mengalami 17 kegagalan dan seberapa jauh memberikan pengaruh terhadap fungsi sistem, sehingga kita dapat memberikan perlakuan terhadap komponen kritis dengan melakukan pemeliharaan yang tepat. Berikut ini adalah contoh tabel *Failure Mode and Effect Analysis*.

Tabel 2.2 FMEA

No.	Equipment	Function	Functional Failure	Failure Mode	Effect of Failure	S	O	D	RPN
-----	-----------	----------	-----------------------	-----------------	-------------------------	---	---	---	-----

Hal utama dalam FMEA adalah *Risk Priority Number (RPN)*. RPN adalah angka yang digunakan untuk menentukan prioritas risiko berdasarkan keparahan, kemungkinan terjadinya kegagalan, dan kemampuan deteksi dari kegagalan tersebut yaitu besar dampak dari kegagalan jika terjadi (*severity*), seberapa sering kegagalan

mungkin terjadi (*occurrence*), dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum terjadi (*detection*). RPN dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection \quad 2.1$$

Hasil dari RPN menunjukkan tingkat kepentingan dari sebuah komponen yang dianggap mempunyai tingkat resiko tertinggi sehingga memerlukan perlakuan khusus dengan melakukan perbaikan. Berikut ini adalah komponen penyusun RPN:

a. *Severity*

Severity berguna sebagai penunjuk dampak buruk yang terjadi karena adanya kegagalan. Dampak dilihat dari tingkat kerusakan alat, lamanya downtime dan seberapa parah cedera yang dialami operator. Berikut ini merupakan skala dan tingkat *severity* perusahaan berdasarkan hasil diskusi dengan hasil analisis wawancara perusahaan:

Tabel 2.3 Severity

Ranking	Severity	Deskripsi
10	Berbahaya tanpa peringatan	Kegagalan sistem yang menghasilkan efek atau pengaruh yang sangat berbahaya
9	Berbahaya dengan peringatan	Kegagalan sistem yang menghasilkan efek sangat berbahaya
8	Sangat tinggi	Sistem tidak beroperasi
7	Tinggi	Sistem beroperasi tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh
6	Sedang	Sistem beroperasi dan aman tetapi mengalami penurunan performa sehingga mempengaruhi output
5	Rendah	Mengalami penurunan kinerja secara bertahap
4	Sangat rendah	Efek yang kecil pada performa sistem
3	Kecil	Sedikit berpengaruh pada kinerja sistem
2	Sangat kecil	Efek yang diabaikan sangat kecil pada kinerja

Ranking	Severity	Deskripsi
		sistem
1	Tidak ada efek	Tidak ada efek atau pengaruh

b. *Occurency*

Occurency merupakan suatu penilaian dengan memberikan tingkatan dari suatu sebab kerusakan yang terjadi secara mekanis dari peralatan yang diteliti. Dari tingkatan tersebut dapat diketahui kemungkinan dan tingkat seringnya terjadi kerusakan. Berikut ini merupakan skala dan tingkat *Occurance* perusahaan berdasarkan hasil diskusi dengan hasil analisis wawancara perusahaan:

Tabel 2.4 *Occurance*

Ranking	<i>Occurance</i>	Deskripsi
10	Sangat Tinggi	Kegagalan hampir setiap waktu (>8 kali sehari)
9	Sangat Tinggi	Kegagalan terjadi setiap 6 – 8 kali sehari
8	Tinggi	Kegagalan terjadi setiap 3 – 5 kali sehari
7	Tinggi	Kegagalan terjadi setiap 2– 3 kali sehari
6	Sedang	Kegagalan terjadi setiap 1 – 2 kali sehari
5	Sedang	Kegagalan terjadi setiap 2 – 7 hari sekali
4	Sedang	Kegagalan terjadi setiap 7 – 14 hari sekali
3	Rendah	Kegagalan terjadi setiap 15 – 30 hari sekali
2	Rendah	Kegagalan terjadi setiap 2 – 3 bulan sekali
1	Tidak Ada Efek	Kegagalan hampir tidak pernah terjadi, operator tidak ingat kapan terakhir kali kegagalan terjadi

c. *Detection*

Detection merupakan tingkat pengukuran terhadap kemampuan dalam pengendalian atas kegagalan yang terjadi. Berikut ini merupakan skala dan

tingkat *Detection* perusahaan berdasarkan hasil diskusi dengan hasil analisis wawancara perusahaan:

Tabel 2.5 *Detection*

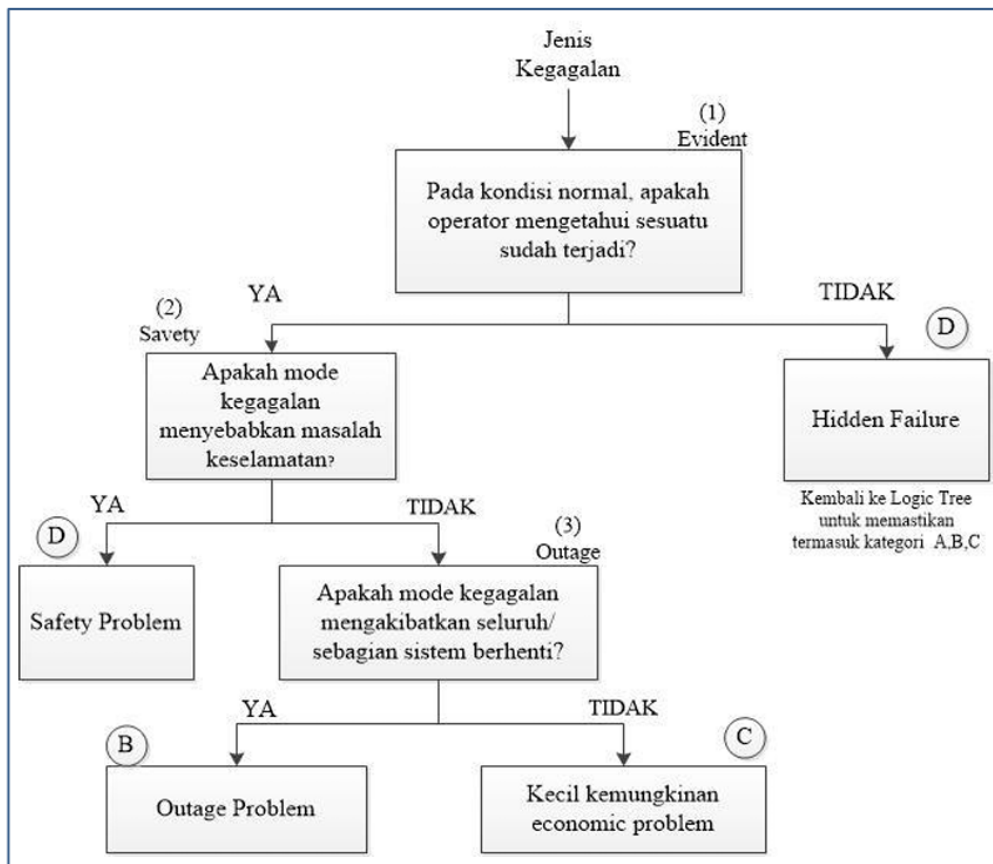
Ranking	<i>Detection</i>	Deskripsi
10	Tidak pasti	Mustahil untuk mendeteksi kegagalan
9	Sangat kecil	Sangat sulit mendeteksi kegagalan
8	Kecil	Sulit mendeteksi kegagalan
7	Sangat rendah	Kesempatan sangat rendah untuk mendeteksi kegagalan
6	Rendah	Kesempatan rendah untuk mendeteksi kegagalan
5	Sedang	Kesempatan sedang untuk mendeteksi kegagalan
4	Menengah ke atas	Kesempatan yang cukup tinggi untuk mendeteksi kegagalan
3	Tinggi	Kontrol saat ini memungkinkan mendeteksi kegagalan
2	Sangat tinggi	Kontrol saat ini berkemungkinan tinggi mendeteksi kegagalan
1	Pasti	Kontrol saat pasti dapat mendeteksi kegagalan

2.1.5.3 Logic Tree Analysis (LTA)

Logic Tree Analysis (LTA) sebagai alat untuk menunjukkan kegiatan perawatan yang layak dan optimal dalam mengatasi *failure mode* setiap komponen (*maintenance task*). Tahapan ini bertujuan memprioritaskan mode tiap kerusakan agar statusnya tidak sama. Metode RCM mempunyai 3 pertanyaan logika atau keputusan yang terstruktur agar mempermudah menganalisis dengan jawaban “Ya” atau “Tidak”. Terdapat empat kategori penting untuk analisis kekritisian dari setiap mode kegagalannya yaitu:

1. *Evident*, yaitu apakah operator dalam kondisi normal dapat mengetahui bahwa telah terjadi adanya kegagalan?

2. *Safety*, yaitu apakah adanya kegagalan tersebut dapat membahayakan keselamatan?
3. *Outage*, yaitu apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan seluruh atau sebagian sistem terhenti?
4. *Category*, yaitu mengklasifikasikan jawaban dari pertanyaan yang diajukan kedalam beberapa kategori. Pada bagian ini kategori LTA dibagi menjadi 4 yaitu:
 - a. Kategori A (*Safety problem*) Yaitu apabila mode kegagalan mempunyai konsekuensi membahayakan keselamatan bahkan menyebabkan kematian pada seseorang. Kegagalan ini juga mempunyai konsekuensi lingkungan seperti melanggar peraturan lingkungan yang telah ditetapkan dalam hukum sebelumnya (Sodikin & Jati, 2022).
 - b. Kategori B (*Outage problem*) Yaitu mode kegagalan dari suatu komponen dapat menyebabkan sistem kerja komponen terhenti sebagian atau keseluruhan sehingga berpengaruh terhadap terhadap operasional plant seperti kuantitas, kualitas produk terhadap hasil produksi yang dapat membengkakkan biaya (Sodikin & Jati, 2022).
 - c. Kategori C (*Economic problem*) Yaitu bila mode kegagalan tidak ada mempunyai konsekuensi *safety* maupun terkait operasional plant, dan hanya mempengaruhi ekonomi yang relatif kecil meliputi biaya perbaikan (Sodikin & Jati, 2022).
 - d. Kategori D (*Hidden Failure*) Yaitu bila mode kegagalan memiliki dampak secara langsung, namun bila perusahaan tidak menanggulangnya resiko ini akan menjadi serius dan dapat memicu kegagalan lainnya (Sodikin & Jati, 2022).



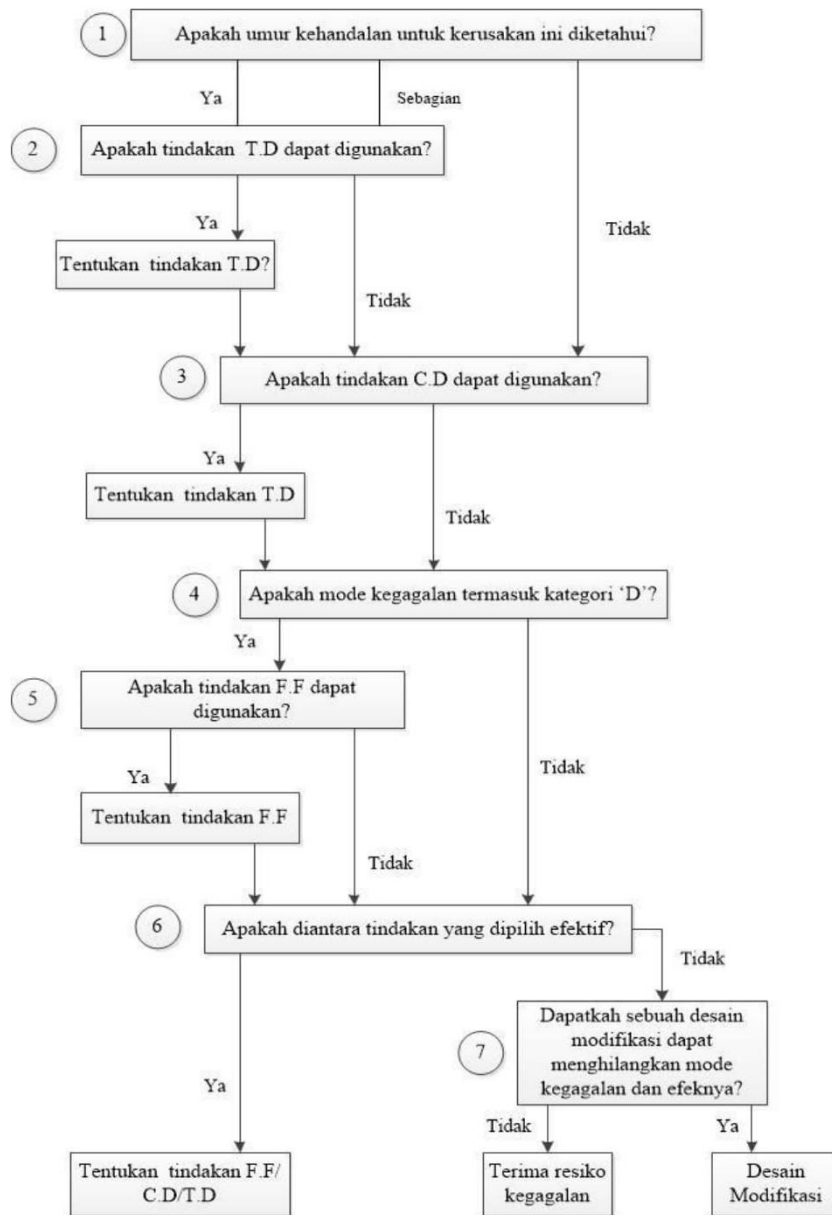
Gambar 2.1 Road Map Logic Tree Analysis (LTA)
Sumber: Buku Smith&Glenn (2004)

2.1.5.4 Pemilihan tindakan perawatan (*task selection road map*).

Pemilihan tindakan merupakan langkah terakhir dalam metode RCM. Proses ini dilakukan dengan memilih tindakan yang tepat untuk mode kegagalan tertentu. Tindakan perawatan pada *road map* pemilihan tindakan dapat dibagi menjadi 3 yaitu:

1. *Time Derected (TD)* Tindakan perawatan yang dilakukan secara langsung terhadap sumber kerusakan dengan didasari umur ataupun waktu dari komponen.

2. *Condition Direct* (CD) Tindakan perawatan yang dilakukan dengan memeriksa dan inspeksi. Apabila didalam inspeksi terdapat gejala-gejala kerusakan, maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen.
3. *Finding Failure* (FF) Tindakan perawatan yang dilakukan dengan tujuan untuk menemukan kerusakan yang tersembunyi dengan pemeriksaan berkala.



Gambar 2.2 Road Map Task Selection

Sumber: Buku Smith&Glenn (2004)

2.1.6 Reliability

Menurut Charles E. Ebeling (1997) reliability adalah probabilitas suatu komponen atau sistem akan beroperasi sesuai dengan fungsi yang ditetapkan dalam jangka

waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasional tertentu. Keandalan juga berarti kemampuan suatu peralatan untuk bertahan dan tetap beroperasi sampai batas waktu tertentu.

2.1.7 Fungsi Keandalan

Fungsi keandalan (*Reliability*) diartikan sebagai banyaknya kemungkinan suatu mesin atau komponen dapat beroperasi dengan baik tanpa terjadi kegagalan maupun pada suatu periode waktu t dalam keadaan operasi standar. Sehingga dapat dirumuskan oleh Gasperz (1998) sebagai berikut:

$$R(t) = 1 - F(T) \quad 2.2$$

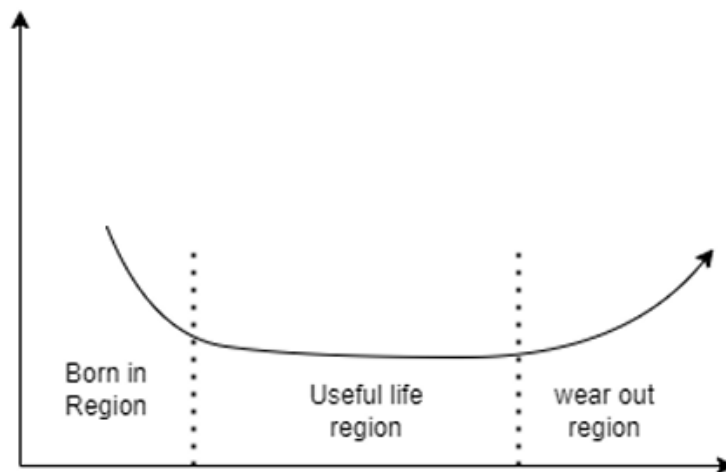
$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt \quad 2.3$$

Untuk $R(t) \geq 0, R(0) = 1$. dan $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$

Dimana: $R(t)$ adalah distribusi keandalan yang merupakan probabilitas bahwa waktu kerusakan lebih besar atau sama dengan t , sedangkan $F(t)$ adalah fungsi distribusi kegagalan atau kerusakan dari mesin.

2.1.8 Laju Kerusakan (*Failure Mode*)

Dalam suatu masa kerja operasional, dimana mesin atau komponen akan mengalami kerusakan atau kegagalan yang dapat mempengaruhi performa dan efisiensinya. Kerusakan tersebut jika dilihat secara temporer mengalami suatu laju tertentu yang berubah-ubah. Secara konseptual, untuk memudahkan konsep keandalan dapat menggunakan kurva bak mandi (*bath tub curve*). Kurva ini menjelaskan bahwa perilaku dari kegagalan suatu kumpulan komponen yang tidak dapat diperbaiki. Pada gambar 15 dibawah dapat digambarkan sebuah komponen yang akan bekerja dengan “sejarah hidup” yang dimana terbagi menjadi tiga fase pada kurva bak mandi sebagai berikut:



Gambar 2.3 *Bath Tub Curve*

Sumber: (Heiser & Hofmeister, 2018)

Berdasarkan gambar diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Daerah awal (*Born in Region*)

Area ini merupakan waktu kerja pertama untuk komponen atau mesin baru dimana pada grafik *Born in region* terlihat bahwa ttingkat kerusakan awalnya tinggi namun menurun seiring dengan berjalannya waktu. Setiap kerusakan atau kegagalan ayng terjadi biasanya disebabkan oleh produksi manufaktur atau instalasi yang tidak sesuai.

2. Daerah penggunaan (*Useful Life Region*)

Pada area ini adalah periode dengan tingkat kegagalan terendah, didaerah ini dikenal dengan tingkat kegagalan konstan (CFR). Kerusakan yang diberikan bersifat acak dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Masa pakai komponen atau sistem dimasukkan sebagai bagian dari analisis deskriptif sistem dan diasumsikan sebagai masa pakai dimana tingkat kegagalan tetap konstan dari waktu ke waktu.

3. Daerah habis pakai (*Wear Out Region*)

Pada area ini merupakan tingkat akhir masa operasi dari komponen atau mesin tersebut. Selama periode tingkat kegagalan tersebut *Incremental Failure Rate* (IFR). Area ini akan berakhir ketika keandalan pada suatu komponen atau mesin mendekati nol dan kerusakannya sangat parah sehingga tidak dapat diperbaiki lagi.

2.1.9 Distribusi

Adapun distribusi yang digunakan yaitu ada empat distribusi untuk mengenali pola data yang terbentuk, seperti distribusi normal, lognormal, weibull, dan eksponensial sebagai berikut:

1. Distribusi Normal

Distribusi normal adalah distribusi yang menggambarkan banyak fenomena dan gejala yang muncul di alam, industri, dan penelitian. Dalam bidang seperti meteorologi, penelitian curah hujan, dan pengukuran suku cadang yang berkualitas, distribusi normal juga digunakan sebagai pendekatan yang sesuai (Charles E. Ebeling, 1997). Berikut ini adalah fungsi yang terkait dengan distribusi normal:

a. Fungsi kepadatan probabilitas (*Probability density function*)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad 2.3$$

b. Fungsi kumulatif kerusakan (*Cumulative density function*)

$$f(t) \rightarrow \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad 2.4$$

c. Fungsi Keandalan (*Reliability function*)

$$R(t) = 1 - \left(\Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)\right) \quad 2.5$$

d. Laju Kerusakan (*Hazard rate function*)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)} \quad 2.6$$

e. *Mean Time To Failure*

$$MTTF = \mu \quad 2.7$$

2. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal adalah distribusi probabilitas yang mempunyai dua parameter, yaitu parameter skala (s) dan parameter lokasi (tmed). Distribusi ini digunakan untuk mewakili waktu tengah kerusakan. Sama seperti distribusi weibull, bentuk distribusi lognormal bisa bervariasi, dan secara umum data yang cocok dengan distribusi weibull juga dapat diaproksimal dengan distribusi lognormal. Berikut ini merupakan fungsi yang digunakan untuk menggambarkan distribusi lognormal:

a. Fungsi kepadatan probabilitas (*Probability density function*)

$$f(t) = \frac{1}{t \cdot s \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2s^2} [\ln t - t_{med}]^2\right\} \quad 2.8$$

b. Fungsi kumulatif kerusakan (*Cumulative density function*)

$$F(t) \rightarrow \Phi\left[\frac{1}{s} \ln\left(\frac{t}{t_0}\right)\right] \quad 2.9$$

c. Fungsi Keandalan (*Reliability function*)

$$F(t) = 1 - \Phi\left[\frac{1}{s} \ln\left(\frac{t}{t_{med}}\right)\right] \quad 2.10$$

d. Laju Kerusakan (*Hazard rate function*)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad 2.11$$

e. *Mean Time To Failure*

$$MTTF = \exp (t_0 + 0,5 s^2) \quad 2.12$$

3. Distribusi Weibull

Distribusi weibull merupakan salah satu distribusi teoritis variabel acak kontinu yang sering digunakan untuk menganalisis suatu keandalan suatu item. Distribusi Weibull terkenal dengan distribusi yang fleksibel. Salah satu fleksibilitasnya dapat dilihat dari perubahan distribus ini menjadi distribusi lainnya seperti distribusi eksponensial bergantung dengan perubahan parameter skala dan bentuknya. Distribusi Weibull adalah distribusi yang memiliki peranan yang penting terutama pada persoalan keandalan (*reliability*) dan analisisrawatan (*mantainability*) (Ocaya, 2016).

a. Fungsi kepadatan probabilitas (*Probability density function*)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad 2.13$$

b. Fungsi kumulatif kerusakan (*Cumulative density function*)

$$f(t) \rightarrow 1 - e^{-\lambda t} \quad 2.14$$

c. Fungsi Keandalan (*Realibility function*)

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad 2.15$$

d. Laju Kerusakan (*Hazard rate function*)

$$h(t) = \lambda \quad 2.16$$

e. Mean Time To Failure

$$MTTF = 1/\lambda \quad 2.17$$

4. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial adalah salah satu kasus khusus dari distribusi gamma. Distribusi ini banyak digunakan sebagai model di bidang teknik dan sains. distribusi eksponensial juga merupakan suatu distribusi yang berguna untuk mencari selisih waktu yang terjadi dalam suatu peluang tertentu (Kaharuddin, 2018). Distribusi eksponensial memiliki tingkat kegagalan yang konstan. Parameter yang digunakan λ yang artinya sebagai rata-rata

datangnya kerusakan terjadi. Dengan $\lambda(t) = \lambda, t \geq 0, \lambda > 0$ fungsi -fungsi dalam distribusi eksponensial adalah sebagai berikut:

- a. Fungsi kepadatan probabilitas (*Probability density function*)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad 2.18$$

Untuk $t \geq 0; \lambda \geq 0$; dan dengan $t = \text{waktu}$

- b. Fungsi kumulatif kerusakan (*Cumulative density function*)

$$F(t) \rightarrow 1 - \exp(-\lambda t) \quad 2.19$$

- c. Fungsi Keandalan (*Realibility function*)

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

- d. Laju Kerusakan (*Hazard rate function*)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad 2.21$$

- e. Mean Time to Failure

$$MTTF = 1/\lambda \quad 2.22$$

2.1.10 Goodness of Fit

Uji *Goodness of Fit* digunakan untuk melakukan uji kecocokan distribusi yang lebih spesifik karena probabilitas yang lebih tinggi dalam menolak distribusi yang tidak sesuai. Uji ini dilakukan setelah dipilih distribusi awal membandingkan dua hipotesis berlawanan:

- Hipotesis nol (H_0): Data kerusakan atau perbaikan mengikuti distribusi tertentu.
- Hipotesis alternatif (H_1): Data kerusakan atau perbaikan tidak mengikuti distribusi tertentu.

Pengujian distribusi menurut Charles E. Ebeling (1997) berbeda-beda memiliki perbedaan yang signifikan dalam prosesnya. Berikut ini merupakan uji yang digunakan pada setiap distribusi:

- Distribusi Eksponensial Uji *Barlet*

Hipotesis

H_0 : Data perbaikan kerusakan atau kerusakan berdistribusi eksponensial

H_1 : Data perbaikan atau kerusakan tidak berdistribusi eksponensial

Uji Statistik

$$B = \frac{2r[\ln(\frac{1}{r})\sum_{i=1}^r ti - (\frac{1}{r})\sum_{i=1}^r \ln ti]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \quad 2.23$$

Ket:

ti = Data waktu kerusakan ke i

r = Jumlah kerusakan

B = nilai bartllet test

H0 diterima jika nilai B di daerah kritis dengan rumus sebagai berikut:

$$X^2 \left(1 - \frac{\alpha}{2x-1}\right) < B < X^2 \left(\frac{\alpha}{2} X - 1\right) \quad 2.24$$

- Distribusi Normal dan Lognormal Uji *Kolmogorov-smirnov*

Hipotesis

H0: Data perbaikan atau kerusakan berdistribusi Normal/Lognormal

H1: Data perbaikan atau kerusakan tidak berdistribusi Normal/Lognormal

Uji Statistik

$$Dn = \max(D1, D2) \quad 2.25$$

Dimana,

$$D1 = \max \left| \Phi \left(\frac{ti - \mu}{s} \right) - \left(\frac{t-1}{n} \right) \right| \quad 2.26$$

$$D2 = \max \left| \frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{ti - \mu}{s} \right) \right| \quad 2.27$$

Probabilitas Kumulatif

$$F(t) = \left(\frac{ti - \mu}{\sigma} \right) \quad 2.28$$

$$\mu = \left(\frac{\sum_{i=1}^r [\ln ti]}{n} \right) \quad 2.29$$

$$S = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln ti - \mu)^2}{n}} \right) \quad 2.30$$

Ket:

n = banyaknya jumlah data

s = standart deviasi

μ = rata-rata *time to failure*

Pembeda antara distribusi normal dan lognormal terletak pada penggunaan variabel t_i , dimana distribusi lognormal menggunakan nilai $t_i = \ln$. Jika D_n kurang dari D_{crit} maka H_0 akan diterima. Sebaliknya jika D_n lebih besar dari D_{crit} maka H_1 akan ditolak. Nilai ini didapatkan dari tabel *critical value for the Kolmogorov-Smirnov test for normality*.

- Distribusi *Weibull uji Mann's Test*

Hipotesis

H_0 : Data perbaikan atau kerusakan berdistribusi weibull

H_1 : Data perbaikan atau kerusakan tidak berdistribusi weibull

Uji Statistik

$$M = \left(\frac{k_1 \sum [\ln t_i + \left(\frac{1 - \ln t_i}{m_i} \right)]}{k_2 \sum [\ln t_i + \left(\frac{1 - \ln t_i}{m_i} \right)]} \right) \quad 2.31$$

$$K1 = \frac{r}{2} \quad 2.32$$

$$K2 = \frac{r-1}{2} \quad 2.33$$

$$M_i = Z(i + 1) - Z_i \quad 2.34$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \quad 2.35$$

Ket:

n = banyaknya jumlah data waktu antar kerusakan atau perbaikan komponen

t_i = data waktu antar kerusakan atau perbaikan ke i

M_i = nilai pendekatan Mann's test untuk data ke- i

$M_{0,05; k1; k2}$: nilai distribusi weibull

r : jumlah data

$r/2$: bilangan bulat

Jika M lebih besar dari F_{crit} maka H_1 akan ditolak, dan sebaliknya jika M lebih kecil dari F_{crit} maka H_0 akan diterima. Nilai F_{crit} didapatkan dari distribusi tabel F dengan penjelasan $v_1 = 2k_1$ dan $v_2 = 2k_2$

2.1.11 Estimasi Parameter

Estimasi parameter adalah proses menentukan nilai-nilai yang paling mungkin atau paling cocok untuk model yang digunakan untuk menganalisis data. Pada penelitian kali ini dalam proses estimasi parameter menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE). Menurut Charles E. Ebeling (1997) menjelaskan bahwa setiap distribusi memiliki parameter yang perlu diestimasi sebagai berikut:

a. Distribusi Eksponensial

$$\lambda = \frac{n}{T} \quad 2.36$$

Ket:

n = jumlah kerusakan atau perbaikan

$T = \sum_{ti}^r ti$ adalah jumlah waktu kerusakan atau perbaikan

b. Distribusi Normal

$$\mu = \left(\frac{\sum_{i=1}^r ti}{n} \right) \quad 2.37$$

$$\sigma = \left(\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (ti - \mu)^2}{n}} \right); \text{ untuk } n > 30 \quad 2.38$$

$$\sigma = \left(\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (ti - \mu)^2}{n}} \right); \text{ untuk } n \leq 30 \quad 2.39$$

Ket:

ti = data waktu kerusakan ke- i

n = banyaknya data kerusakan atau perbaikan

μ = nilai tengah

σ = standar deviasi

c. Distribusi Lognormal

$$\mu = \left(\frac{\sum_{i=1}^r \ln(ti)}{n} \right) \quad 2.40$$

$$\sigma = \left(\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n \ln(ti - \mu)^2}{n}} \right); \text{ untuk } n > 30 \quad 2.41$$

$$\sigma = \left(\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n \ln(ti - \mu)^2}{n}} \right); \text{ untuk } n \leq 30 \quad 2.42$$

d. Distribusi Weibull

$$\beta = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{(\sum_{i=1}^n X_i^2) - (\sum_{i=1}^n Y_i^2)} \quad 2.43$$

$$\theta = e^{-a/\beta} \quad 2.44$$

Ket:

ti = jumlah data waktu kerusakan atau perbaikan ke i

2.1.12 Mean Time to Failure (MTTF)

MTTF atau *Mean Time to Failure* digunakan untuk memperkirakan durasi berapa lama suatu sistem atau komponen dapat berfungsi sebelum terjadi kerusakan. MTTF dihitung dengan pengukuran rata-rata waktu operasi dalam jadwal produksi tanpa adanya gangguan ataupun kegagalan pada sistem atau komponen tersebut (Opyrcha, 2021)

$$MTTF = \frac{\text{waktu total} - \text{downtime} - \text{waktu yang tidak dimanfaatkan}}{\text{jumlah kerusakan}} \quad 2.45$$

Menurut (Charles E. Ebeling, 1997) MTTF merupakan nilai rata-rata interval waktu antara kerusakan, yang mempresentasikan waktu yang diharapkan terjadinya kerusakan, yang mempresentasikan waktu yang terjadi kerusakan. Dijelaskan bahwa perhitungan MTTF dan MTTR dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

a. Distribusi Eksponensial

$$MTTF/MTTR = \left(\frac{1}{\lambda}\right) \quad 2.46$$

b. Distribusi Normal

$$MTTF/MTTR = (\mu) \quad 2.47$$

c. Distribusi Lognormal

$$MTTF/MTTR = tmed. e^{\frac{s^2}{2}} \quad 2.48$$

d. Distribusi Weibull

$$MTTF/MTTR = \theta. \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad 2.49$$

Nilai $\theta. \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ dapat di peroleh dari tabel yang berhubungan dengan fungsi Gamma.

2.1.13 Mean Time to Repair (MTTR)

MTTR atau *Mean Time to Repair* adalah masa hidup rata-rata yang diperlukan untuk memperbaiki masalah yang digunakan untuk memperkirakan durasi berapa lama suatu sistem atau komponen dapat diperbaiki agar dapat berfungsi kembali seperti sebelumnya. MTTR melibatkan berbagai kegiatan analisis kerusakan, pemindahan, waktu pengujian, dan proses perbaikan (Maulidin, 2007).

$$MTTR = \frac{\text{total waktu terhentinya alat akibat kerusakan (tidak terjadwal)}}{\text{jumlah kerusakan}} \quad 2.50$$

2.1.14 Interval Waktu Perawatan Optimal

Interval waktu perawatan dilakukan berdasarkan waktu kerusakan sistem atau komponen, sehingga tindakan perbaikan dan penggantian yang diperlukan dapat dilakukan tepat waktu (Wolf et al., 1980). Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung interval kerusakan dengan menggunakan distribusi Lognormal:

$$T_M = \exp(\mu + k\sigma) \quad 2.51$$

Ket:

μ = Rata-rata atau mean dari waktu antar kerusakan

σ = Standar deviasi dari waktu antar kerusakan

k =

Reability factor (R) atau faktor keandalan yang diinginkan

(didapatkan dari tabel distribusi normal (Z-score) untuk realibility 95%)

2.1.15 Reability Sebelum dan Setelah dilakukan Perawatan

Meningkatkan keandalan mesin atau *Realibility* pada mesin dapat dilakukan dengan adanya tindakan perawatan guna mengurangi pengaruh dari wear-out dan menunjukkan hasil signifikan dari umur suatu mesin. Model *Realibility* pada penelitian ini mengasumsikan sistem kembali ke kondisi baru setelah adanya tindakan perawatan mesin (Charles E. Ebeling, 1997). berikut ini merupakan rumus

yang digunakan untuk menghitung *Realibility* Sebelum dan Setelah dilakukan Perawatan:

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right) \quad 2.52$$

Ket:

$R(t)$ = Realibility

μ = Rata-rata atau mean dari waktu antar kerusakan

σ = Standar deviasi dari waktu antar kerusakan

2.1.16 *Life Cycle Cost (LCC)*

Life Cycle Cost (LCC) menurut Blanchard & Fabrycky (1998) merupakan metode yang menggunakan total biaya yang terjadi selama masa hidup suatu aset, LCC digunakan untuk membantu pengambilan keputusan dalam pemilihan dan pengelolaan aset dengan mempertimbangkan biaya total sepanjang siklus hidup aset tersebut dan lebih mendukung dalam pengambilan keputusan serta dapat diaplikasikan pada suatu perusahaan. LCC secara garis besar merupakan biaya yang bersangkutan dengan produk selama daur hidupnya, yang meliputi biaya pengembangan, biaya produksi, dan biaya dukungan logistik (ASLAM, 2019). Tujuan dari analisis LCC adalah untuk memilih pendekatan biaya yang paling efektif dari sekumpulan alternative untuk mencapai biaya terendah dari kepemilikan jangka panjang dan menilai semua komponen biaya selama hidup seluruh produk mengingat bahwa semua kegiatan diseluruh siklus hidup akan menentukan keuntungan finansial nyata suatu produk. Adapun perumusan dalam menghitung LCC terdiri dari jumlah tiga biaya yaitu *Acquisition Cost (A)*, *Initial Logistics Cost (I)*, dan *Recurring Cost (R)* sebagai berikut (DEPARTMENT OF DEFENSE WASHINGTON DC, 1970):

1. *Acquisition Cost (A)*

Biaya awal yang terkait dengan akuisisi atau pembelian sistem atau produk. Mencakup harga pembelian mesin dan biaya pengiriman juga instalasi mesin.

2. *Initial Logistics Cost (I)*

Biaya awal yang terkait dengan logistik, yang mencakup biaya transportasi, penanganan, penyimpanan, dan distribusi produk atau sistem dari pabrik ke lokasi pengguna.

3. *Recurring Cost (R)*

Biaya-biaya yang terjadi secara berkala selama siklus hidup sistem atau produk, termasuk biaya pemeliharaan dan perawatan reguler, biaya operasional berkala, dan biaya lain yang terjadi secara teratur selama operasi sistem atau produk.

4. *Total Life Cycle Cost (LCC)*

Jumlah dari biaya *Acquisition Cost (A)*, *Initial Logistics Cost (I)*, dan *Recurring Cost (R)*

$$LCC = A + I + R \quad 2.5$$

Ket:

A = *Acquisition Cost (A)*

I = *Initial Logistics Cost (I)*

R = *Recurring Cost (R)*

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Penelitian ini berlangsung di PT XYZ, yang dimana merupakan perusahaan pertambangan emas. Objek yang diteliti adalah mesin dan peralatan yang ada di area crusher yang merupakan area awal produksi yang sering mengalami downtime. Penelitian ini dilakukan pada tanggal 01 Oktober 2023 sampai dengan 31 Oktober 2023.

3.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini berfokus pada besarnya *downtime* dan kegagalan yang sering terjadi yang ada pada mesin ataupun peralatan di area crusher. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi mesin atau alat kritis atau yang sering menjadi penyebab berhenti proses produksi tonase pada area crusher dan juga menentukan total penggunaan biaya minimum dari komponen kritis yang ada di area crusher PT XYZ.

3.3 Studi Lapangan dan Studi Literatur

Studi lapangan dilakukan untuk mengamati dan mengobservasi kondisi mesin dan peralatan yang ada di area crusher PT XYZ. Adapun tinjauan literatur mengacu pada sumber-sumber seperti jurnal, buku, maupun penelitian terdahulu yang membahas tentang analisis perawatan dan total biaya dan konsep dari *Realibility Centered Maintenance* (RCM) dan *Life Cycle Cost* (LCC).

3.4 Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini menggunakan pengumpulan data secara primer dan sekunder agar data yang diperoleh akurat dan memenuhi tujuan dari peneliti dengan efektif. Berikut merupakan data primer dan data sekunder yang digunakan:

3.4.1 *Data Primer*

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung melalui wawancara langsung kepada narasumber yang memberikan informasi sebagai berikut.

a. Wawancara

Pada tahap pengumpulan data, kemudian dilakukan interaksi langsung dengan narasumber yang memiliki keahlian dalam bidang tersebut untuk memperoleh informasi terkait kejadian kegagalan mesin, penyebab kegagalan, dampak dari kegagalan, dan tindakan perawatan yang diperlukan. Penelitian ini melibatkan wawancara dengan operator PPD, SPV PPD, Manajer PPD, beberapa ahli *maintenance*. Wawancara dilakukan pada kepala Manajer PPD dan operator Supervisor bagian crusher. Orang yang memiliki pemahaman mendalam mengenai performa peralatan adalah Orang seperti Manajer perawatan dan orang perawatan dengan tingkat *Supervisor*. Oleh karena itu, merekalah yang memiliki peran sentral dalam proses RCM.

b. Observasi

Observasi merupakan langkah yang dilakukan dengan mengamati secara langsung subjek penelitian dan informasi terkait penelitian sehingga dapat dipertanggung jawabkan kebenarannya. Pengamatan dalam penelitian ini adalah pengamatan langsung pada mesin yang ada di area crusher untuk melihat awal sistem produksi hingga akhir produksi tonase di area crusher.

3.4.2 *Data Sekunder*

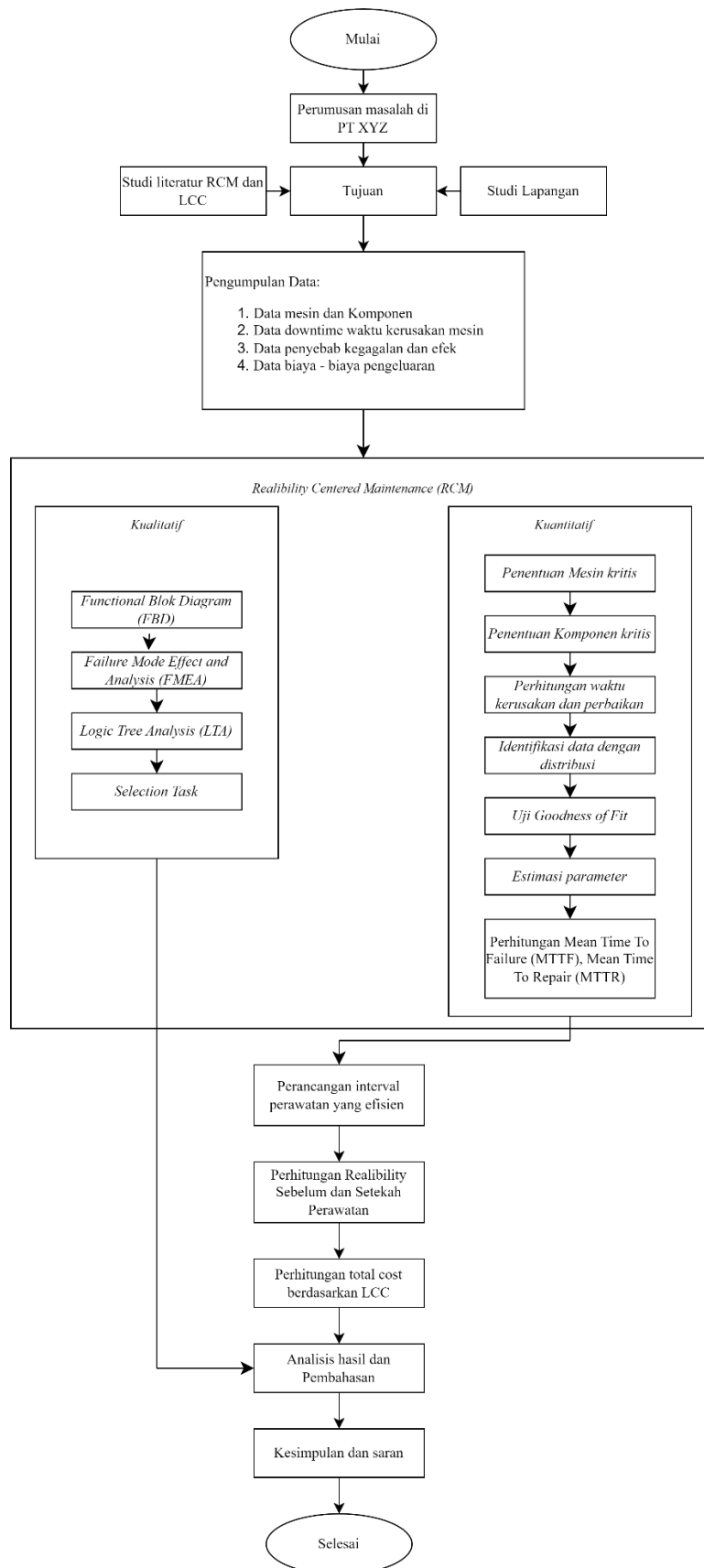
Data sekunder merupakan informasi yang tidak diperoleh langsung dari sumber aslinya, tetapi telah dikumpulkan dan diarsipkan dalam bentuk dokumen tertulis. Data sekunder ini mencakup catatan perusahaan, data online dan data offline mengenai kegagalan mesin, perawatan mesin, keandalan, dan topik terkait lainnya. Berikut adalah jenis data yang relevan untuk penelitian ini:

a. Data lama perbaikan dan data waktu henti atau waktu antar kerusakan mesin.

- b. Data komponen dari mesin dan peralatan di area crusher.
- c. Data lama perbaikan dan data waktu antar kerusakan mesin dan peralatan di area crusher.
- d. Data Data biaya - biaya pengeluaran

3.5 Diagram Alur Penelitian dan Pengolahan Data

Dalam penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Life Cycle Cost* (LCC). Adapun penjelasan dan langkah-langkah dari alur penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Berikut ini merupakan penjelasan dari alur penelitian pada gambar diatas:

1. Mulai
2. Penentuan Objek Penelitian
 Objek penelitian pada penelitian ini adala mesin dan peralatan yang mengalami downtime di area crusher yang. Tahap ini dilakukan perizinan terhadap pihak kampus dan pihak perusahaan. Pada penelitian ini perusahaan yang dimaksud adalah PT XYZ yang merupakan industri pertambangan.
3. Perumusan Masalah
 Rumusan masalah ditentukan berdasarkan permasalahan yang ada di PT XYZ yaitu downtime mesin.
4. Studi Literatur
 Studi literatur dilakukan sebagai data pendukung dan memperkuat penggunaan teori dalam penelitian ini yang berasal dari penelitian terdahulu sebagai bahan acusan dan referensi.
5. Studi Lapangan
 Studi lapangan dipelajari sebagai persiapan dalam pengambilan data konkrit atau data yang diambil langsung di tempat penelitian. Pada penelitian ini studi lapangan dilakukan dengan cara wawancara dan pengamatan langsung atau observasi di area produksi saat berlangsungnya proses produksi.
6. Tujuan
 Tujuan dalam suatu penelitian harus di tentukan dengan jelas agar terfokus dan hasil akhir yang diharapkan dapat sesuai.
7. Pengumpulan data
 Pengumpulan data dilakukan sebagai bentuk aplikasi dari studi lapangan yang telah dilakukan sebelumnya. Data yang dikumpulkan diantaranya sebagai berikut:

- Data mesin dan Komponen
- Data downtime waktu kerusakan mesin
- Data penyebab kegagalan dan efek
- Data biaya - biaya pengeluaran

8. *Realibility Centered Maintenance* (RCM)

Realibility Centered Maintenance (RCM) merupakan salah satu metode yang digunakan dalam penelitian ini, pada penelitian ini dalam pengolahannya dibagi menjadi dua yaitu pengolahan secara kualitatif dan kuantitatif yang dimana hasilnya tidak saling terkait sehingga hasilnya dapat berbeda. Tetapi pengolahan kuantitatif membutuhkan data hasil pengolahan FMEA pada pengolahan kualitatif untuk memastikan penelitian yang dilakukan valid.

A. Pengolahan Data Kualitatif

Pengolahan data kualitatif menggunakan metode RCM, dimana tahapannya adalah sebagai berikut:

a. *Function Block Diagram* (FBD)

Pada tahap pertama adalah pembuatan kotak diagram atau FBD yang menunjukkan alur fungsi mesin.

b. *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)

Tahap kedua adalah FMEA, yang mana akan menghasilkan nilai RPN dengan hasil pengisian matriks komponen.

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection \quad 3.1$$

c. *Logic Tree Analysis* (LTA)

LTA dilakukan sebagai klasifikasi mode kerusakan atau kegagalan yang diprioritaskan

d. *Selection Task*

Selection task atau pemilihan tindakan merupakan tahap akhir dari RCM. Tahap ini menghasilkan tindakan strategi perawatan.

B. Pengolahan Data Kuantitatif

Pengolahan data kuantitatif pada penelitian ini dilakukan dimulai dengan mengidentifikasi penentuan mesin kritis yang ada selanjutnya diolah berdasarkan data kerusakan dari FMEA pada pengolahan data kualitatif yang selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan distribusi data dan tahap lainnya. Adapun pengolahan data secara kuantitatif adalah sebagai berikut:

a. Penentuan Mesin Kritis

Mesin kritis didapat dari kegagalan mesin dengan nilai downtime tertinggi.

b. Penentuan Komponen Kritis

Setelah didapatkan mesin kritis dengan nilai downtime tertinggi, maka dilakukan penentuan komponen kritis dengan downtime tertinggi dari mesin kritis yang didapat.

c. Perhitungan Waktu Kerusakan dan Perbaikan

Lalu dilakukan perhitungan waktu antar kerusakan perhitungan waktu antar kerusakan dilakukan sebagai salah satu langkah untuk mendapatkan nilai waktu ekspektai terjadinya kegagalan (MTTF), selanjutnya perhitungan waktu perbaikan perhitungan waktu perbaikan dilakukan sebagai salah satu langkah untuk mendapatkan nilai lamanya waktu perbaikan (MTTR).

d. Identifikasi Data dengan Metode Distribusi

lalu dilakukan identifikasi data dengan metode mengidentifikasi distribusi komponen dengan menghitung masing – masing distribusi dengan menggunakan distribusi weibull, nolmal, eksponensial dan log normal. sebagai berikut:

1. Distribusi Normal

Distribusi normal adalah distribusi yang menggambarkan banyak fenomena dan gejala yang muncul di alam, industri, dan penelitian. Dalam bidang seperti meteorologi, penelitian curah hujan, dan

pengukuran suku cadang yang berkualitas, distribusi normal juga digunakan sebagai pendekatan yang sesuai (Charles E. Ebeling, 1997). Berikut ini adalah fungsi yang terkait dengan distribusi normal:

- a) Fungsi kepadatan probabilitas (*Probability density function*)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^1 \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad 3.2$$

- b) Fungsi kumulatif kerusakan (*Cumulative density function*)

$$f(t) \rightarrow \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad 3.3$$

- c) Fungsi Keandalan (*Reliability function*)

$$R(t) = 1 - \left(\Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)\right) \quad 3.4$$

- d) Laju Kerusakan (*Hazard rate function*)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \quad 3.5$$

- e) Mean Time To Failure

$$MTTF = \mu \quad 3.6$$

2. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal adalah distribusi probabilitas yang mempunyai dua parameter, yaitu parameter skala (s) dan parameter lokasi (tmed). Distribusi ini digunakan untuk mewakili waktu tengah kerusakan. Sama seperti distribusi weibull, bentuk distribusi lognormal bisa bervariasi, dan secara umum data yang cocok dengan distribusi weibull juga dapat diaproksimal dengan distribusi lognormal. Berikut ini merupakan fungsi yang digunakan untuk menggambarkan distribusi lognormal:

- a) Fungsi kepadatan probabilitas (*Probability density function*)

$$f(t) = \frac{1}{t \cdot s \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2s^2} [\ln t - t_{med}]^2\right\} \quad 3.7$$

- b) Fungsi kumulatif kerusakan (*Cumulative density function*)

$$F(t) \rightarrow \phi[\frac{1}{s} \ln(\frac{t}{t_0})] \quad 3.8$$

c) Fungsi Keandalan (*Realibility function*)

$$F(t) = 1 - \phi[\frac{1}{s} \ln(\frac{t}{t_{med}})] \quad 3.9$$

d) Laju Kerusakan (*Hazard rate function*)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad 3.10$$

e) Mean Time To Failure

$$MTTF = \exp(t_0 + 0,5 s^2) \quad 3.11$$

3. Distribusi Weibull

Distribusi weibull merupakan salah satu distribusi teoritis variabel acak kontinu yang sering digunakan untuk menganalisis suatu keandalan suatu item. Distribusi Weibull terkenal dengan distribusi yang fleksibel. Salah satu fleksibilitasnya dapat dilihat dari perubahan distribus ini menjadi distribusi lainnya seperti distribusi eksponensial bergantung dengan perubahan parameter skala dan bentuknya. Distribusi Weibull adalah distribusi yang memiliki peranan yang penting terutama pada persoalan keandalan (*reliability*) dan analisis rawatan (*mantainability*) (Ota, 2016).

a) Fungsi kepadatan probabilitas (*Probability density function*)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad 3.12$$

b) Fungsi kumulatif kerusakan (*Cumulative density function*)

$$f(t) \rightarrow 1 - e^{-\lambda t} \quad 3.13$$

c) Fungsi Keandalan (*Realibility function*)

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad 3.14$$

d) Laju Kerusakan (*Hazard rate function*)

$$h(t) = \lambda \quad 3.15$$

e) Mean Time To Failure

$$MTTF = 1/\lambda \quad 3.16$$

4. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial adalah salah satu kasus khusus dari distribusi gamma. Distribusi ini banyak digunakan sebagai model di bidang teknik dan sains. Distribusi eksponensial juga merupakan suatu distribusi yang berguna untuk mencari selisih waktu yang terjadi dalam suatu peluang tertentu (Kaharuddin, 2018). Distribusi eksponensial memiliki tingkat kegagalan yang konstan. Parameter yang digunakan λ yang artinya sebagai rata-rata datangnya kerusakan terjadi. Dengan $\lambda(t) = \lambda, t \geq 0, \lambda > 0$ fungsi-fungsi dalam distribusi eksponensial adalah sebagai berikut:

- a) Fungsi kepadatan probabilitas (*Probability density function*)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad 3.17$$

Untuk $t \geq 0; \lambda \geq 0$; dan dengan t waktu

- b) Fungsi kumulatif kerusakan (*Cumulative density function*)

$$F(t) \rightarrow 1 - \exp(-\lambda t) \quad 3.18$$

- c) Fungsi Keandalan (*Reliability function*)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad 3.19$$

- d) Laju Kerusakan (*Hazard rate function*)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad 3.20$$

- e) Mean Time To Failure

$$MTTF = 1/\lambda \quad 3.21$$

9. Uji Goodness Of Fit

Uji *Goodness Of Fit* dilakukan untuk memastikan distribusi data yang telah dilakukan sebelumnya telah mewakili data. Uji ini dilakukan setelah dipilih distribusi awal membandingkan dua hipotesis berlawanan:

- Hipotesis nol (H0): Data kerusakan atau perbaikan mengikuti distribusi tertentu.
- Hipotesis alternatif (H1): Data kerusakan atau perbaikan tidak mengikuti distribusi tertentu.

Pengujian distribusi menurut Charles E. Ebeling (1997) berbeda-beda memiliki perbedaan yang signifikan dalam prosesnya. Berikut ini merupakan uji yang digunakan pada setiap distribusi:

- Distribusi Eksponensial Uji *Barlet*

Hipotesis

H0: Data perbaikan kerusakan atau kerusakan berdistribusi eksponensial

H1: Data perbaikan atau kerusakan tidak berdistribusi eksponensial

Uji Statistik

$$B = \frac{2r[\ln(\frac{1}{r})\sum_{i=1}^r t_i - (\frac{1}{r})\sum_{i=1}^r \ln t_i]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \quad 3.22$$

Ket:

t_i = Data waktu kerusakan ke i

r = Jumlah kerusakan

B = nilai bartllet test

H0 diterima jika nilai B di daerah kritis dengan rumus sebagai berikut:

$$X^2 \left(1 - \frac{\alpha}{2x - 1}\right) < B < X^2 \left(\frac{\alpha}{2} X - 1\right) \quad 3.23$$

- Distribusi Normal dan Lognormal Uji Kolmogorov-smirnov

Hipotesis

H0: Data perbaikan atau kerusakan berdistribusi Normal/Lognormal

H1: Data perbaikan atau kerusakan tidak berdistribusi Normal/Lognormal

Uji Statistik

$$D_n = \max(D1, D2) \quad 3.24$$

Dimana,

$$D1 = \max \left(\frac{ti - \mu}{s} \right) - \left(\frac{t-1}{n} \right) \quad 3.25$$

$$D2 = \max \frac{i}{n} - \left(\frac{ti - \mu}{s} \right) \quad 3.26$$

Probabilitas Kumulatif

$$F(t) = \left(\frac{ti - \mu}{\sigma} \right) \quad 3.27$$

$$\mu = \left(\frac{\sum_{i=1}^r [\ln ti]}{n} \right) \quad 3.28$$

$$S = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln ti - \mu)^2}{n}} \right) \quad 3.29$$

Ket:

n = banyaknya jumlah data

s = standart deviasi

μ = rata-rata *time to failure*

Pembeda antara distribusi normal dan lognormal terletak pada penggunaan variabel ti, dimana distribusi lognormal menggunakan nilai $ti = \ln$. Jika Dn kurang dari D_{crit} maka H_0 akan diterima. Sebaliknya jika Dn lebih besar dari D_{crit} maka H_1 akan ditolak. Nilai ini didapatkan dari tabel *critical value for the Kolmogrov-Smirnov test for normality*.

- Distribusi Weibull uji *Mann's Test*

Hipotesis

H_0 : Data perbaikan atau kerusakan berdistribusi weibull

H_1 : Data perbaikan atau kerusakan tidak berdistribusi weibull

Uji Statistik

$$M = \left(\frac{k1 \sum [\ln ti + \left(\frac{1 - \ln ti}{mi} \right)]}{k2 \sum [\ln ti + \left(\frac{1 - \ln ti}{mi} \right)]} \right) \quad 3.30$$

$$K1 = \frac{r}{2} \quad 3.31$$

$$K2 = \frac{r-1}{2} \quad 3.32$$

$$Mi = Z(i + 1) - Zi \quad 3.33$$

$$Z_i = \ln[-\ln(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25})] \quad 3.34$$

Ket:

n = banyaknya jumlah data waktu antar kerusakan atau perbaikan komponen

t_i = data waktu antar kerusakan atau perbaikan ke i

M_i = nilai pendekatan *Mann's test* untuk data ke-i

M 0,05; k₁; k₂: nilai distribusi weibull

r: jumlah data

r/2: bilangan bulat

Jika M lebih besar dari F_{crit} maka H₁ akan ditolak, dan sebaliknya jika M lebih kecil dari F_{crit} maka H₀ akan diterima. Nilai F_{crit} didapatkan dari distribusi tabel F dengan penjelasan v₁=2k₁ dan v₂=2k₂

10. Estimasi Parameter

Pada penelitian ini estimasi parameter dilakukan dengan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) yang dimana digunakan distribusi weibull dan log normal.

11. Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR).

MTTF atau mean time to failure merupakan nilai rata – rata selang waktu interval kerusakan sedangkan MTTR atau mean time to repair merupakan perhitungan untuk mendapatkan nilai rata – rata lamanya perbaikan. MTTF dihitung dengan pengukuran rata-rata waktu operasi dalam jadwal produksi tanpa adanya gangguan ataupun kegagalan pada sistem atau komponen tersebut (Opyrcha, 2021)

$$MTTF = \frac{\text{waktu total-downtime-waktu yang tidak dimanfaatkan}}{\text{jumlah kerusakan}} \quad 3.35$$

MTTR melibatkan berbagai kegiatan analisis kerusakan, pemindahan, waktu pengujian, dan proses perbaikan (Maulidin, 2007).

$$MTTR = \frac{\text{total waktu terhentinya alat akibat kerusakan (tidak terjadwal)}}{\text{jumlah kerusakan}} \quad 3.36$$

Menurut Charles E. Ebeling (1997) MTTF merupakan nilai rata-rata interval waktu antara kerusakan, yang mempresentasikan waktu yang diharapkan terjadinya kerusakan, yang mempresentasikan waktu yang terjadi kerusakan. Dijelaskan bahwa perhitungan MTTF dan MTTR dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

- a. Distribusi Eksponensial

$$MTTF/MTTR = \left(\frac{1}{\lambda}\right) \quad 3.37$$

- b. Distribusi Normal

$$MTTF/MTTR = (\mu) \quad 3.38$$

- c. Distribusi Lognormal

$$MTTF/MTTR = tmed. e^{\frac{s^2}{2}} \quad 3.39$$

- d. Distribusi Weibull

$$MTTF/MTTR = \theta. \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad 3.40$$

Nilai $\theta. \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ dapat di peroleh dari tabel yang berhubungan dengan fungsi Gamma.

12. Perancangan interval perawatan mesin kritis

Pada tahapan ini akan dilakukan perancangan interval perawatan berdasarkan analisis RCM sebelumnya. Perancangan interval perawatan bisa didapatkan dari metode *preventive maintenance*. Interval waktu perawatan dilakukan berdasarkan waktu kerusakan sistem atau komponen, sehingga tindakan perbaikan dan penggantian yang diperlukan dapat dilakukan tepat waktu (Wolf et al., 1980). Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung interval kerusakan dengan menggunakan distribusi Lognormal:

$$T_M = \exp(\mu + k\sigma) \quad 3.41$$

Ket:

μ = Rata-rata atau mean dari waktu antar kerusakan

σ = Standar deviasi dari waktu antar kerusakan

$k =$

Reability factor (R) atau faktor keandalan yang diinginkan

(didapatkan dari tabel distribusi normal (Z-score) untuk realibility 95%)

13. Perhitungan Realibility Sebelum dan Setelah dilakukan Perawatan

Meningkatkan keandalan mesin atau Realibility pada mesin dapat dilakukan dengan adanya tindakan perawatan guna mengurangi pengaruh dari *wear-out* dan menunjukkan hasil signifikan dari umur suatu mesin. Model *Realibility* pada penelitian ini mengasumsikan sistem kembali ke kondisi baru setelah adanya tindakan perawatan mesin (Charles E. Ebeling, 1997). berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung *Realibility* Sebelum dan Setelah dilakukan Perawatan:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right) \quad 3.42$$

Ket:

$R(t) = \text{Realibility}$

μ = Rata-rata atau mean dari waktu antar kerusakan

σ = Standar deviasi dari waktu antar kerusakan

14. Perhitungan LCC

Pada tahap ini dilakukan perhitungan biaya LCC untuk skenario dengan strategi jenis perawatan pada mesin kritis. dalam menghitung LCC terdiri dari jumlah tiga biaya yaitu *Acquisition Cost (A)*, *Initial Logistics Cost (I)*, dan *Recurring Cost (R)* sebagai berikut (DEPARTMENT OF DEFENSE WASHINGTON DC, 1970):

- *Acquisition Cost (A)*

Biaya awal yang terkait dengan akuisisi atau pembelian sistem atau produk. Mencakup harga pembelian mesin dan biaya pengiriman juga instalasi mesin.

- *Initial Logistics Cost (I)*

Biaya awal yang terkait dengan logistik, yang mencakup biaya transportasi, penanganan, penyimpanan, dan distribusi produk atau sistem dari pabrik ke lokasi pengguna.

- *Recurring Cost (R)*

Biaya-biaya yang terjadi secara berkala selama siklus hidup sistem atau produk, termasuk biaya pemeliharaan dan perawatan reguler, biaya operasional berkala, dan biaya lain yang terjadi secara teratur selama operasi sistem atau produk.

- *Total Life Cycle Cost (LCC)*

Jumlah dari biaya *Acquisition Cost (A)*, *Initial Logistics Cost (I)*, dan *Recurring Cost (R)*

$$LCC = A + I + R \quad 3.43$$

Ket:

A = *Acquisition Cost (A)*

I = *Initial Logistics Cost (I)*

R = *Recurring Cost (R)*

- *Net Present Value (NPV)*

Setelah nilai total LCC didapatkan maka dilakukan perhitungan NPV untuk mengetahui apakah proyek tersebut menghasilkan nilai bersih setelah mempertimbangkan semua arus kas masuk dan keluar, serta memperhitungkan nilai waktu dari uang dengan menggunakan tingkat diskonto yang disesuaikan. Ini termasuk pendapatan, penghematan biaya, dan pengeluaran. NPV memberikan gambaran tentang nilai sekarang dari arus kas masa depan, dikurangi biaya investasi awal. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut (Al Farisi & Syifa, 2021):

$$NPV = \sum_{t=1}^N \left(\frac{R_t}{(1+i)^t} \right) + A + I \quad 3.44$$

Ket:

N = Jumlah Periode

R = Recurring Cost pada waktu t

i = Suku bunga atau *discount rate* (%)

t = Waktu arus yang ditaksir

A = *Acquisition Cost*

I = *Initial Logistics Cost*

15. Analisis hasil dan pembahasan

Pada tahap ini akan dilakukan analisa dan pembahasan dari pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Analisa yang dilakukan berupa analisa mengenai strategi perawatan dari RCM yang telah dilakukan, analisa mengenai interval perawatan yang telah digunakan untuk mengetahui kesesuaian interval perawatan dengan kaitannya untuk mencapai target produksi, serta analisa LCC untuk mengetahui biaya total yang dikeluarkan dalam proses *maintenance*.

16. Kesimpulan dan saran

Tahap kesimpulan dan saran adalah tahap akhir dari penelitian ini. Penarikan kesimpulan dilakukan berdasarkan tujuan penelitian yang telah dibuat sebelumnya. Saran diberikan agar dapat dilakukan perbaikan untuk penelitian selanjutnya.

17. Selesai

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Visi dan Misi Perusahaan

PT. XYZ yang merupakan perusahaan yang bergerak di industri pertambangan memiliki visi menjadi perusahaan pertambangan mineral terkemuka di Asia, sedangkan misi perusahaan adalah memberikan timbal balik terbaik di industrinya kepada para pemangku kepentingan melalui pengembangan dan pengoperasian bisnis pertambangan mineral. Dimana produk yang dihasilkan berupa Dore Bullion. Tujuan PT XYZ adalah menjadi perusahaan yang menjunjung nilai integritas, keunggulan, profesionalisme, keselamatan dan lingkungan.

4.1.2 Proses Produksi

Crusher merupakan tahap pertama dari peralatan mekanis yang wajib dalam rantai produksi di operasi penambangan emas. Sistem penghancur menggiling bongkahan material yang diledakkan menjadi ukuran yang lebih kecil dan diangkut dengan konveyor ke tumpukan material. Dalam perluasan penambangan bawah tanah, konstruksi sistem penghancur sangat penting selain konstruksi titik-titik pengambilan, atau lorong-lorong, dan sistem ventilasi (Muliano et al., 2021).



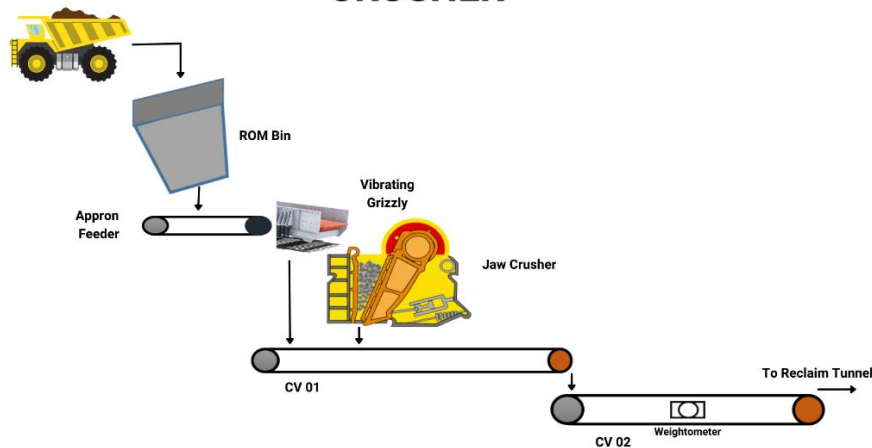
Gambar 4.1 Area Crusher



Gambar 4.2 Vibrating Grizzly Feeder

Dalam industri pertambangan salah satu komponen kunci dalam proses produksi adalah crusher. Peralatan di area crusher seperti *ROM Bin*, *Apron Feeder*, *Vibrating Grizzly*, *Jaw Crusher*, *Conveyor 01 & 02*, *Belt magnet*, dan *Stockpile* memiliki peran yang sangat penting dalam menghancurkan batuan atau material awal yang nantinya akan digunakan dalam proses pengolahan lebih lanjut.

CRUSHER



Gambar 4.3 Proses Produksi pada Area Crusher

Proses produksi pada area Crusher di plant 4000 blok I dimulai dari ROM Bin sebagai tempat menampung ore, lalu berlanjut ke Apron Feeder yang mengontrol aliran ore atau material, lalu masuk ke Vibrating Grizzly untuk dilakukan pemisahan ore yang besar dan halus yang nantinya ore halus akan masuk ke Conveyor 01 dan ore yang besar akan di pecah oleh Jaw Crusher

yang selanjutnya akan masuk ke Conveyor 01 lalu ke Conveyor 02 dan akan dibawa ke Stockpile yang berlanjut ke area Mill.

4.2 Data Kerusakan Pada mesin

Data kerusakan pada mesin dan peralatan di area crusher digunakan untuk mengetahui rincian kerusakan dan jumlah downtime secara menyeluruh pada setiap mesin, dimana mesin dan peralatan di area crusher pertambangan bekerja selama 24 jam nonstop setiap harinya. Dalam hal ini data yang digunakan merupakan hasil observasi dan data dari perusahaan selama sebulan dari tanggal 20 september 2023 sampai dengan 20 oktober 2023. Berikut merupakan data kerusakannya:

Tabel 4.1 Data Kerusakan Mesin

Mesin	No. Urut	Waktu Kerusakan		Downtime (Jam)
		Mulai	Finish	
ROM Bin	1	20/09/2023 00.00 AM	20/09/2023 01.10 AM	1.10
	...		...	...
	43	19/10/2023 12.06 PM	19/10/2023 12.11 PM	0.05
Apron Feeder	1	21/09/2023 01.12 AM	21/09/2023 01.43 AM	0.31
	...	...	...	...
	13	18/10/2023 21.37 PM	18/10/2023 22.25 PM	0.48
Vibrating Grizzly	1	20/09/2023 08.00 AM	20/09/2023 15.41 PM	7.41
	2	20/09/2023 17.04 PM	20/09/2023 17.08 PM	0.04
	3	20/09/2023 17.53 PM	20/09/2023 17.59 PM	0.06
	4	20/09/2023 18.03 PM	20/09/2023 18.10 PM	0.07
	5	20/09/2023 18.26 PM	20/09/2023 18.30 PM	0.04
	6	20/09/2023 18.36 PM	20/09/2023 18.44 PM	0.08

Mesin	No.	Waktu Kerusakan		Downtime
	Urut	Mulai	Finish	(Jam)
	7	20/09/2023 20.54 PM	20/09/2023 20.56 PM	1,2
	8	21/09/2023 15.55 PM	21/09/2023 17.05 PM	66
	9	21/09/2023 18.48 PM	21/09/2023 18.56 PM	4,8
	10	21/09/2023 21.24 PM	21/09/2023 21.42 PM	13,2
	11	22/09/2023 02.18 AM	22/09/2023 02.22 AM	2,4
	12	22/09/2023 00.00 AM	22/09/2023 01.13 AM	67,8
	13	22/09/2023 07.10 AM	22/09/2023 07.15 AM	3
	14	22/09/2023 18.23 PM	22/09/2023 18.28 PM	2,4
	15	23/09/2023 02.18 AM	23/09/2023 02.22 AM	2,4
	16	23/09/2023 19.49 PM	23/09/2023 20.46 PM	34,2
	17	25/09/2023 06.47 AM	25/09/2023 06.48 AM	0,6
	18	25/09/2023 19.19 PM	25/09/2023 19.20 PM	0,6
	19	25/09/2023 20.57 PM	25/09/2023 21.40 PM	10,2
	20	26/09/2023 01.35 AM	26/09/2023 01.42 AM	4,2
	21	26/09/2023 02.30 AM	26/09/2023 02.34 AM	2,4
	22	26/09/2023 03.00 AM	26/09/2023 03.03 AM	1,8
	23	27/09/2023 07.55 AM	28/09/2023 00.00 AM	963
	24	28/09/2023 19.09 PM	28/09/2023 19.10 PM	0,6
	25	28/09/2023 19.28 PM	28/09/2023 19.30 PM	1,2
	26	29/09/2023 14.24 PM	29/09/2023 14.42 PM	13,2
	27	29/09/2023 21.36 PM	29/09/2023 21.40 PM	2,4
	28	29/09/2023 23.24 PM	29/09/2023 23.27 PM	1,8
	29	30/09/2023 23.18 PM	30/09/2023 23.31 PM	7,8
	30	03/10/2023 00.00 AM	04/10/2023 00.00 AM	1440
	31	04/10/2023 00.00 AM	05/10/2023 00.00 AM	1440
	32	05/10/2023 00.00 AM	06/10/2023 00.00 AM	1440
	33	06/10/2023 00.00 AM	07/10/2023 00.00 AM	1440
	34	07/10/2023 21.47 PM	07/10/2023 21.55 PM	4,8
	35	08/10/2023 04.01 AM	08/10/2023 04.10 AM	5,4

Mesin	No.	Waktu Kerusakan		Downtime
	Urut	Mulai	Finish	(Jam)
	36	08/10/2023 05.44 AM	08/10/2023 05.56 AM	7,2
	37	08/10/2023 23.36 PM	08/10/2023 23.40 PM	2,4
	38	08/10/2023 23.49 PM	08/10/2023 23.57 PM	4,8
	39	09/10/2023 06.30 AM	09/10/2023 06.42 AM	7,2
	40	09/10/2023 10.32 AM	09/10/2023 10.38 AM	3,6
	41	09/10/2023 21.53 PM	09/10/2023 22.16 PM	13,8
	42	10/10/2023 04.32 AM	10/10/2023 04.33 AM	0,6
	43	10/10/2023 07.46 AM	10/10/2023 08.47 AM	60,6
	44	10/10/2023 20.54 PM	10/10/2023 20.59 PM	3
	45	11/10/2023 03.17 AM	11/10/2023 03.22 AM	3
	46	11/10/2023 07.50 AM	11/10/2023 08.22 AM	19,2
	47	12/10/2023 00.00 AM	13/10/2023 00.00 AM	1440
	48	13/10/2023 00.00 AM	14/10/2023 00.00 AM	1440
	49	14/10/2023 19.00 PM	14/10/2023 20.27 PM	76,2
	50	14/10/2023 20.46 PM	14/10/2023 20.54 PM	6
	51	14/10/2023 21.27 PM	14/10/2023 21.28 PM	0,6
	52	15/10/2023 07.27 AM	15/10/2023 08.32 AM	63
	53	15/10/2023 11.29 AM	15/10/2023 11.31 AM	1,2
	54	15/10/2023 20.01 PM	15/10/2023 20.11 PM	6
	55	16/10/2023 19.52 PM	16/10/2023 20.30 PM	22,8
	56	17/10/2023 06.33 AM	17/10/2023 09.18 AM	147
	57	19/10/2023 07.10 AM	19/10/2023 08.12 AM	61,2
	58	19/10/2023 12.14 PM	20/10/2023 00.00 AM	687,6
	59	20/10/2023 00.00 AM	21/10/2023 00.00 AM	1440
Jaw	1	21/09/2023 08.20 AM	21/09/2023 11.22 AM	3.02
Crusher	...	...	...	...
	34	18/10/2023 22.54 PM	19/10/2023 00.00 AM	1.06
Conveyor	1	21/09/2023 19.36 PM	21/09/2023 19.41 PM	0.05
	...	...	...	...

Mesin	No.	Waktu Kerusakan		Downtime (Jam)
	Urut	Mulai	Finish	
	48	16/10/2023 22.00 PM	16/10/2023 22.21 PM	0.21

Berdasarkan tabel data kerusakan mesin dan peralatan pada area crusher dari tanggal 20 september 2023 sampai dengan 20 oktober 2023 didapatkan bahwa jumlah waktu downtimanya sebesar 367,51 jam dari 720 jam yang harusnya terpenuhi karena mesin dan peralatan di industri tambang bekerja selama 24 jam *nonstop*, yang berarti sebanyak 53% downtime yang terjadi selama sebulan pada proses produksi di area crusher. Hal ini menyebabkan penurunan jumlah tonase harian yang berpengaruh pada proses produksi selanjutnya sehingga proses produksi emas berkurang atau biaya pendapatan berkurang dan biaya perbaikan alat bertambah.

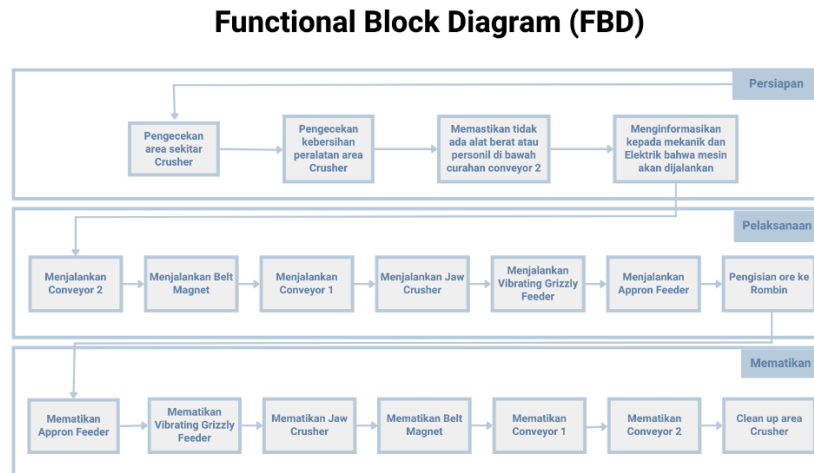
Penilaian terhadap mode kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada proses produksi area crusher di plant 4000 blok I dilakukan dengan melakukan wawancara langsung kepada operator dan spv yang bersangkutan terkait nilai parameter FMEA pada setiap mode kegagalan. Berikut ini merupakan rekap data responden yang telah diwawancara.

Tabel 4.2 Responden

Departemen	Jabatan
Process Plant	Manajer PPD
Process Plant	Superintendent
Process Plant	Supervisor Crusher
Process Plant	Operator Crusher
Metalurgi	Manajer Metalurgi
Metalurgi	Senior Staff Metalurgi
Mechanical	SPV Mechanical plant 4000

4.3 Pengolahan Data Kualitatif

4.3.1 *Functional Block Diagram (FBD)*



Gambar 4.4 *Functional Block Diagram (FBD)*

Berdasarkan diagram FBD diatas yang menjelaskan alur proses produksi pada area crusher plant 4000 dari awal persiapan yaitu pengecekan area crusher, pelaksanaan yaitu menjalankan conveyor 2 sampai dengan akhir pemberhentian proses crusher dimana dilakukan pemberhentian *apron feeder*. Proses produksi yang ada pada area crusher industri pertambangan bersifat *continue* atau berkelanjutan sehingga pemberhentian hanya terjadi pada saat mesin atau peralatan mengalami kendala berupa kerusakan atau kegagalan saat proses produksi berlangsung.

4.3.2 *Failure Mode and Effect Analysis Method (FMEA)*

Berdasarkan nilai kritis RPN dari 17 mode kegagalan yang terjadi nilai *severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) yang dipilih merupakan nilai yang telah disepakati atau di konfirmasi dari beberapa responden sebelumnya. Pemilihan nilai ini dilakukan untuk mengetahui mode kegagalan yang dapat mempengaruhi kegagalan proses produksi tonase di area crusher. Berdasarkan

17 risiko yang terdaftar serta diketahui nilai RPN dari masing-masing risiko tersebut, langkah yang selanjutnya yaitu melakukan penentuan nilai risiko kritis. Perhitungan nilai risiko kritis ini dilakukan untuk melanjutkan penyelesaian permasalahan pada mesin dan peralatan di area crusher yang mempengaruhi proses produksi tonase. Suatu risiko dikategorikan sebagai risiko kritis jika memiliki nilai RPN di atas nilai kritis. Nilai kritis RPN ditentukan dengan mengetahui rata-rata nilai RPN dari seluruh risiko.

$$\text{Nilai Kritis RPN} = \frac{\text{Total RPN}}{\text{Jumlah Risiko}} = \frac{839}{17} = 49,3$$

Maka, diperoleh empat risiko kritis yang nilainya berada di atas nilai kritis RPN yaitu sebesar 49,3 sesuai dengan hasil perhitungan dari persamaan Pada tabel di bawah:

Tabel 4.3 *Failure Mode and Effect Analysis Method (FMEA)*

Mesin/ Alat	Function	Komponen	Mode Kegagalan	Dampak Kegagalan	Penyebab Kegagalan	S	O	D	R
ROM Bin	Tempat menampung ore atau material yang akan di hancurkan oleh Crusher	Ruang ROM Bin	Terjadinya <i>block</i> di ROM Bin	Terhambatn ya proses aliran ore ke Crusher	ukuran ore melebihi ukuran standar atau belum di sortir oleh geo dan Human Error	3	5	5	4
		Fasilitas ROM Bin	Lampu di area Crusher tidak berfungsi	ore meluap keluar jika levelnya tinggi, dan crusher berhenti jika levelnya rendah	sensor level rombin tidak bekerja atau terbentur ore yang penuh	3	3	6	5
Apron Feeder	Berfungsi untuk mengumpankan material atau ore dari ROM Bin ke <i>Vibrating Grizzly</i> dan mengontrol aliran ore dengan mengatur kecepatannya.	<i>Pan Apron</i>	Kegagalan <i>Pan Apron</i> pada <i>Apron Feeder</i>	Terhambatny a proses aliran ore ke Crusher, peningkatan downtime, dan penurunan produktivitas	overloading, material tajam, dan keausan pada pan apron	6	2	2	2

		Roller dan Bearing	Kegagalan <i>roller</i> dan <i>bearing</i> pada <i>Apron Feeder</i>	Gesekan, getaran, dan kebisingan yang meningkat mengurangi efisiensi operasi dan keausan berkelanjutan	Kelebihan beban ore dan kurangnya pelumas	3	3	5	4
		Motor Penggerak	Kegagalan motor penggerak pada <i>Apron Feeder</i>	<i>Apron feeder</i> berhenti secara tiba-tiba	ore berlebih, kelebihan beban ore dan kelistrikan ataupun komponen error	2	3	6	3
		Skirt boards	Terjadinya <i>block</i> di <i>Apron Feeder</i>	Terhambatnya proses aliran ore ke Crusher	ukuran ore melebihi standar atau belum di sortir oleh bagian geo dan Human Error	3	3	5	4
<i>Vibrating Grizzly</i>	Berfungsi sebagai pemisah ore atau material berdasarkan ukurannya	Bearing	Kegagalan <i>bearing</i> pada <i>Vibrating Grizzly</i>	Penundaan dalam proses pengumpanan ore, peningkatan	Kerusakan bearing	2	8	3	4

					downtime, dan penurunan produktivitas					
			Frame (rangka)	Cover terangkat saat crusher running dan tidak cukup efisien menahan ore pada <i>Vibrating Grizzly</i>	ore atau material dan meluap dan berjatuhan dan berpotensi bahaya bagi operator	ore yang mengganjal diantara vibrating grizzly dan cover	3	2	4	2
			Motor penggerak	Kegagalan motor penggerak pada <i>Vibrating Grizzly</i>	pemberhentia n operasi vibrating grizzly feeder secara keseluruhan	Human Error, overheat	6	7	4	1
			Deck	Block pada <i>Vibrating Grizzly</i>	ore tertahan di vibrating grizzly dan tidak mau jatuh	Menumpuknya ore (tanah) di grizzly bar	2	2	7	2
<i>Jaw crusher</i>	Berfungsi sebagai alat pemecah ore atau material		Bearing	Kegagalan bearing pada <i>Jaw Crusher</i>	Penurunan produktivitas , getaran berlebihan	Kurangnya pelumasan, bearing aus, atau kerusakan pada bearing	3	2	6	3

			<i>Transfer chute</i>	Kebocoran pada <i>transfer chute</i> pada <i>Jaw Crusher</i>	Ore meluap keluar karena blog	Benturan dari ore yang keras	4	2	5	4
			<i>fixed jaw plate dan moving jaw plate</i>	Kegagalan pemecahan ore oleh <i>swing jaw</i> dan <i>fix jaw</i> pada <i>Jaw Crusher</i>	potensi bahaya bagi operator, kerusakan pada jaw crusher, dan berhentinya operasi	korosi, kelebihan beban ore, getaran berlebihan	3	4	5	6
onveyor	Berfungsi sebagai alat pengangkut material atau ore ke proses selanjutnya	Belt		Kegagalan belt pada <i>Conveyor</i>	peningkatan downtime, gangguan aliran ore, dan penurunan produktivitas	elt conveyor aus dan kerusakan yang dapat dipicu oleh overloading, dan ore tajam	6	3	5	9
			Roller dan Bearing	kegagalan roller dan bearing pada <i>Conveyor</i>	gesekan, getaran, dan kebisingan meningkat sehingga mengurangi efisiensi operasi dan mengakibatkan	kelebihan beban ore, kurangnya pelumas dan kerusakan pada komponen roller	3	3	4	3

				an keausan pada bearing					
Motor penggerak	kegagalan motor penggerak pada <i>Conveyor</i>	motor pada	penghentian operasi conveyor secara keseluruhan	kelebihan beban ore, kelistrikan ataupun kerusakan komponen motor, human error	3	2	5	3	
<i>Belt</i> sway atau sensor	kegagalan sway atau sensor pada <i>Conveyor</i>	<i>belt</i> atau sensor	ore merembes dan tumpah	licin akibat cuaca atau ore yang diangkut dalam keadaan basah	3	2	5	30	

Berdasarkan dari tabel diatas didapatkan bahwa mesin *Vibrating Grizzly* dengan komponen Motor Penggerak merupakan komponen yang memiliki nilai RPN tertinggi yaitu 168 yang berarti merupakan komponen kritis. Berikut ini merupakan penjelasan lebih lanjut dari metode FMEA komponen Motor Penggerak *Vibrating Grizzly* untuk menentukan *Severity*, *Occurance*, dan *Detection*nya:

1. *Severity*: Kegagalan yang terjadi pada komponen Motor Penggerak memiliki dampak yang sangat parah dengan tingkat keparahannya bernilai 6. Dalam situasi tersebut area crusher akan berhenti beroperasi secara total dan kehilangan fungsi utamanya.
2. *Occurance*: Tingkat kejadian komponen Motor Penggerak mengalami kegagalan yang cukup tinggi dengan nilai 7, hal ini membuktikan bahwa kegagalan sering terjadi.
3. *Detection*: Kemampuan pengendalian terhadap kegagalan pada komponen Motor Penggerak didapatkan tingkat deteksinya mencapai nilai 4.
4. Kategori kritis: Tingkat kritis berdasarkan nilai rata-rata pada semua komponen.

Risk Priotity Number (RPN) dari komponen Motor Penggerak diperoleh dengan mengalikan tingkat severity, occurance, dan detection, yaitu $6 \times 7 \times 4 = 168$ yang termasuk pada kategori paling kritis diantara komponen lainnya yang memiliki nilai RPN diatas 49,3 yang berarti rentan mengalami kerusakan.

4.3.3 *Logic Tree Analysis* (LTA)

Logic Tree Analysis (LTA) dilakukan untuk mencari jenis perawatan apakah yang memiliki efektivitas dan optimalitas terbaik dalam mengatasi setiap mode kegagalan. Pada tahap ini bertujuan untuk memberikan prioritas pada setiap mode kerusakan yang ada. Berikut ini merupakan hasil dari LTA setiap komponen:

Tabel 4.4 *Logic Tree Analysis* (LTA)

Mesin/ Alat	Function	Komponen	Mode Kegagalan	Critically Analysis			
				Evident	Safety	Outage	Category
ROM Bin	Tempat menamp ung ore atau material yang akan di hancurk an oleh Crusher	Ruang ROM Bin	Terjadiny a <i>block</i> di ROM Bin	Y	Y	N	D
		Fasilitas ROM Bin	Lampu di area Crusher tidak berfungsi	N	Y	N	C
Apro n Feeder	Berfung si untuk mengu mpanka n material atau ore dari ROM Bin ke <i>Vibratin g</i>	<i>Pan Apron</i>	Kegagala n <i>Pan Apron pada Apron Feeder</i>	N	Y	N	C
		Roller dan Bearing	Kegagala n <i>roller dan bearing pada Apron</i>	Y	N	N	C

Mesin/ Alat	Function	Komponen	Mode Kegagalan	Critically Analysis			
				Evident	Safety	Outage	Category
	Grizzly	Feeder					
	dan	Motor	Kegagala	Y	N	Y	B
	mengon	Penggera	n motor				
	trol	k	penggera				
	aliran		k pada				
	ore		Apron				
	dengan		Feeder				
	mengat	Skirt	Terjadiny	Y	Y	N	D
	ur	boards	a block di				
	kecepat		Apron				
annya.		Feeder					
Vibra ting Grizzl y	Berfung	Bearing	Kegagala	Y	N	N	C
	si		n bearing				
	sebagai		pada				
	pemisah		Vibrating				
	ore atau		Grizzly				
	material	Frame	Cover	Y	Y	N	D
	berdasar	(rangka)	terangkat				
	kan		saat				
	ukurann		crusher				
	ya		running				
			dan tidak				
			cukup				
			efisien				
			menahan				
			ore pada				

Mesin/ Alat	Function	Komponen	Mode Kegagalan	Critically Analysis			
				Evident	Safety	Outage	Category
			<i>Vibrating Grizzly</i>				
			Motor penggera k	Y	N	Y	B
			Kegagala n motor penggera k pada <i>Vibrating Grizzly</i>				
			Deck	Y	Y	N	D
Jaw Crusher	Berfungsi sebagai alat pemecah ore atau material	Bearing	Kegagala n bearing pada <i>Jaw Crusher</i>	Y	N	N	C
		<i>Transfer chute</i>	Kebocora n pada <i>transfer chute</i> pada <i>Jaw Crusher</i>	Y	Y	N	D
		<i>fixed jaw plate dan moving jaw plate</i>	Kegagala n pemecaha n ore oleh	Y	N	Y	B

Mesin/ Alat	Function	Komponen	Mode Kegagalan	Critically Analysis			
				Evident	Safety	Outage	Category
			<i>swing jaw</i> dan <i>fix</i> <i>jaw</i> pada <i>Jaw</i> <i>Crusher</i>				
Conveyor	Berfungsi sebagai alat pengangkut material atau ore ke proses selanjutnya	Belt	Kegagalan belt pada <i>Conveyor</i>	Y	N	N	C
		Roller dan Bearing	kegagalan roller dan bearing pada <i>Conveyor</i>	Y	N	N	C
		Motor penggerak	kegagalan motor penggerak pada <i>Conveyor</i>	Y	N	Y	B
		<i>Belt sway</i> atau sensor	kegagalan <i>belt sway</i> atau sensor pada <i>Conveyor</i>	Y	N	N	C

Berdasarkan dari tabel LTA di atas, dapat dijelaskan bahwa pada metode LTA dilakukan perangkingan pada komponen-komponen yang memiliki nilai RPN tertinggi untuk diketahui nilai *Evident*, *Safety*, dan *Outage*nya yang selanjutnya akan dibagi menjadi empat kategori yaitu A, B, C, dan D. Pada komponen Motor Penggerak memiliki rangking LTA tertinggi yaitu berada pada kategori B (*Outage*). Dimana kategori tersebut ditentukan dengan menjawab tiga pertanyaan sebagai berikut:

1. *Evident*, apakah operator dalam keadaan normal mampu menyadari terjadinya kerusakan? **YA**
2. *Safety*, yaitu apakah kegagalan tersebut dapat membahayakan keselamatan? **NO**
3. *Outage*, yaitu apakah kegagalan ini dapat menyebabkan seluruh atau sebagian sistem berhenti? **YA**

Maka komponen Motor Penggerak pada mesin *Vibrating Grizzly* termasuk dalam **kategori B** yaitu *Outage*, dimana kegagalan pada komponen tersebut dapat menghentikan sebagian atau seluruh sistem kerja komponen, sehingga mempengaruhi operasi pabrik seperti kuantitas, kualitas produk, dan juga hasil produksi dan berpotensi menjadikan biaya semakin besar yang seharusnya dapat dihindari oleh perusahaan.

4.3.4 Selection Task

Pada tahap *Selection Task* tindakan dilakukan berdasarkan dari beberapa pertanyaan roadmap pemilihan tindakan digunakan untuk memilih tindakan yang tepat untuk setiap mode kegagalan yang terjadi pada suatu mesin. berikut merupakan hasil nilai *Selection Task*:

Tabel 4.5 *Selection Task*

Mesin/ Alat	Function	Komponen	Mode Kegagalan	Critically Analysis							Task Selection
				1	2	3	4	5	6	7	
ROM Bin	Tempa t	Ruang ROM Bin	Terjadiny a block di	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD

Mesin/ Alat	Function	Komponen	Mode Kegagalan	Critically Analysis							Task Selection
				1	2	3	4	5	6	7	
	mena		ROM Bin								
	mpung	Fasilitas	Lampu di	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD
	ore	ROM Bin	area								
	atau		Crusher								
	materi		tidak								
	al yang		berfungsi								
	akan di										
	hancur										
	kan										
	oleh										
	Crushe										
	r										
Apron Feeder	Berfun	<i>Pan</i>	Kegagalan	Y	Y	Y	N	-	Y	-	CD
	gsi	<i>Apron</i>	<i>Pan</i>								
	untuk		<i>Apron</i>								
	mengu		pada								
	mpank		<i>Apron</i>								
	an		<i>Feeder</i>								
	materi	Roller dan	Kegagalan	Y	Y	N	N	-	Y	-	TD
	al atau	Bearing	<i>roller dan</i>								
	ore		<i>bearing</i>								
	dari		pada								
	ROM		<i>Apron</i>								
	Bin ke		<i>Feeder</i>								
	Vibrat	Motor	Kegagalan	Y	Y	Y	N	-	Y	-	FF
	ing	Penggerak	motor								

Mesin/ Alat	Function	Komponen	Mode Kegagalan	Critically Analysis							Task Selection
				1	2	3	4	5	6	7	
	<i>Grizzly</i> dan mengontrol aliran ore dengan mengatur kecepatannya		penggerak pada <i>Apron Feeder</i>								
		Skirt boards	Terjadinya <i>a block</i> di <i>Apron Feeder</i>	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD
Vibrating Grizzly	Berfungsi sebagai pemisah ore atau materi al berdasarkan ukuran nya	Bearing	Kegagalan <i>bearing</i> pada <i>Vibrating Grizzly</i>	Y	Y	Y	N	-	Y	-	CD
		Frame (rangka)	<i>Cover</i> terangkat saat crusher running dan tidak cukup efisien	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD

Mesin/ Alat	Function	Komponen	Mode Kegagalan	Critically Analysis							Task Selection
				1	2	3	4	5	6	7	
			menahan ore pada <i>Vibrating Grizzly</i>								
		Motor penggerak	Kegagalan motor penggerak pada <i>Vibrating Grizzly</i>	Y	Y	Y	N	-	Y	-	FF
		Deck	Block pada <i>Vibrating Grizzly</i>	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD
Jaw Crusher	Berfungsi sebagai alat	Bearing	Kegagalan bearing pada <i>Jaw Crusher</i>	Y	Y	Y	N	-	Y	-	CD
	pemecah ore atau material	<i>Transfer chute</i>	Kebocoran pada <i>transfer chute</i> pada <i>Jaw Crusher</i>	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD
		<i>fixed jaw plate dan</i>	Kegagalan pemecaha	Y	N	N	Y	N	Y	-	CD

Mesin/ Alat	Function	Komponen	Mode Kegagalan	Critically Analysis							Task Selection
				1	2	3	4	5	6	7	
		<i>moving jaw plate</i>	n ore oleh <i>swing jaw</i> dan <i>fix</i> <i>jaw</i> pada <i>Jaw</i> <i>Crusher</i>								
Conveyor	Berfungsi sebagai alat pengangkutan material atau ore ke proses selanjutnya	Belt	Kegagalan belt pada <i>Conveyor</i>	Y	Y	Y	Y	N	Y	-	TD
		Roller dan Bearing	kegagalan roller dan bearing pada <i>Conveyor</i>	Y	Y	Y	N	-	Y	-	CD
		Motor penggerak	kegagalan motor penggerak pada <i>Conveyor</i>	Y	Y	Y	N	-	Y	-	FF
		<i>Belt sway</i> atau sensor	kegagalan <i>belt sway</i> atau sensor pada <i>Conveyor</i>	Y	Y	N	N	-	Y	-	CD

Berdasarkan tabel diatas dapat dijelaskan untuk komponen *Vibrating Grizzly* pada metode LTA untuk menentukan *Selection Task*:

1. Apakah komponen komponen Motor Penggerak pada mesin *Vibrating Grizzly* memiliki hubungan antar kerusakan dan reliabilitas usia? YA
2. Apakah TD dapat dilakukan? YA
3. Apakah CD dapat dilakukan? YA
4. Apakah masuk dalam kategori D (*Hidden Failure*)? NO
5. Apakah FF dapat dilakukan? -
6. Apakah ada tindakan yang dipilih efektif? YA
7. Dapatkah desain dari modifikasi dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya? -
8. FF

Selection Task yang didapatkan adalah **FF (*Finding Failure*)** yaitu tindakan perawatan yang dilakukan dengan tujuan untuk menemukan kerusakan yang tersembunyi dengan dilakukan pemeriksaan berkala pada komponen Motor Penggerak *Vibrating Grizzly*.

4.4 Pengolahan Data Kuantitatif

4.4.1 Penentuan Mesin Kritis

Penentuan mesin kritis dilakukan untuk mengetahui manakah mesin yang akan diprioritaskan penyelesaiannya dengan total downtime terbesar. Berikut ini merupakan jumlah total frekuensi downtime mesin yang ada di area crusher:

Tabel 4.6 Jumlah Total Frekuensi Downtime Mesin

No.	Mesin	Frekuensi	Downtime (menit)	% Downtime	Downtime Kumulatif
1.	<i>Vibrating Grizzly</i>	59	12956,4	51,97%	51,97%
2.	<i>Jaw</i>	38	7909,2	31,724868%	83,69%

<i>Crusher</i>					
3.	<i>ROM Bin</i>	43	2481,6	9,9540324%	93,65%
4.	<i>Conveyor</i>	48	1226,4	4,9192559%	98,57%
5.	<i>Apron</i>	13	357	1,4319752%	100,00%
<i>Feeder</i>					
Total		201	24930,6		

Berdasarkan tabel diatas didapatkan bahwa mesin yang memiliki downtime terbesar adalah mesin *Vibrating Grizzly* dengan presentase 51,9% dari total presentase downtime pada mesin lainnya yang ada di area crusher. Berikut ini merupakan diagram Pareto yang menunjukkan distribusi *downtime* pada mesin lainnya yang ada di area crusher:

4.4.2 Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis dilakukan untuk mengetahui manakah komponen dari mesin *Vibrating Grizzly* yang akan diprioritaskan penyelesaiannya dengan total *downtime* terbesar. Berikut ini merupakan jumlah total frekuensi *downtime* komponen dari mesin *Vibrating Grizzly*:

Tabel 4.7 Jumlah Total Frekuensi *Downtime* Komponen *Vibrating Grizzly*

No.	Komponen	Frekuensi	Downtime (menit)	% Downtime	Downtime Kumulatif
1.	<i>Motor Penggerak</i>	30	6312	48,13544	48,14 %
2.	<i>Bearing</i>	9	3046	23,22886	71,36 %
3.	<i>Deck</i>	10	2263	17,25768	88,62 %
4.	<i>Frame</i>	10	1492	11,37802	100,00 %
Total		59	13113		

Berdasarkan tabel diatas didapatkan bahwa mesin yang memiliki *downtime* terbesar adalah komponen Motor Penggerak dengan presentase 48,14% dari total presentase downtime pada komponen Motor Penggerak yang ada di mesin *Vibrating Grizzly*.

4.4.3 Perhitungan Kerusakan dan Perbaikan

Data mengenai total waktu downtime dari mesin *Vibrating Grizzly* tersedia untuk periode mulai dari 20 september 2023 sampai dengan 20 oktober 2023. Berikut adalah rincian data tersebut:

Tabel 4.8 Data Waktu *Downtime* Mesin Vibrating Grizzly

Mesin	No. Urut	Waktu Kerusakan		Downtime (menit)
		Mulai	Finish	
<i>Vibrating Grizzly</i>	1.	20/09/2023 08.00 AM	20/09/2023 15.41 PM	444,6
	2.	20/09/2023 17.04 PM	20/09/2023 17.08 PM	2,4
	3.	20/09/2023 17.53 PM	20/09/2023 17.59 PM	3,6
	4.	20/09/2023 18.03 PM	20/09/2023 18.10 PM	4,2
	5.	20/09/2023 18.26 PM	20/09/2023 18.30 PM	2,4
	6.	20/09/2023 18.36 PM	20/09/2023 18.44 PM	4,8
	7.	20/09/2023 20.54 PM	20/09/2023 20.56 PM	1,2
	8.	21/09/2023 15.55 PM	21/09/2023 17.05 PM	66
	9.	21/09/2023 18.48 PM	21/09/2023 18.56 PM	4,8
	10.	21/09/2023 21.24 PM	21/09/2023 21.42 PM	13,2
	11.	22/09/2023 02.18 AM	22/09/2023 02.22 AM	2,4
	12.	22/09/2023 00.00 AM	22/09/2023 01.13 AM	67,8
	13.	22/09/2023 07.10 AM	22/09/2023 07.15 AM	3
	14.	22/09/2023 18.23 PM	22/09/2023 18.28 PM	2,4
	15.	23/09/2023 02.18 AM	23/09/2023 02.22 AM	2,4
	16.	23/09/2023 19.49 PM	23/09/2023 20.46 PM	34,2
	17.	25/09/2023 06.47 AM	25/09/2023 06.48 AM	0,6
	18.	25/09/2023 19.19 PM	25/09/2023 19.20 PM	0,6
	19.	25/09/2023 20.57 PM	25/09/2023 21.40 PM	10,2
	20.	26/09/2023 01.35 AM	26/09/2023 01.42 AM	4,2
	21.	26/09/2023 02.30 AM	26/09/2023 02.34 AM	2,4
	22.	26/09/2023 03.00 AM	26/09/2023 03.03 AM	1,8
	23.	27/09/2023 07.55 AM	28/09/2023 00.00 AM	963

Mesin	No.	Waktu Kerusakan		Downtime (menit)
	Urut	Mulai	Finish	
	24.	28/09/2023 19.09 PM	28/09/2023 19.10 PM	0,6
	25.	28/09/2023 19.28 PM	28/09/2023 19.30 PM	1,2
	26.	29/09/2023 14.24 PM	29/09/2023 14.42 PM	13,2
	27.	29/09/2023 21.36 PM	29/09/2023 21.40 PM	2,4
	28.	29/09/2023 23.24 PM	29/09/2023 23.27 PM	1,8
	29.	30/09/2023 23.18 PM	30/09/2023 23.31 PM	7,8
	30.	03/10/2023 00.00 AM	04/10/2023 00.00 AM	1440
	31.	04/10/2023 00.00 AM	05/10/2023 00.00 AM	1440
	32.	05/10/2023 00.00 AM	06/10/2023 00.00 AM	1440
	33.	06/10/2023 00.00 AM	07/10/2023 00.00 AM	1440
	34.	07/10/2023 21.47 PM	07/10/2023 21.55 PM	4,8
	35.	08/10/2023 04.01 AM	08/10/2023 04.10 AM	5,4
	36.	08/10/2023 05.44 AM	08/10/2023 05.56 AM	7,2
	37.	08/10/2023 23.36 PM	08/10/2023 23.40 PM	2,4
	38.	08/10/2023 23.49 PM	08/10/2023 23.57 PM	4,8
	39.	09/10/2023 06.30 AM	09/10/2023 06.42 AM	7,2
	40.	09/10/2023 10.32 AM	09/10/2023 10.38 AM	3,6
	41.	09/10/2023 21.53 PM	09/10/2023 22.16 PM	13,8
	42.	10/10/2023 04.32 AM	10/10/2023 04.33 AM	0,6
	43.	10/10/2023 07.46 AM	10/10/2023 08.47 AM	60,6
	44.	10/10/2023 20.54 PM	10/10/2023 20.59 PM	3
	45.	11/10/2023 03.17 AM	11/10/2023 03.22 AM	3
	46.	11/10/2023 07.50 AM	11/10/2023 08.22 AM	19,2
	47.	12/10/2023 00.00 AM	13/10/2023 00.00 AM	1440
	48.	13/10/2023 00.00 AM	14/10/2023 00.00 AM	1440
	49.	14/10/2023 19.00 PM	14/10/2023 20.27 PM	76,2
	50.	14/10/2023 20.46 PM	14/10/2023 20.54 PM	6
	51.	14/10/2023 21.27 PM	14/10/2023 21.28 PM	0,6
	52.	15/10/2023 07.27 AM	15/10/2023 08.32 AM	63

Mesin	No. Urut	Waktu Kerusakan		Downtime (menit)
		Mulai	Finish	
	53.	15/10/2023 11.29 AM	15/10/2023 11.31 AM	1,2
	54.	15/10/2023 20.01 PM	15/10/2023 20.11 PM	6
	55.	16/10/2023 19.52 PM	16/10/2023 20.30 PM	22,8
	56.	17/10/2023 06.33 AM	17/10/2023 09.18 AM	147
	57.	19/10/2023 07.10 AM	19/10/2023 08.12 AM	61,2
	58.	19/10/2023 12.14 PM	20/10/2023 00.00 AM	687,6
	59.	20/10/2023 00.00 AM	21/10/2023 00.00 AM	1440

4.4.4 Identifikasi Data dengan Distribusi

4.4.4.1 Penentuan Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan pada Komponen Motor Penggerak *Vibrating Grizzly*

Penentuan distribusi data waktu antar kerusakan dilakukan untuk menentukan jenis distribusi yang paling sesuai dalam menggambarkan data jarak antara kegagalan tersebut dan mengidentifikasi motor penggerak sebagai komponen dengan *downtime* tertinggi. Adapun data rentang kerusakan dirangkum dalam tabel berikut:

Tabel 4.9 Data Waktu Kerusakan Komponen Motor Penggerak

No. Urut	Waktu Kerusakan		Ti (menit)	Ti (urut)
	Mulai	Finish		
1.	20/09/2023 08.00 AM	20/09/2023 15.41 PM	0	0
2.	20/09/2023 21.47 PM	20/09/2023 21.55 PM	366	259
3.	21/09/2023 15.55 PM	21/09/2023 17.05 PM	1080	276
4.	21/09/2023 21.24 PM	21/09/2023 21.42 PM	259	366
5.	22/09/2023 02.18 AM	22/09/2023 02.22 AM	276	375
6.	22/09/2023 18.23 PM	22/09/2023 18.28 PM	2401	376
7.	23/09/2023 19.49 PM	23/09/2023 20.46 PM	1521	534
8.	25/09/2023 05.44 AM	25/09/2023 05.56 AM	1978	591

No. Urut	Waktu Kerusakan		Ti (menit)	Ti (urut)
	Mulai	Finish		
9.	25/09/2023 19.19 PM	25/09/2023 19.20 PM	803	603
10.	26/09/2023 01.35 AM	26/09/2023 01.42 AM	375	635
11.	27/09/2023 07.55 AM	28/09/2023 00.00 AM	1813	651
12.	28/09/2023 19.09 PM	28/09/2023 19.10 PM	1149	675
13.	29/09/2023 14.24 PM	29/09/2023 14.42 PM	1154	803
14.	29/09/2023 23.36 PM	29/09/2023 23.40 PM	534	902
15.	03/10/2023 00.00 AM	04/10/2023 00.00 AM	4340	938
16.	05/10/2023 00.00 AM	06/10/2023 00.00 AM	1440	981
17.	07/10/2023 20.54 PM	07/10/2023 20.56 PM	2694	1021
18.	08/10/2023 06.47 AM	08/10/2023 06.48 AM	591	1080
19.	08/10/2023 23.49 PM	08/10/2023 23.57 PM	1021	1149
20.	09/10/2023 10.32 AM	09/10/2023 10.38 AM	635	1154
21.	09/10/2023 21.53 PM	09/10/2023 22.16 PM	675	1440
22.	10/10/2023 04.32 AM	10/10/2023 04.33 AM	376	1521
23.	10/10/2023 20.54 PM	10/10/2023 20.59 PM	981	1813
24.	11/10/2023 07.50 AM	11/10/2023 08.22 AM	651	1941
25.	12/10/2023 00.00 AM	13/10/2023 00.00 AM	938	1978
26.	14/10/2023 19.00 PM	14/10/2023 20.27 PM	2580	2401
27.	15/10/2023 11.29 AM	15/10/2023 11.31 AM	902	2580
28.	16/10/2023 19.52 PM	16/10/2023 20.30 PM	1941	2694
29.	17/10/2023 06.33 AM	17/10/2023 09.18 AM	603	2752
30.	19/10/2023 07.10 AM	19/10/2023 08.12 AM	2752	4340

Pada pengujian ini, digunakan empat jenis distribusi yaitu distribusi *Ekspensial*, *Normal*, *Lognormal*, dan *Weibull* untuk menghitung nilai indeks kecocokan (*Index of Fit*) dari masing-masing distribusi tersebut dengan perhitungan lengkap yang dilampirkan pada lampiran penelitian. Adapun contoh perhitungan pada dengan distribusi terpilih yaitu dsitribusi Lognormal untuk waktu antar kerusakan adalah sebagai berikut:

Distribusi Lognormal

$$\begin{aligned}
Xi &= \ln ti \\
&= \ln 259 = 5,556828062 \\
Xi^2 &= 5,556828062^2 \\
&= 30,8783 \\
F(ti) &= \frac{i-0,3}{29+0,4} \\
&= \frac{1-0,3}{29+0,4} = 0,02380952 \\
Yi &= Zi = \Phi^{-1}(F(ti)) \\
&= Zi = \Phi^{-1}(0,02380952) = -1,9807524 \\
Yi^2 &= -1,9807524^2 \\
&= 3,92338 \\
XiYi &= 5,556828062 \times -1,9807524 \\
&= -11,007
\end{aligned}$$

Tabel 4.10 Distribusi Lognormal

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	259	5,556828062	30,8783	0,02381	-1,9808	3,92338	-11,007
2	276	5,620400866	31,5889	0,05782	-1,5733	2,47532	-8,8427
3	366	5,902633333	34,8411	0,09184	-1,3295	1,76765	-7,8477
4	375	5,926926026	35,1285	0,12585	-1,1462	1,31384	-6,7936
5	376	5,929589143	35,16	0,15986	-0,995	0,99006	-5,9
6	534	6,280395839	39,4434	0,19388	-0,8637	0,74597	-5,4244
7	591	6,381816017	40,7276	0,22789	-0,7458	0,55623	-4,7596
8	603	6,401917197	40,9845	0,2619	-0,6375	0,40639	-4,0811
9	635	6,453624999	41,6493	0,29592	-0,5362	0,28748	-3,4603
10	651	6,478509642	41,9711	0,32993	-0,4401	0,19369	-2,8512
11	675	6,514712691	42,4415	0,36395	-0,3479	0,12106	-2,2667
12	803	6,688354714	44,7341	0,39796	-0,2586	0,06689	-1,7298
13	902	6,80461452	46,3028	0,43197	-0,1714	0,02936	-1,166
14	938	6,843749949	46,8369	0,46599	-0,0854	0,00729	-0,5842
15	981	6,88857246	47,4524	0,5	0	0	0

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
16	1021	6,928537818	48,0046	0,53401	0,08536	0,00729	0,59144
17	1080	6,98471632	48,7863	0,56803	0,17135	0,02936	1,19686
18	1149	7,046647278	49,6552	0,60204	0,25863	0,06689	1,8225
19	1154	7,050989447	49,7165	0,63605	0,34793	0,12106	2,45327
20	1440	7,272398393	52,8878	0,67007	0,4401	0,19369	3,20059
21	1521	7,327123292	53,6867	0,70408	0,53618	0,28748	3,92863
22	1813	7,502738211	56,2911	0,7381	0,63748	0,40639	4,78288
23	1941	7,570958583	57,3194	0,77211	0,74581	0,55623	5,6465
24	1978	7,589841512	57,6057	0,80612	0,8637	0,74597	6,55531
25	2401	7,783640596	60,5851	0,84014	0,99502	0,99006	7,74486
26	2580	7,855544678	61,7096	0,87415	1,14623	1,31384	9,00425
27	2694	7,898782357	62,3908	0,90816	1,32953	1,76765	10,5017
28	2752	7,920083199	62,7277	0,94218	1,57331	2,47532	12,4608
29	4340	8,375629627	70,1512	0,97619	1,98075	3,92338	16,59
Total	36829	199,7802768	1391,66	14,5	2,2E-15	25,7692	19,7655

Menghitung nilai r pada distribusi Lognormal:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n XiYi - (\sum_{i=1}^n Xi \sum_{i=1}^n Yi)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Xi^2 - (\sum_{i=1}^n Xi)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n Yi^2 - (\sum_{i=1}^n Yi)^2}}$$

$$r = \frac{(29 \times 19,7655) - (199,7802768 \times 2,2E-15)}{\sqrt{(29 \times 1391,66) - (199,7802768)^2} \sqrt{(29 \times 25,7692) - (2,2E-15)^2}}$$

$$r = 0,992951935$$

Berikut merupakan rekap hasil *Index of fit* dari setiap masing-masing distribusi yaitu *Eksponensial*, *Normal*, *Lognormal*, dan *Weibull* untuk Data waktu kerusakan:

Tabel 4.11 *Index Of Fit To Failure*

Distribusi	Index Of Fit	%Index Of Fit
<i>Eksponensial</i>	0,991276	99,1 %
<i>Normal</i>	0,923698	92,3 %

Log Normal	0,992951935	99,2 %
Weibull	0,92098	92,0 %

Berdasarkan tabel diatas, distribusi Log Normal memiliki nilai indeks kecocokan (Index of Fit) tertinggi, yaitu sebesar 99,2%. Oleh karena itu, distribusi yang terpilih untuk analisis ini adalah distribusi Log Normal.

4.4.4.2 Penentuan Distribusi Data Waktu Perbaikan pada Komponen Motor Penggerak *Vibrating Grizzly*

Penentuan distribusi data waktu perbaikan dilakukan untuk menentukan jenis distribusi yang paling sesuai dalam menggambarkan data jarak antara perbaikan tersebut dan mengidentifikasi motor penggerak sebagai komponen dengan downtime tertinggi. Adapun data rentang kerusakan dirangkum dalam tabel berikut:

Tabel 4.12 Data Waktu Perbaikan Komponen Motor Penggerak

No.	Waktu Perbaikan		Ti	Ti
Urut	Mulai	Finish	(menit)	(urut)
1.	20/09/2023 08.00 AM	20/09/2023 15.41 PM	461	1
2.	20/09/2023 21.47 PM	20/09/2023 21.55 PM	8	1
3.	21/09/2023 15.55 PM	21/09/2023 17.05 PM	70	1
4.	21/09/2023 21.24 PM	21/09/2023 21.42 PM	22	1
5.	22/09/2023 02.18 AM	22/09/2023 02.22 AM	4	2
6.	22/09/2023 18.23 PM	22/09/2023 18.28 PM	4	2
7.	23/09/2023 19.49 PM	23/09/2023 20.46 PM	57	4
8.	25/09/2023 05.44 AM	25/09/2023 05.56 AM	12	4
9.	25/09/2023 19.19 PM	25/09/2023 19.20 PM	1	4
10.	26/09/2023 01.35 AM	26/09/2023 01.42 AM	7	5
11.	27/09/2023 07.55 AM	28/09/2023 00.00 AM	965	6
12.	28/09/2023 19.09 PM	28/09/2023 19.10 PM	1	7
13.	29/09/2023 14.24 PM	29/09/2023 14.42 PM	22	8

No. Urut	Waktu Perbaikan		Ti (menit)	Ti (urut)
	Mulai	Finish		
14.	29/09/2023 23.36 PM	29/09/2023 23.40 PM	4	8
15.	03/10/2023 00.00 AM	04/10/2023 00.00 AM	1440	12
16.	05/10/2023 00.00 AM	06/10/2023 00.00 AM	1440	22
17.	07/10/2023 20.54 PM	07/10/2023 20.56 PM	2	22
18.	08/10/2023 06.47 AM	08/10/2023 06.48 AM	1	23
19.	08/10/2023 23.49 PM	08/10/2023 23.57 PM	8	32
20.	09/10/2023 10.32 AM	09/10/2023 10.38 AM	6	33
21.	09/10/2023 21.53 PM	09/10/2023 22.16 PM	23	38
22.	10/10/2023 04.32 AM	10/10/2023 04.33 AM	1	57
23.	10/10/2023 20.54 PM	10/10/2023 20.59 PM	5	62
24.	11/10/2023 07.50 AM	11/10/2023 08.22 AM	32	70
25.	12/10/2023 00.00 AM	13/10/2023 00.00 AM	1440	165
26.	14/10/2023 19.00 PM	14/10/2023 20.27 PM	33	461
27.	15/10/2023 11.29 AM	15/10/2023 11.31 AM	2	965
28.	16/10/2023 19.52 PM	16/10/2023 20.30 PM	38	1440
29.	17/10/2023 06.33 AM	17/10/2023 09.18 AM	165	1440
30.	19/10/2023 07.10 AM	19/10/2023 08.12 AM	62	1440

Pada pengujian ini, digunakan empat jenis distribusi yaitu distribusi *Eksponensial*, *Normal*, *Lognormal*, dan *Weibull* untuk menghitung nilai indeks kecocokan (*Index of Fit*) dari masing-masing distribusi tersebut dengan perhitungan lengkap yang dilampirkan pada lampiran penelitian. Adapun contoh perhitungan pada dengan distribusi terpilih yaitu dsitribusi Lognormal untuk waktu antar perbaikan adalah sebagai berikut:

Distribusi Lognormal

$$\begin{aligned}
 Xi &= \ln ti \\
 &= \ln 1 = 0 \\
 Xi^2 &= 0^2 \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F(t_i) &= \frac{i-0,3}{30+0,4} \\
 &= \frac{1-0,3}{30+0,4} = 0,02303 \\
 Y_i &= Z_i = \Phi^{-1}(F(t_i)) \\
 &= Z_i = \Phi^{-1}(0,02303) = -1,9949 \\
 Y_i^2 &= -1,9949^2 \\
 &= 3,97967 \\
 X_i Y_i &= 0 \times -1,9949 \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

Tabel 4.13 Distribusi Lognormal

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	1	0	0	0,02303	-1,9949	3,97967	0
2	1	0	0	0,05592	-1,59	2,528	0
3	1	0	0	0,08882	-1,3481	1,81733	0
4	1	0	0	0,12171	-1,1665	1,36067	0
5	2	0,69315	0,48045	0,15461	-1,0169	1,03404	-0,7048
6	2	0,69315	0,48045	0,1875	-0,8871	0,78703	-0,6149
7	4	1,38629	1,92181	0,22039	-0,7709	0,59423	-1,0686
8	4	1,38629	1,92181	0,25329	-0,6642	0,44113	-0,9207
9	4	1,38629	1,92181	0,28618	-0,5646	0,31874	-0,7827
10	5	1,60944	2,59029	0,31908	-0,4703	0,22116	-0,7569
11	6	1,79176	3,2104	0,35197	-0,38	0,1444	-0,6809
12	7	1,94591	3,78657	0,38487	-0,2927	0,08568	-0,5696
13	8	2,07944	4,32408	0,41776	-0,2076	0,04311	-0,4317
14	8	2,07944	4,32408	0,45066	-0,124	0,01538	-0,2578
15	12	2,48491	6,17476	0,48355	-0,0412	0,0017	-0,1025
16	22	3,09104	9,55454	0,51645	0,04124	0,0017	0,12747

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
17	22	3,09104	9,55454	0,54934	0,124	0,01538	0,38329
18	23	3,13549	9,83132	0,58224	0,20762	0,04311	0,65099
19	32	3,46574	12,0113	0,61513	0,29272	0,08568	1,01449
20	33	3,49651	12,2256	0,64803	0,38	0,1444	1,32866
21	38	3,63759	13,232	0,68092	0,47028	0,22116	1,71067
22	57	4,04305	16,3463	0,71382	0,56457	0,31874	2,28257
23	62	4,12713	17,0332	0,74671	0,66417	0,44113	2,74114
24	70	4,2485	18,0497	0,77961	0,77086	0,59423	3,275
25	165	5,10595	26,0707	0,8125	0,88715	0,78703	4,52972
26	461	6,1334	37,6186	0,84539	1,01688	1,03404	6,23693
27	965	6,87213	47,2261	0,87829	1,16648	1,36067	8,01619
28	1440	7,2724	52,8878	0,91118	1,34808	1,81733	9,8038
29	1440	7,2724	52,8878	0,94408	1,58997	2,528	11,5629
30	1440	7,2724	52,8878	0,97697	1,99491	3,97967	14,5078
Total	6336	89,8008	418,554	15	4,7E-15	26,7445	61,2804

Menghitung nilai r pada distribusi Lognormal:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2}}$$

$$r = \frac{(30 \times 61,2804) - (89,8008 \times 4,7E-15)}{\sqrt{(30 \times 418,554) - (89,8008)^2} \sqrt{(30 \times 26,7445) - (4,7E-15)^2}}$$

$$r = 0,968332$$

Berikut merupakan rekapitan hasil *Index of fit* dari setiap masing-masing distribusi yaitu Eksponensial, Normal, Lognormal, dan Weibull untuk Data waktu kerusakan:

Tabel 4.14 *Index Of Fit To Repair*

Distribusi	Index Of Fit	%Index Of Fit
Eksponensial	0,875064	87,5 5%
Normal	0,70568	70,5 %
Log Normal	0,968332	96,8 %
Weibull	0,95204884	95,2 %

Berdasarkan tabel diatas, distribusi Log Normal memiliki nilai indeks kecocokan (*Index of Fit*) tertinggi, yaitu sebesar 96,8%. Oleh karena itu, distribusi yang terpilih untuk analisis ini adalah distribusi Log Normal.

4.4.5 Uji Goodness of Fit

Uji *Goodness of Fit* digunakan untuk menguji hipotesis yang diajukan terhadap distribusi yang telah dipilih, yaitu distribusi Log Normal. Uji ini dilakukan berdasarkan data yang telah dipilih melalui proses pemilihan empat distribusi data waktu kerusakan.

Berikut ini merupakan Uji *Goodness of Fit* yang dilakukan pada distribusi data waktu kerusakan menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov Test* pada komponen motor penggerak mesin *vibrating grizzly*:

Tabel 4.15 Uji *Goodness Of Fit Time To Failure*

No.	ti	lnti	(lnti- xbar)^2	zti	fti	d1	d2
1	259	5,556828	1,774616	-1,82945	0,033666	0,033666	0,000817
2	276	5,620401	1,60928	-1,74215	0,040741	0,006259	0,028224
3	366	5,902633	0,97287	-1,35455	0,08778	0,018814	0,015668
4	375	5,926926	0,925538	-1,32119	0,093219	-0,01023	0,044712
5	376	5,929589	0,920421	-1,31754	0,09383	-0,0441	0,078584
6	534	6,280396	0,370369	-0,83577	0,201643	0,029229	0,005254
7	591	6,381816	0,25721	-0,69649	0,243062	0,036165	-0,00168
8	603	6,401917	0,237225	-0,66888	0,251785	0,010406	0,024077
9	635	6,453625	0,18953	-0,59787	0,274963	-0,0009	0,035382
10	651	6,47851	0,168482	-0,5637	0,28648	-0,02386	0,058347
11	675	6,514713	0,140072	-0,51398	0,303633	-0,04119	0,075677
12	803	6,688355	0,040249	-0,27551	0,391461	0,01215	0,022332
13	902	6,804615	0,007117	-0,11585	0,453884	0,040091	-0,00561
14	938	6,84375	0,002045	-0,06211	0,475238	0,026962	0,00752

No.	ti	ln ti	(ln ti - xbar)^2	zti	fti	d1	d2
15	981	6,888572	1,62E-07	-0,00055	0,499779	0,017021	0,017462
16	1021	6,928538	0,001565	0,054332	0,521665	0,004423	0,030059
17	1080	6,984716	0,009166	0,131483	0,552303	0,000579	0,033904
18	1149	7,046647	0,024861	0,216533	0,585714	-0,00049	0,034976
19	1154	7,050989	0,026249	0,222496	0,588036	-0,03265	0,067136
20	1440	7,272398	0,147013	0,52656	0,70075	0,045578	-0,0111
21	1521	7,327123	0,191974	0,601714	0,726318	0,036663	-0,00218
22	1813	7,502738	0,376705	0,842888	0,800354	0,076216	-0,04173
23	1941	7,570959	0,465102	0,936576	0,825512	0,066891	-0,03241
24	1978	7,589842	0,491214	0,962508	0,832103	0,038999	-0,00452
25	2401	7,783641	0,800426	1,228654	0,890399	0,062813	-0,02833
26	2580	7,855545	0,934257	1,327401	0,907812	0,045743	-0,01126
27	2694	7,898782	1,019711	1,38678	0,917246	0,020694	0,013789
28	2752	7,920083	1,063184	1,416032	0,921617	-0,00942	0,0439
29	4340	8,37563	2,210142	2,041639	0,979406	0,013889	0,020594
Total	36829	199,7803	15,37659	DN Max		0,076216	0,078584

Dari tabel diatas didapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan nilai Dhitung, perlumemilih nilai yang paling besar antara D1 dan D2. Hasilnya adalah **0,078584**
Untuk melakukan validasi data, penting untuk menyusun hipotesis yang akan diuji menggunakan Uji *Kolmogorov-Smirnov Test*, sebagai berikut:

H0 = Distribusi data Time Failure adalah Lognormal

H1 = Distribusi data Time Failure tidak Lognormal

a = 0,05

dtabel = 0,246 (Nilai Dtabel dapat dilihat pada tabel Kolmogorov-Smirnov dengan nilai 29;0,05)

DN < Dtabel maka H0 diterima

Berikut ini merupakan contoh perhitungan Uji *Kolmogorov-Smirnov*:

- Xbar nilai ln = 6,888975
- Tmed = N = 29
- $$= \mu = \frac{\sum_{i=1}^r \ln(ti)}{n}$$

$$= \frac{199,7803}{29}$$

$$= 6,888975$$
- $$Tmed = e^{\mu}$$

$$= e^{(6,888975)}$$

$$= 981,395$$
- S (Standar Deviasi)

$$S(\sigma) = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\ln(ti) - \mu)^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{15,37659}{29}}$$

$$= 0,728167$$
- F(t) / Z(ti)

$$= \frac{ti - \mu}{\sigma}$$

$$= \frac{1 - 6,888975}{0,728167}$$

$$= -1,82945$$
- D1

$$= \max \Phi\left(\frac{ti - \mu}{\sigma}\right) - \left(\frac{t-1}{n}\right)$$

$$= \Phi\left(\frac{1 - 6,888975}{0,728167}\right) - \left(\frac{1-1}{29}\right)$$

$$= 0,033666$$
- D2

$$= \max\left(\frac{i}{n}\right) - \Phi\left(\frac{ti - \mu}{\sigma}\right)$$

$$= \frac{1}{29} - \Phi\left(\frac{1 - 6,888975}{0,728167}\right)$$

$$= 0,000817$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan nilai D1 dan D2, dimana keputusan yang diambil berdasarkan perbandingan anantara nilai D1 dan D2 yang memiliki nilai terbesar. Dalam hal ini nilai terbesar ada pada D2 dengan nilai **0,078584**. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai DN lebih kecil daripada nilai Dtabel ($0,078584 < 0,246$) yang berarti hipotesis H_0 diterima.

Berikut ini merupakan Uji *Goodness of Fit* yang dilakukan pada distribusi data waktu kerusakan menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov Test* pada komponen motor penggerak mesin *vibrating grizzly*:

Tabel 4.16 Uji *Goodness Of Fit Time To Repair*

No.	ti	lnti	(lnti- xbar)^2	zti	fti	d1	d2
1	1	0	8,96021	-1,3398	0,090155	0,090155	-0,05682
2	1	0	8,96021	-1,3398	0,090155	0,056822	-0,02349
3	1	0	8,96021	-1,3398	0,090155	0,023489	0,009845
4	1	0	8,96021	-1,3398	0,090155	-0,00984	0,043178
5	2	0,693147	5,290984	-1,02955	0,15161	0,018276	0,015057
6	2	0,693147	5,290984	-1,02955	0,15161	-0,01506	0,04839
7	4	1,386294	2,582663	-0,71931	0,235976	0,035976	-0,00264
8	4	1,386294	2,582663	-0,71931	0,235976	0,002642	0,030691
9	4	1,386294	2,582663	-0,71931	0,235976	-0,03069	0,064024
10	5	1,609438	1,915243	-0,61943	0,267816	-0,03218	0,065517
11	6	1,791759	1,443846	-0,53783	0,295349	-0,03798	0,071318
12	7	1,94591	1,097153	-0,46883	0,319596	-0,04707	0,080404
13	8	2,079442	0,835249	-0,40906	0,341247	-0,05875	0,092086
14	8	2,079442	0,835249	-0,40906	0,341247	-0,09209	0,125419
15	12	2,484907	0,258526	-0,22758	0,409987	-0,05668	0,090013
16	22	3,091042	0,009542	0,043721	0,517437	0,017437	0,015897
17	22	3,091042	0,009542	0,043721	0,517437	-0,0159	0,04923
18	23	3,135494	0,020202	0,063617	0,525363	-0,0413	0,074637
19	32	3,465736	0,223138	0,211431	0,583724	-0,01628	0,049609
20	33	3,496508	0,253156	0,225204	0,58909	-0,04424	0,077577
21	38	3,637586	0,415026	0,288349	0,61346	-0,05321	0,08654
22	57	4,043051	1,10185	0,469831	0,680762	-0,01924	0,052571
23	62	4,127134	1,285442	0,507466	0,694086	-0,03925	0,072581
24	70	4,248495	1,575362	0,561786	0,712869	-0,0538	0,087131
25	165	5,105945	4,463013	0,945573	0,827817	0,027817	0,005517
26	461	6,133398	9,859832	1,405451	0,920056	0,086723	-0,05339
27	965	6,872128	15,04483	1,736099	0,958727	0,09206	-0,05873
28	1440	7,272398	18,31016	1,915256	0,97227	0,07227	-0,03894
29	1440	7,272398	18,31016	1,915256	0,97227	0,038937	-0,0056

No.	ti	ln ti	(ln ti - xbar)^2	z ti	fti	d1	d2
30	1440	7,272398	18,31016	1,915256	0,97227	0,005603	0,02773
Total	6336	89,80083	149,7475	DN Max		0,09206	0,125419

Dari tabel diatas didapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan nilai Dhitung, perlumemilih nilai yang paling besar antara D1 dan D2. Hasilnya adalah **0,125419**
Untuk melakukan validasi data, penting untuk menyusun hipotesis yang akan diuji menggunakan Uji *Kolmogorov-Smirnov Test*, sebagai berikut:

H0 = Distribusi data *Time Failure* adalah Lognormal

H1 = Distribusi data *Time Failure* tidak Lognormal

a = 0,05

dtabel = 0,242 (Nilai Dtabel dapat dilihat pada tabel Kolmogorov-Smirnov dengan nilai 30;0,05)

DN < Dtabel maka H0 diterima

Berikut ini merupakan contoh perhitungan Uji *Kolmogorov-Smirnov*:

- Xbar nilai ln = 211,2
- Tmed = N = 30

$$= \mu = \frac{\sum_{i=1}^r \ln(ti)}{n}$$

$$= \frac{89,80083}{30}$$

$$= 2,993361$$

$$Tmed = e^{\mu}$$

$$= e^{(2,993361)}$$

$$= 19,9526$$
- S (Standar Deviasi)

$$S(\sigma) = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\ln(ti) - \mu)^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{15,37659}{30}}$$

$$= 149,7475$$
- F(t) / Z(ti) = $\frac{ti - \mu}{\sigma}$

$$= \frac{1-2,993361}{149,7475}$$

$$= -1,3398$$

- D1
$$= \max \left(\frac{ti-\mu}{\sigma} \right) - \left(\frac{t-1}{n} \right)$$

$$= \left(\frac{1-2,993361}{149,7475} \right) - \left(\frac{1-1}{30} \right)$$

$$= 0,090155$$

- D2
$$= \max \left(\frac{i}{n} \right) - \left(\frac{ti-\mu}{\sigma} \right)$$

$$= \frac{1}{30} - \left(\frac{1-2,993361}{149,7475} \right)$$

$$= -0,05682$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan nilai D1 dan D2, dimana keputusan yang diambil berdasarkan perbandingan anantara nilai D1 dan D2 yang memiliki nilai terbesar. Dalam hal ini nilai terbesar ada pada D2 dengan nilai **0,125419**. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai DN lebih kecil daripada nilai Dtabel ($0,125419 < 0,242$) yang berarti hipotesis H0 diterima.

4.4.6 Estimasi Parameter

Berikut ini merupakan parameter yang digunakan pada distribusi Log-Normal dengan menggunakan parameter lokasi (μ) dan parameter skala (σ) untuk data waktu antar kerusakan dan data waktu perbaikan sebagai berikut:

a. Parameter Distribusi Data Waktu antar Kerusakan (*Time to Failure*)

$$\mu = \text{Xbar } \ln(ti) = 6,888975$$

$$T_{med} = 981,395$$

$$\sigma = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^r (6,888975)}{29}} = 0,728167$$

b. Parameter Distribusi Data Waktu antar Perbaikan (*Time to Repair*)

$$\mu = \text{Xbar } \ln(ti) = 2,993361$$

$$T_{med} = 19,95263$$

$$\sigma = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^r (2,993361)}{30}} = 2,234185$$

4.4.7 Perhitungan MTTF dan MTTR

a. Parameter Distribusi Data Waktu antar Kerusakan (*Time to Failure*)

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= t_{\text{med}} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \\
 &= 981,395 \times \exp \frac{(0,728167)^2}{2} \\
 &= 1279,326
 \end{aligned}$$

b. Parameter Distribusi Data Waktu antar Perbaikan (*Time to Repair*)

$$\begin{aligned}
 \text{MTTR} &= t_{\text{med}} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \\
 &= 19,95263 \times \exp \frac{(2,234185)^2}{2} \\
 &= 242,052
 \end{aligned}$$

4.5 Interval Waktu Perawatan Optimal

Berikut ini adalah perhitungan Interval waktu pemeriksaan untuk mengetahui interval waktu pemeriksaan yang optimal pada komponen motor penggerak *vibrating grizzly* dengan menggunakan rata-rata dari data waktu antar kerusakan (μ) dan standar deviasi dari data waktu antar kerusakan (σ), beserta dengan *reability factor* yang diinginkan (k):

$$\mu = \text{Xbar } \ln(t_i) = 6,888975$$

$$\sigma = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^r (6,888975)^2}{29}} = 0,728167$$

$k = \text{Reability factor } (R) = 95\% = 1,645$ (didapatkan dari tabel distribusi normal (*Z-score*) untuk *reability* 95%)

$$T_M = \exp(\mu + k\sigma)$$

$$T_M = \exp(6,888975 + (1,645 \times 0,728167))$$

$$T_M = \exp(8,08681)$$

$$T_M = 3251,3 \approx 3.251 \text{ menit}$$

Jadi, interval perawatan optimal untuk komponen Motor penggerak pada mesin *Vibrating Grizzly* adalah setiap 3.251 menit.

4.6 Perhitungan *Realibility* Sebelum dan Sesudah Perawatan

Perhitungan *Realibility* dilakukan untuk mengetahui bagaimana dampak perawatan terhadap kehandalan mesin dengan menggunakan distribusi lognormal. Berikut ini

merupakan perhitungan perbandingan *Realibility* sebelum dan setelah dilakukan perawatan:

- *Reability* Sebelum Perawatan

$$\mu_{Sebelum} = 6,888975$$

$$\sigma_{Sebelum} = 0,728167$$

$$MTTF_{Sebelum} = 1.279$$

t = 1000 menit (asumsi waktu keandalan yang ingin diketahui)

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right)$$

$$R(1000) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(1000) - 6,888975}{0,728167}\right)$$

$$R(1000) = 1 - 0,5103$$

$$R(1000) = 0,4897$$

- *Reability* Setelah Perawatan

$$\mu_{Setelah} = MTTF = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$3251 = e^{\mu + \frac{0,728167^2}{2}}$$

$$\ln(3251) = \mu + 0,265$$

$$\mu = \ln(3251) - 0,265 = 7,822$$

$$\mu_{Setelah} = 7,822$$

$$\sigma_{Setelah} = 0,728167$$

$$MTTF_{Setelah} = 3.251$$

t = 1000 menit (asumsi waktu keandalan yang ingin diketahui)

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right)$$

$$R(1000) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(1000) - 7,822}{0,728167}\right)$$

$$R(1000) = 1 - 0,1056$$

$$R(1000) = 0,8944$$

Keandalan mesin pada waktu $t=1000$ menit meningkat dari sekitar 48.97% menjadi sekitar 89.44% setelah perawatan.

4.7 Perhitungan *Life Cycle Cost* (LCC)

Berikut ini merupakan perhitungan *Life Cycle Cost* (LCC) untuk komponen kritis pada mesin *vibrating grizzly*:

a. *Acquisition Costs* (A)

Biaya awal yang terkait dengan akuisisi atau pembelian sistem atau produk.

- Komponen Biaya Perolehan:

Harga Pembelian Mesin (Purchase Cost): Rp 400.000.000

Biaya Pengiriman dan Instalasi (Shipping and Installation Cost): Rp 34.000.000

- Perhitungan *Acquisition Costs* (A)

Acquisition Cost (A) = Harga pembelian mesin + Biaya pengiriman dan Instalasi

$$\begin{aligned} \text{Acquisition Cost (A)} &= \text{Rp}400.000.000 + \text{Rp}34.000.000 \\ &= \text{Rp}434.000.000 \end{aligned}$$

b. *Initial Logistics Cost* (I)

Biaya awal yang terkait dengan logistik, yang mencakup biaya transportasi, penanganan, penyimpanan, dan distribusi produk atau sistem dari pabrik ke lokasi pengguna.

- Komponen Biaya Logistik Awal:

Biaya Pengiriman (*Shipping Cost*): Rp 50.000.000

Biaya Tambahan untuk Penanganan dan Penyimpanan Sementara: Rp 15.000.000

- Perhitungan *Initial Logistics Cost* (I):

Initial Logistics Cost (I) = Biaya Pengiriman + Biaya Tambahan Penanganan dan Penyimpanan Sementara

$$\begin{aligned} \text{Initial Logistics Cost (I)} &= \text{Rp}50.000.000 + \text{Rp}15.000.000 \\ &= \text{Rp}65.000.000 \end{aligned}$$

c. *Recurring Costs (R)*

Biaya-biaya yang terjadi secara berkala selama siklus hidup sistem atau produk, termasuk biaya perawatan dan perawatan reguler, biaya operasional berkala, dan biaya lain yang terjadi secara teratur selama operasi sistem atau produk.

- Konversi Interval perawatan:

$$3251 \text{ menit ke jam: } 3251 \text{ menit} = \frac{3251}{60} \text{ jam} = 54,183 \text{ jam}$$

$$\text{Jam ke hari: } 54,183 \text{ jam} \approx 2,3 \text{ hari}$$

Jadi, interval perawatan adalah setiap 2,3 hari.

- Jumlah perawatan per Bulan:

perawatan untuk tanggal 20 september sampai dengan 20 oktober 2023 = 30

hari: Jumlah perawatan per Bulan = 30 hari / 2,3 hari $\approx$ 13 kali

- Komponen Biaya Berkala per Bulan:

Biaya Tenaga Kerja per Bulan: Rp 8.000.000

Biaya Suku Cadang per Bulan: Rp 5.000.000

Biaya Operasional per Bulan: Rp 10.000.000

Biaya Lainnya (Pelumasan, Alat, dll.) per Bulan: Rp 1.000.000

- Biaya perawatan per Interval:

Biaya per komponen dibagi jumlah perawatan per bulan.

$$\text{Biaya Tenaga Kerja per Interval} = \frac{\text{Rp}8.000.000}{13} \approx \text{Rp } 615.384$$

$$\text{Biaya Suku Cadang per Interval} = \frac{\text{Rp}5.000.000}{13} \approx \text{Rp } 384.615$$

$$\text{Biaya Operasional per Interval} = \frac{\text{Rp}10.000.000}{13} \approx \text{Rp } 769.230$$

$$\text{Biaya Lainnya per Interval} = \frac{\text{Rp}1.000.000}{13} \approx \text{Rp } 76.923$$

- Total Biaya per Interval:

$$\begin{aligned} \text{Total Biaya per Interval} &= \text{Biaya Tenaga Kerja per Interval} + \\ &\text{Biaya Suku Cadang per Interval} + \text{Biaya Operasional per Interval} + \\ &\text{Biaya Lainnya per Interval} \end{aligned}$$

- Total Biaya Recurring Costs (R):

$$\begin{aligned} \text{Total Biaya Berkala per Interval} &= \text{Rp } 615.384 + \text{Rp } 384.615 + \text{Rp } 769.230 + \\ &\text{Rp } 76.923 = \text{Rp } 1.846.153 \end{aligned}$$

$$\text{Total Biaya berkala perbulan} = \text{Rp } 1.846.153 \times 13 = \text{Rp } 24.000.000$$

$$\text{Total Biaya berkala pertahun} = \text{Rp } 24.000.000 \times 12 = \text{Rp } 288.000.000$$

d. Total *Life Cycle Cost* (LCC)

Diketahui bahwa umur komponen Motor penggerak adalah 15 tahun, maka hitung LCC untuk periode selama 15 tahun (180 bulan)

$$\text{LCC} = \text{Acquisition Costs (A)} + \text{Initial Logistics Cost (I)} + \text{Recurring Costs (R)}$$

$$\text{LCC} = \text{Rp } 434.000.000 + \text{Rp } 65.000.000 + (\text{Rp } 288.000.000 \times 15)$$

$$\text{LCC} = \text{Rp } 4.819.000.000$$

Jadi, total *Life Cycle Cost* (LCC) untuk komponen Motor Penggerak pada mesin *Vibrating Grizzly* dengan rekomendasi perawatan dengan interval setiap 3251 menit atau kurang lebih 54 jam dengan interval perawatan 13 kali setiap bulannya selama 15 tahun umur komponen Motor Penggerak adalah Rp 4.819.000.000.

e. Perhitungan *Net Present Value* (NPV)

Setelah nilai total LCC untuk 15 tahun didapatkan maka dilakukan perhitungan NPV untuk mengetahui apakah proyek tersebut menghasilkan nilai bersih setelah mempertimbangkan semua arus kas masuk dan keluar, serta memperhitungkan nilai waktu dari uang dengan menggunakan tingkat diskonto yang disesuaikan. Ini termasuk pendapatan, penghematan biaya, dan pengeluaran. NPV memberikan gambaran tentang nilai sekarang dari

arus kas masa depan, dan biaya investasi awal. Adapun rumus yang digunakan untuk *discount rate* (i) perusahaan sebesar 12% setiap tahunnya dengan waktu arus kas (t) selama 15 tahun adalah sebagai berikut:

Tabel 4.17 *Present Value* (PV)

t	<i>Present Value</i> (PV)
1	Rp 257.142.857
2	Rp 229.520.062
3	Rp 204.928.629
4	Rp 183.153.241
5	Rp 163.497.537
6	Rp 146.073.957
7	Rp 130.297.283
8	Rp 116.354.182
9	Rp 103.885.875
10	Rp 92.776.661
11	Rp 82.857.020
12	Rp 74.027.696
13	Rp 66.106.872
14	Rp 58.963.269
15	Rp 52.605.761
Total	Rp 1.962.191.602

$$PV = \sum_{t=1}^N \left(\frac{R_t}{(1+i)^t} \right)$$

$$PV = \sum_{t=1}^N \left(\frac{288.000.000}{(1+0,12)^1} \right) = \text{Rp } 257.142.857$$

NPV Total dengan rumus sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^N \left(\frac{R_t}{(1+i)^t} \right) + A + I$$

$$NPV = \text{Rp } 1.962.191.602 + \text{Rp } 434.000.000 + \text{Rp } 65.000.000$$

$$NPV = \text{Rp } 1.962.191.602 + \text{Rp } 499.000.000$$

$$NPV = Rp\ 2.461.191.602$$

Jadi, nilai total LCC pada komponen Motor Penggerak mesin *Vibrating Grizzly* untuk 15 tahun umur mesin didapatkan NPVnya adalah sekitar *Rp 2.461.191.602*.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Analisis Data Kualitatif (Penentuan Mesin Kritis)

Dalam pengidentifikasian mesin yang kritis, memperhatikan data downtime terbesar menjadi penting sebagai indikator tingkat kepentingan mesin. Hal ini menunjukkan bahwa mesin memiliki risiko yang tinggi dan memerlukan perhatian khusus dengan melakukan perawatan dan perbaikan. Dalam sistem produksi di area crusher yang ada di industri pertambangan PT. XYZ, mesin *Vibrating Grizzly* tercatat memiliki downtime tertinggi dibandingkan dengan mesin lainnya. Hal ini dapat dilihat dari statistik yang menunjukkan bahwa mesin *Vibrating Grizzly* memiliki waktu *downtime* sebesar 13113 menit atau **51,97%**. Karena mesin *Vibrating Grizzly* memiliki nilai downtime yang paling tinggi, penelitian difokuskan pada mesin tersebut untuk memastikan stabilitas produktivitas perusahaan tetap terjaga.

5.1.1 Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).

Dalam tahap pertama pada metode RCM (*Reability Centered Maintenance*) dilakukan analisis FMEA, dimana teknik tersebut banyak digunakan untuk mengevaluasi bentuk, penyebab, dan dampak kerusakan terhadap keandalan suatu sistem menyeluruh. Evaluasi kuantitatif dalam FMEA memberikan kemungkinan terjadinya kerusakan. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah mengisi tabel FMEA dengan melakukan diskusi bersama tim *maintenance* dan operator lapangan juga SPV yang bertugas.

Berdasarkan hasil FMEA, teridentifikasi bahwa komponen Motor penggerak pada mesin *Vibrating Grizzly* memiliki RPN (*Risk Priority Number*) tertinggi, yaitu 96 dengan tingkat severity 6, occurrence 4, dan detection 4, yaitu $6 \times 4 \times 4 = 96$. Pada *faktor severity*, peringkat 6 diberikan oleh operator dan spv terkait

dikarenakan kerusakan pada komponen tersebut akan mengakibatkan mesin tidak dapat beroperasi dan kehilangan fungsi utama dengan rata-rata waktu selama 211 menit dan secara sistem akan terus beroperasi tetapi akan mengalami penurunan output yang signifikan. *Faktor occurrence* mendapat peringkat 7 dikarenakan kerusakan terjadi pada komponen tersebut termasuk tinggi yaitu rata-rata kejadian kegagalan setiap 2 – 3 kali sehari. Sedangkan nilai *detection* diberikan 4 karena potensi kegagalan sebenarnya cukup tinggi untuk dideteksi jika pengecekannya terjadwal. Nilai RPN yang didapatkan oleh komponen motor penggerak pada mesin *vibrating grizzly* adalah 168 yang berarti masuk kategori kritis karena melebihi dari nilai rata-rata RPN, yang berarti komponen motor penggerak perlu di prioritaskan penanganan dan pengendaliannya secara lebih dalam. Adapun kerusakan yang terjadi pada komponen motor penggerak biasanya adalah terjadi block ore, bearing aus, mesin *overheat*, *framing* terangkat, *deck*, dan potensi lainnya. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa kerusakan atau kegagalan yang sering terjadi pada komponen motor penggerak di mesin *vibrating grizzly*. Jika motor penggerak rusak maka mesin *vibrating grizzly* akan berhenti dan tidak dapat beroperasi yang mengakibatkan penurunan output produksi dan semaik menumpuknya ore di mesin sebelumnya dan jika dibiarkan maka akan mengurangi umur dari mesin tersebut.

5.1.2 Analisis Logic Tree Analysis (LTA).

Dalam tahap Penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA), dilakukan proses kualitatif untuk mengevaluasi konsekuensi kegagalan dari setiap failure mode pada mesin *Vibrating Grizzly*. Tujuan utama dari *Logic Tree Analysis* (LTA) adalah mengklasifikasikan failure mode ke dalam beberapa kategori agar dapat menentukan penanganan untuk setiap failure mode berdasarkan kategori tersebut. Dalam proses ini, dilakukan diskusi atau wawancara dengan spv atau kepala maintenance dan satu operator dibagian crusher. Berikut merupakan hasil dari *Logic Tree Analysis*:

1. Kategori A (*Safety problem*) Yaitu apabila mode kegagalan mempunyai konsekuensi membahayakan keselamatan bahkan menyebabkan kematian pada seseorang. Kegagalan ini juga mempunyai konsekuensi lingkungan seperti melanggar peraturan lingkungan yang telah ditetapkan dalam hukum sebelumnya (Sodikin & Jati, 2022). Akan tetapi hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada komponen yang termasuk dalam kategori A, yang berarti perusahaan telah memenuhi standar keselamatan yang telah ditetapkan.
2. Kategori B (*Outage problem*) Yaitu mode kegagalan dari suatu komponen dapat menyebabkan sistem kerja komponen terhenti sebagian atau keseluruhan sehingga berpengaruh terhadap operasional plant seperti kuantitas, kualitas produk terhadap hasil produksi yang dapat membengkakkan biaya (Sodikin & Jati, 2022). Terdapat komponen yang termasuk dalam kategori B, yaitu komponen Motor Penggerak pada mesin *Vibrating Grizzly* yang dapat mempengaruhi keseluruhan sistem mesin, dimana komponen ini termasuk komponen yang memiliki nilai kritis tertinggi.
3. Kategori C (*Economic problem*) Yaitu bila mode kegagalan tidak ada mempunyai konsekuensi safety maupun terkait operasional plant, dan hanya mempengaruhi ekonomi yang relatif kecil meliputi biaya perbaikan (Sodikin & Jati, 2022). Terdapat komponen yang termasuk dalam kategori C yaitu komponen Bearing pada mesin *Vibrating Grizzly* jika terjadi kegagalan maka akan terjadi penundaan dalam proses pengumpanan ore, peningkatan downtime, dan penurunan produktivitas.
4. Kategori D (*Hidden Failure*) Yaitu bila mode kegagalan memiliki dampak secara langsung, namun bila perusahaan tidak menanggulangnya resiko ini akan menjadi serius dan dapat memicu kegagalan lainnya (Sodikin & Jati, 2022). Terdapat dua komponen yang termasuk dalam kategori D yaitu Frame (rangka) pada mesin *Vibrating Grizzly* jika terjadi kegagalan maka akan terjadi ore atau material meluap dan berjatuh dan berpotensi bahaya bagi operator, dan Deck pada mesin *Vibrating Grizzly* jika terjadi kegagalan maka akan terjadi ore tertahan di vibrating grizzly dan tidak mau jatuh.

5.1.3 Analisis Task Selection (TS)

Setiap mode kerusakan akan dievaluasi dan dibuat daftar tindakan untuk mencegah atau mengurangi dampak kerusakan tersebut. Dalam hal mesin mesin Vibrating Grizzly khususnya Komponen Motor Penggerak

Dalam proses ini, dilakukan diskusi atau wawancara dengan spv atau kepala maintenance dan operator dibagian crusher. Dalam pemilihan tindakan, pertimbangan diberikan pada berbagai faktor seperti ketersediaan sumber daya, dampak terhadap kinerja mesin, keamanan, dan aspek lain yang relevan. Berikut merupakan hasil dari Task Selection:

1. *Time Deredcted* (TD) Tindakan perawatan yang dilakukan secara langsung terhadap sumber kerusakan dengan didasari umur ataupun waktu dari komponen. Komponen yang mendapat tindakan perawatan ini untuk komponen kritis yang ada di mesin *Vibrating Grizzly* adalah *Frame* (rangka) dan *Deck* dengan tindakan sebagai berikut:
 - *Frame* (rangka): Tindakan perawatan berkala dapat melibatkan pemeliharaan rutin seperti pembersihan area *frame* sesering mungkin guna menghindari terjadinya *block* akibat penumpukan ore, pengaturan ulang letak *frame*, dan penggantian bagian yang sudah mencapai usia pemakaian maksimal.
 - *Deck*: Tindakan perawatan berkala dapat melibatkan pemeliharaan rutin seperti pembersihan *Deck* sesering mungkin guna menghindari terjadinya *block* akibat penumpukan ore, pemeriksaan bau dan pengencangan agar tidak ada baut yang longgar dan menghambat produksi, pelumasan bantalan, dan penggantian bagian yang sudah mencapai usia pemakaian maksimal.
2. *Condition Deredct* (CD) Tindakan perawatan yang dilakukan dengan memeriksa dan inspeksi. Apabila didalam inspeksi terdapat gejala-gejala kerusakan, maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen. Komponen yang mendapat tindakan perawatan ini untuk komponen kritis

yang ada di mesin *Vibrating Grizzly* adalah Bearing dengan tindakan sebagai berikut:

- *Bearing*: Tindakan perawatan berkala dapat melibatkan langkah inspeksi visual, seperti pengecekan tanda-tanda keausan, kerusakan ataupun kebocoran pelumas, tanda-tanda overheating seperti perubahan warna pada bearing, pemeriksaan suara yang tidak biasa, pelumasan bearing, pengukuran getaran, pengukuran suhu, dan penggantian bearing jika dibutuhkan.
3. *Finding Failure* (FF) Tindakan perawatan yang dilakukan dengan tujuan untuk menemukan kerusakan yang tersembunyi dengan pemeriksaan berkala. Komponen yang mendapat tindakan perawatan ini untuk komponen kritis yang ada di mesin *Vibrating Grizzly* adalah Motor penggerak dengan tindakan sebagai berikut:
- Motor penggerak: Komponen Motor, dilakukan tindakan perawatan yang tidak terlihat. Seperti, tindakan dapat melibatkan pemeriksaan isolasi lilitan motor guna mengidentifikasi risiko masalah isolasi yang bisa muncul akibat dampak kelembaban dan pemeriksaan berkala getaran motor untuk mendeteksi perubahan tiba-tiba atau karakteristik getaran yang tidak biasa secara berkala dengan penjadwalan yang optimal.

5.2 Analisis data Kuantitatif (Penentuan interval pergantian dan pemeriksaan)

5.2.1 Analisis Distribusi Kerusakan dan Perbaikan.

Selanjutnya analisis data kuantitatif yang digunakan untuk menentukan pola distribusi yang cocok, dilakukan pengujian terhadap empat distribusi yang meliputi Eksponensial, Normal, Lognormal, dan Weibull. Pengujian distribusi ini dilakukan pada data waktu antara kerusakan (*Time to failure*) dan waktu perbaikan (*Time to repair*) dari komponen Motor Penggerak pada mesin *Vibrating Grizzly* didasarkan pada hasil analisis downtime terbanyak dengan komponen lainnya. Pemilihan

distribusi dilakukan dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting*, yang memilih distribusi dengan nilai indeks kecocokan (r) terbesar. Tabel 4.1 berisi hasil nilai indeks kecocokan (r) untuk data waktu antara kerusakan pada komponen Motor Penggerak.

Tabel 4.1 *Index Of Fit To Failure*

Distribusi	Index Of Fit	%Index Of Fit
Eksponensial	0,991276	99,1 %
Normal	0,923698	92,3 %
Log Normal	0,992951935	99,2 %
Weibull	0,92098	92,0 %

Setelah melakukan pengujian pada empat distribusi berdasarkan data waktu antara kerusakan (*downtime*) hingga selesai perbaikan (*downtime completion*), ditemukan pola distribusi dengan nilai *index of fit* (r) terbesar. Distribusi yang terpilih untuk data waktu antara kerusakan adalah distribusi Log Normal dengan nilai *index of fit* (r) tertinggi. Distribusi Log Normal memiliki persentase tertinggi dibandingkan dengan distribusi Eksponensial, Weibull, dan Normal. Berdasarkan tabel diatas, distribusi Log Normal memiliki nilai indeks kecocokan (*Index of Fit*) tertinggi, yaitu sebesar 99,2%. Oleh karena itu, distribusi yang terpilih untuk analisis ini adalah distribusi Log Normal untuk data waktu antara kerusakan. Sedangkan untuk melihat hasil perhitungan **index of fit** untuk data perbaikan dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 *Index Of Fit To Repair*

Distribusi	Index Of Fit	%Index Of Fit
Eksponensial	0,875064	87,5 5%
Normal	0,70568	70,5 %
Log Normal	0,968332	96,8 %
Weibull	0,95204884	95,2 %

Setelah melakukan pengujian pada empat distribusi berdasarkan data waktu perbaikan, ditemukan pola distribusi dengan nilai *index of fit* (r) terbesar. Distribusi yang terpilih untuk data waktu antara kerusakan adalah distribusi Log Normal dengan nilai *index of fit* (r) tertinggi. Distribusi Log Normal memiliki persentase tertinggi dibandingkan dengan distribusi Eksponensial, Weibull, dan Normal. Berdasarkan tabel diatas, distribusi Log Normal memiliki nilai indeks kecocokan (*Index of Fit*) tertinggi, yaitu sebesar 96,8%. Oleh karena itu, distribusi yang terpilih untuk analisis ini adalah distribusi Log Normal untuk data waktu perbaikan.

5.2.2 Analisis Godnest of Fit.

Distribusi yang terpilih berdasarkan nilai *index of fit* (r) terbesar kemudian diperiksa kembali untuk memastikan bahwa distribusi tersebut dengan tepat mewakili data waktu kerusakan dan perbaikan. Setelah memperoleh hasil nilai *index of fit* untuk data kerusakan yaitu distribusi lognormal. Untuk memverifikasi kecocokan distribusi, dilakukan uji *Kolmogorov-Smirnov Test*. Dengan hasil didapatkan nilai D_1 dan D_2 , dimana keputusan yang diambil berdasarkan perbandingan anatara nilai D_1 dan D_2 yang memiliki nilai terbesar. Dalam hal ini nilai terbesar ada pada D_2 dengan nilai 0,078584. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai D_N lebih kecil daripada nilai D_{tabel} ($0,125419 < 0,246$) atau dapat dilihat pada tabel Tabel 26, dari hasil tersebut berisi hasil dari uji yang dilakukan menunjukkan bahwa hipotesis nol (H_0) atau diterima, yang berarti data antara kerusakan memiliki distribusi Lognormal.

Selanjutnya, untuk data antara perbaikan yang sebelumnya mendapatkan hasil nilai *index of fit* dengan distribusi Lognormal, dilakukan uji *Kolmogorov-Smirnov Test*. Dengan hasil didapatkan nilai D_1 dan D_2 , dimana keputusan yang diambil berdasarkan perbandingan anatara nilai D_1 dan D_2 yang memiliki nilai terbesar. Dalam hal ini nilai terbesar ada pada D_2 dengan nilai 0,078584. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai D_N lebih kecil daripada nilai D_{tabel} ($0,125419 < 0,242$) atau dapat dilihat pada tabel Tabel 27, dari hasil tersebut berisi hasil dari uji

yang dilakukan menunjukkan bahwa hipotesis nol (H_0) atau diterima, yang berarti data antara kerusakan memiliki distribusi Lognormal.

5.2.3 Analisis Parameter nilai MTTF dan MTTR

1. Analisis Parameter nilai Mean Time To Failure (MTTF)

Setelah menguji data kerusakan dan data tersebut diterima, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan estimasi *Mean Time To Failure* (MTTF) berdasarkan distribusi tersebut. Dalam konteks ini, karena data waktu antara kerusakan mengikuti distribusi Log Normal, berikut adalah hasil perkiraan parameter distribusi untuk *Mean Time To Failure* (MTTF):

Tabel 4.3 Nilai Parameter Distribusi MTTF

Komponen	Tmed (Parameter Lokasi)	S (Parameter Bentuk)	MTTF
Motor Penggerak	981,395	0,728167	1279,326

a. Parameter Distribusi Data Waktu antar Kerusakan (Time to Failure)

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= t_{\text{med}} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \\
 &= 981,395 \times \exp \frac{(0,728167)^2}{2} \\
 &= 1279,326
 \end{aligned}$$

Pada hasil kasus komponen Motor Penggerak, telah ditemukan bahwa interval waktu antara kerusakan adalah 1279,326 menit. Dengan demikian, estimasi waktu operasional komponen Motor Penggerak akan mengalami kerusakan setelah beroperasi selama 1279,326 menit.

2. Analisis Parameter nilai Mean Time To Repair (MTTR)

Setelah menguji data perbaikan dan data tersebut diterima, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan estimasi *Mean Time To Repair* (MTTR) berdasarkan distribusi tersebut. Dalam konteks ini, karena data waktu

perbaikan mengikuti distribusi Log Normal, berikut adalah hasil perkiraan parameter distribusi untuk *Mean Time To Repair* (MTTR):

Tabel 4.4 Nilai Parameter Distribusi MTTR

Komponen	Tmed	S	MTTR
	(Parameter Lokasi)	(Parameter Bentuk)	
Motor Penggerak	19,95263	2,234185	242,052

- b. Parameter Distribusi Data Waktu antar Perbaikan (Time to Repair)

$$\begin{aligned}
 \text{MTTR} &= \text{tmed} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \\
 &= 19,95263 \times \exp \frac{(2,234185)^2}{2} \\
 &= 242,052
 \end{aligned}$$

Pada hasil kasus komponen Motor Penggerak, telah ditemukan bahwa interval waktu perbaikan adalah 242,052 menit. Dengan demikian, estimasi waktu perbaikan komponen Motor Penggerak rata-rata selama 242,052 menit.

5.2.4 Analisis Interval Waktu Perawatan

Interval waktu perawatan untuk mengetahui interval waktu perawatan yang optimal pada komponen motor penggerak vibrating grizzly dengan menggunakan rata-rata dari data waktu antar kerusakan (μ) dan standar deviasi dari data waktu antar kerusakan (σ), beserta dengan realibility factor yang diinginkan (k) dengan menggunakan distribusi Lognormal yang sesuai dengan distribusi terpilih berdasarkan uji Goodness of Fit (Wolf et al., 1980):

$$\mu = \bar{X} \ln(t_i) = 6,888975$$

$$\sigma = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^r (6,888975)^2}{29}} = 0,728167$$

$k = \text{Reability factor } (R) = 95\% = 1,645$ (didapatkan dari tabel distribusi normal (Z-score) untuk realibility 95%)

$$T_M = \exp(\mu + k\sigma)$$

$$T_M = \exp(6,888975 + (1,645 \times 0,728167))$$

$$T_M = \exp(8,08681)$$

$$T_M = 3251,3 \approx 3.251 \text{ menit}$$

Jadi, interval perawatan optimal untuk komponen Motor penggerak pada mesin Vibrating Grizzly adalah setiap 3.251 menit.

Tindakan perawatan termasuk dalam tindakan pencegahan terhadap *downtime* sehingga keandalan komponen atau mesin dapat terjaga. Dengan didapatkan nilai waktu perawatan optimal maka akan dapat dilakukan penjadwalan kegiatan *preventive maintenance* tepat sesuai dengan kebutuhan. Sehingga interval waktu perawatan optimal pada komponen Motor Penggerak di mesin *Vibrating Grizzly* adalah setiap 3.251 menit. Sebelumnya, PT. XYZ melakukan perawatan korektif yaitu perawatan dilakukan ketika kegagalan atau kerusakan terjadi. Namun, perawatan tersebut kurang efektif karena mengeluarkan biaya yang besar serta potensi kerusakan pada mesin akan terus bertambah bahkan merambat ke mesin lainnya sehingga terjadi penurunan produksi dan kenaikan pengeluaran biaya perawatan mesin, untuk itu perlu dilakukan perawatan preventif terjadwal setiap 3.251 menit untuk interval waktu pemeriksaan yang optimal. Meskipun jadwal pemeriksaan ini lebih cepat dan mengakibatkan biaya perawatan yang lebih besar, manfaatnya sangat signifikan. Dengan menjalankan perawatan yang tepat, kehandalan mesin dan proses produksi menjadi lebih lancar. Sebaliknya, bila perawatan dilakukan kurang tepat, dapat menyebabkan penurunan kehandalan yang mengakibatkan kemungkinan terjadinya kegagalan, bahkan berpotensi berdampak pada kegagalan lain pada mesin *Vibrating Grizzly* dan mengganggu dalam sistem produksi.

5.2.5 Analisis Perbaikan Nilai MTTF

Analisis perbaikan nilai MTTF dilakukan untuk mengetahui apakah usulan perawatan yang diberikan dapat mengurangi waktu downtime dalam hal ini adalah nilai MTTF yang didapatkan dari data waktu antar kerusakan pada komponen Motor Penggerak. Bila suatu perawatan efektif maka akan meningkatkan MTTF yang berarti suatu komponen menjadi lebih tahan lama dan dapat mengurangi pengeluaran biaya perbaikan. Diketahui bahwa nilai MTTF sebelumnya adalah 1.279 menit, dimana kerusakan terjadi rata-rata setiap 1.279 menit dan perbaikan dilakukan secara *Corrective Maintenance* atau dilakukan saat komponen telah rusak dan mesin berhenti beroperasi dan waktu perawatan yang didapatkan setelah dilakukannya perhitungan interval waktu perawatan efektif adalah 3.251 menit yang berarti *Preventive Maintenance* harus dilakukan dengan jadwal perawatan setiap 3.251 menit sekali atau 15 kali dalam sebulan. Dengan perbedaan nilai MTTF setelah perbaikan dikurangi dengan MTTF sebelumnya perbaikan (3.251 menit – 1.279 menit = 1.972 menit) yang berarti bahwa perbaikan yang dilakukan secara signifikan meningkat sebanyak 1.972 menit dari MTTF sebelumnya dimana waktu downtime berkurang 1.972 menit dari rata-rata downtime sebelumnya atau peningkatan sebesar 154,26% yang berarti hal tersebut menunjukkan bahwa mesin akan bertahan lebih lama sebelum kegagalan terjadi setelah perawatan dilakukan. Ini mengindikasikan bahwa usulan perawatan efektif dalam meningkatkan keandalan mesin.

5.2.6 Perbandingan *Reliability* Sebelum dan Sesudah Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen.

Perhitungan *Reliability* dilakukan untuk mengetahui bagaimana dampak perawatan terhadap kehandalan mesin dengan menggunakan distribusi lognormal. Berikut ini merupakan perhitungan perbandingan *Reliability* sebelum dan setelah dilakukan perawatan:

- *Reliability* Sebelum Perawatan

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right)$$

$$R(1000) = 1 - \emptyset\left(\frac{\ln(1000) - 6,888975}{0,728167}\right)$$

$$R(1000) = 1 - 0,5103$$

$$R(1000) = 0,4897$$

- *Reability* Setelah Perawatan

$$R(t) = 1 - \emptyset\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right)$$

$$R(1000) = 1 - \emptyset\left(\frac{\ln(1000) - 7,822}{0,728167}\right)$$

$$R(1000) = 1 - 0,1056$$

$$R(1000) = 0,8944$$

Keandalan mesin pada waktu yang diasumsikan yaitu $t=1000$ menit. Didapatkan bahwa *realibility* sebelum perawatan adalah 0,4897 dan *realibility* setelah perawatan adalah 0,8944, dimana *realibility* terhadap mesin meningkat dari sekitar 48.97% menjadi sekitar 89.44% setelah perawatan. Pada penelitian selanjutnya perusahaan dapat juga melakukan pengembangan lebih jauh terkait dengan persen sperpatnya agar saat dilakukan penjadwalan sperpat yang dibutuhkan juga siap digunakan.

5.3 Perhitungan *Life Cycle Cost* (LCC)

Selanjutnya adalah perhitungan *Life Cycle Cost* (LCC) dimana pada perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui jumlah LCC untuk mesin kritis yaitu *Vibrating Grizzly* setelah diterapkannya rekomendasi perawatan pada komponen kritisnya yaitu komponen Motor Penggerak dengan nilai kritis tertinggi. Perhitungan LCC melibatkan beberapa biaya diantaranya, biaya yaitu *Acquisition Cost* (A), *Initial Logistics Cost* (I), dan *Recurring Cost* (R) sebagai berikut (DEPARTMENT OF DEFENSE WASHINGTON DC, 1970):

a. *Acquisition Cost* (A)

Biaya awal yang terkait dengan akuisisi atau pembelian sistem atau produk. Mencakup harga pembelian mesin dan biaya pengiriman juga instalasi mesin. Dalam hal ini adalah Harga Pembelian Mesin (*Purchase Cost*): Rp

400.000.000 dan Biaya Pengiriman dan Instalasi (Shipping and Installation Cost): Rp 34.000.000. yang selanjutnya dijumlahkan menjadi Rp 434.000.000 Acquisition Cost (A) yang akan digunakan.

b. *Initial Logistics Cost (I)*

Biaya awal yang terkait dengan logistik, yang mencakup biaya transportasi, penanganan, penyimpanan, dan distribusi produk atau sistem dari pabrik ke lokasi pengguna. Dalam hal ini adalah Biaya Pengiriman (Shipping Cost): Rp 50.000.000 dan Biaya Tambahan untuk Penanganan dan Penyimpanan Sementara: Rp 15.000.000 yang selanjutnya dijumlahkan menjadi Rp65.000.000 Initial Logistics Cost (I) yang akan digunakan.

c. *Recurring Cost (R)*

Biaya-biaya yang terjadi secara berkala selama siklus hidup sistem atau produk, termasuk biaya pemeliharaan dan perawatan reguler, biaya operasional berkala, dan biaya lain yang terjadi secara teratur selama operasi sistem atau produk. Dalam hal ini Biaya Tenaga Kerja per Bulan: Rp 8.000.000, Biaya Suku Cadang per Bulan: Rp 5.000.000, Biaya Operasional per Bulan: Rp 10.000.000, Biaya Lainnya (Pelumasan, Alat, dll.) per Bulan: Rp 1.000.000, perawatan untuk tanggal 20 september sampai dengan 20 oktober 2023 = 30 hari: Jumlah perawatan per Bulan = 30 hari $2,3 \text{ hari} \approx 13$ kali. Lalu biaya perkomponen dibagi jumlah perawatan perbulan yaitu 13 kali, dimana biaya tenaga kerja perintervalnya sebesar Rp 615.384, biaya suku cadang perinterval Rp 384.615, biaya operasional perinterval Rp 769.230, dan biaya lainnya perinterval Rp 76.923 dan total biaya per Interval sebesar Rp 1.846.153 yang selanjutnya dijumlahkan menjadi Rp 24.000.000 perbulannya untuk Recurring Costs (R) yang akan digunakan.

d. *Total Life Cycle Cost (LCC)*

Setelah seluruh biaya didapatkan dilakukan penjumlahan dari biaya Acquisition Cost (A), Initial Logistics Cost (I), dan Recurring Cost (R) dengan menggunakan rumus:

$$LCC = \text{Acquisition Costs (A)} + \text{Initial Logistics Cost (I)} + \text{Recurring Costs (R)}$$

Diketahui bahwa umur komponen Motor penggerak adalah 15 tahun, maka hitung LCC untuk periode selama 15 tahun (180 bulan)

$$LCC = \text{Rp } 434.000.000 + \text{Rp } 65.000.000 + (\text{Rp } 24.000.000 \times 180)$$

$$LCC = \text{Rp } 4.819.000.000$$

Jadi, total *Life Cycle Cost* (LCC) untuk komponen Motor Penggerak pada mesin *Vibrating Grizzly* dengan rekomendasi perawatan dengan interval setiap 3251 menit atau kurang lebih 54 jam dengan interval perawatan 13 kali setiap bulannya selama 15 tahun umur komponen Motor Penggerak adalah Rp 4.819.000.000.

e. *Net Present Value* (NPV)

Setelah nilai total LCC untuk 15 tahun didapatkan maka dilakukan perhitungan NPV untuk mengetahui apakah proyek tersebut menghasilkan nilai bersih setelah mempertimbangkan semua arus kas masuk dan keluar, serta memperhitungkan nilai waktu dari uang dengan menggunakan tingkat diskonto yang disesuaikan. NPV memberikan gambaran tentang nilai sekarang dari arus kas masa depan, dikurangi biaya investasi awal. Adapun rumus yang digunakan untuk discount rate (i) perusahaan sebesar 12% setiap tahunnya seperti pada tabel 28 didapatkan total PV nya sebesar Rp 1.962.191.602 dengan waktu arus kas (t) selama 15 tahun adalah sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^N \left(\frac{R_t}{(1+i)^t} \right) + A + I$$

$$NPV = \text{Rp } 1.962.191.602 + \text{Rp } 434.000.000 + \text{Rp } 65.000.000$$

$$NPV = \text{Rp } 1.962.191.602 + \text{Rp } 499.000.000$$

$$NPV = \text{Rp } 2.461.191.602$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan bahwa nilai total LCC pada komponen Motor Penggerak mesin Vibrating Grizzly untuk 15 tahun umur mesin dengan nilai i nya 12% didapatkan NPVnya adalah sekitar Rp 2.461.191.602.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berikut ini merupakan kesimpulan analisis data dari hasil pengolahan dan pembahasan dalam penelitian di PT. XYZ:

1. Melalui analisis *Failure mode Effect and Analysis* (FMEA) menunjukkan bahwa *Vibrating Grizzly* merupakan mesin kritis dan komponen Motor Penggerak yang ada pada *Vibrating Grizzly* dianggap sebagai komponen yang paling kritis dengan RPN tertinggi, yang diperoleh dari perhitungan $severity \times occurrence \times detection$ sebesar $6 \times 7 \times 4 = 168$.
2. Pada analisis *Task Selection* telah disimpulkan tindakan perawatan yang optimal untuk komponen Motor Penggerak adalah *Failure finding* (FF), dengan interval kejadian kerusakan pada komponen Motor Penggerak yang tadinya setiap 1279 menit menjadi 3251 menit atau berkurang sebanyak 1.972 menit dan kegagalan mesin yang terjadi setiap 30 kali dalam sebulan dapat diminimalisir menjadi maksimal 13 kali dalam sebulan yang merupakan komponen dengan nilai kritis tertinggi, dilakukan tindakan perawatan yang tidak terlihat. Seperti, tindakan dapat melibatkan pemeriksaan isolasi lilitan motor guna mengidentifikasi risiko masalah isolasi yang bisa muncul akibat dampak kelembaban dan pemeriksaan berkala getaran motor untuk mendeteksi perubahan tiba-tiba atau karakteristik getaran yang tidak biasa secara berkala dengan penjadwalan yang optimal.
3. Total biaya perawatan komponen kritis dengan menggunakan *Life Cycle Cost* (LCC) untuk komponen Motor Penggerak pada mesin *Vibrating Grizzly* dengan rekomendasi perawatan interval setiap 3251 menit atau kurang lebih 54 jam dengan interval perawatan 13 kali setiap bulannya selama 15 tahun umur komponen Motor Penggerak adalah Rp 4.819.000.000 dengan nilai total LCC pada komponen Motor Penggerak mesin *Vibrating Grizzly* untuk 15 tahun umur mesin dengan nilai i nya 12% didapatkan NPVnya adalah sekitar Rp 2.461.191.602.

6.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya peneliti dapat juga melakukan pengembangan lebih jauh terkait dengan persen sparepartnya agar saat dilakukan penjadwalan penggantian sparepart yang dibutuhkan juga siap digunakan untuk memaksimalkan penjadwalan perawatan mesin Vibrating Grizzly di pertambangan emas PT. XYZ

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, D. (2017). Merancang Aplikasi Perpustakaan Menggunakan SDLC. In *Merancang Aplikasi Perpustakaan Menggunakan SDLC* (Issue October).
- Afiva, W. H., Tatas, F., Atmaji, D., & Alhilman, D. J. (2019). *Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) pada Perencanaan Interval Preventive Maintenance dan Estimasi Biaya Pemeliharaan Menggunakan Analisis FMECA (Studi Kasus : PT . XYZ)*. XIII(3), 298–310.
- Ahmad, A. A. M., & Ashari, F. (2022). Menentukan Penjadwalan Maintenance Mesin Finish Mill Dengan Metode FMEA Di PT Semen Indonesia (PERSERO) Tbk Determining Finish Mill Machine Maintenance Scheduling Using the FMEA Method at PT Semen Indonesia (PERSERO) Tbk. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Sistem Industri (JTMSI)*, 1(2), 77–84.
- Al Farisi, M. F., & Syifa, Y. A. (2021). Perencanaan Pembuatan Aplikasi Mobile Revalcon Sampit Menggunakan Metode Net Present Value. *Jurnal Sistem Komputer Dan Informatika (JSON)*, 2(2), 123–128. <https://doi.org/10.30865/json.v2i2.2660>
- Al Ghamdi, A. A. (2005). *Determinants of Total Quality Management in The Saudi Public Hospitals: The Moderating Impact of Knowledge Management Doctor of Philosophy*.
- Arsy, J. A. (2021). Perencanaan Perawatan Pada Mesin Extruder Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm) Di Pt Agro Cemerlang Plasindo. *Teknologi Rekayasa Konversi Energi Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 1–105.
- ASLAM, M. R. (2019). *ANALISIS LIFE CYCLE COST PROYEK RUMAH SUSUN SEDERHANA SEWA DI UNIVERSITAS HASANUDDIN*. Lcc, 12–30.
- Blanchard, B. S., & Fabrycky, W. J. (1998). *Systems Engineering And Analysis 5th Edition Blanchard Solutions Manual SYSTEMS ENGINEERING By*.
- Charles E. Ebeling. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering: Third Edition*.

- DEPARTMENT OF DEFENSE WASHINGTON DC. (1970). Life cycle costing procurement guide (interim) NATIONAL TECHNICAL INFORMATION SERVICE. *Economics and Cost Analysis*, 22151.
- Deshpande, V. S., & Modak, J. P. (2002). *Application of RCM to a medium scale industry*. 77.
- Farsi, M., Namooano, B., Sonmez, A. N., Addepalli, S., & Erkoyuncu, J. A. (2023). ScienceDirect A Robust Design for Lifecycle Cost with Reliability Analysis Integration. *Procedia CIRP*, 119, 248–253. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.05.004>
- Fitri, M., & Farid, M. (2023). Perawatan Mesin Crusher Menggunakan Metode RCM dan MVSM di PT. Galatta Lestarindo Sijunjung. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 52–57. <https://doi.org/10.35134/jitekin.v13i1.92>
- Han, X., Wang, Z., Xie, M., He, Y., Li, Y., & Wang, W. (2021). Remaining useful life prediction and predictive maintenance strategies for multi-state manufacturing systems considering functional dependence. *Reliability Engineering and System Safety*, 210(July 2020), 107560. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107560>
- Heiser, T., & Hofmeister, J. P. (2018). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering: Third Edition*. 1–10.
- Kaharuddin, A. (2018). *Distribusi eksponensial*.
- Kiki Ayu and Akilu Yunusa-Kaltungo. (2020). *A Holistic Framework for Supporting Maintenance*. 2040.
- Lannf, A. (1996). Pergamon SINGLE MACHINE SCHEDULING TO MINIMIZE. *Science*, 23(8), 769–781.
- Laseinde, T. (2021). ScienceDirect ScienceDirect Optimization of condition-based maintenance strategy prediction for aging automotive industrial equipment using FMEA. *Procedia Computer Science*, 180, 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.160>
- Maulidin, R. (2007). *Mean Time to Repair (MTTR) pada Information Technology*

Infrastructure Library (ITIL).

- MERT SARIGÜL. (2022). *DEVELOPMENT OF RELIABILITY-BASED MAINTENANCE POLICIES FOR HAUL TRUCKS IN A SURFACE MINE A. September.*
- Muliano, B. E., Fahmi, I., & Asnawi, Y. H. (2021). Delay Risk Assessment in Crusher System Construction At Pt Freeport Indonesia Underground Mine. *Jurnal Aplikasi Bisnis Dan Manajemen*, 7(3), 602–613. <https://doi.org/10.17358/jabm.7.3.602>
- Opyrcha, L. (2021). *IS MEAN TIME TO FAILURE (MTTF) EQUAL TO MEAN TIME OF LIFE FOR UNREPAIRABLE SYSTEMS? Czy dla nienaprawianych systemów średni czas bezawaryjnej (MTTF) pracy jest równy średniemu czasowi życia ?* 51(1), 255–264. <https://doi.org/10.2478/jok-2021-0017>
- Otaya, L. G. (2016). *Distribusi Probabilitas Weibull Dan Aplikasinya*. 4, 44–66.
- Patil, S. S., Bewoor, A. K., Kumar, R., Ahmadi, M. H., Sharifpur, M., & Praveenkumar, S. (2022). *Development of Optimized Maintenance Program for a Steam Boiler System Using Reliability-Centered Maintenance Approach.*
- Prasmoro, A. V. (2020). *Analisa sistem perawatan pada mesin las MIG dengan metode Failure Mode and Effect Analysis : Studi kasus di PT . TE*. 12(1), 13–27.
- Pump, F. O. S., Bahan, S., & Kapal, B. (2016). *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE DALAM PERAWATAN*. 14, 77–86.
- Putra Cahyadi, I., & Pudji Widjajati, E. (2021). *ANALISIS RELIABILITAS, LAJU KERUSAKAN, DAN ANALISIS BIAYA PADA MESIN PENENUN MENGGUNAKAN METODE LCC DI PT XYZ MOJOKERTO*. 02(03), 83–94.
- Qarahasanlou, A. N., Barabadi, A., & Saleki, M. (2023). *Operating Environmental Condition Effect on Reliability-Centred*. 14(2), 667–688. <https://doi.org/10.22044/jme.2023.12767.2318>
- Randiana, D., Saputra, F., Sukmono, Y., & Fathimahhayati, L. D. (2018). *ANALISIS RELIABILITY PADA MESIN FAN MILL UNIT 1 DI PT CAHAYA*

FAJAR KALTIM. 10(1).

- Saedudin, R. R., Anugraha, R. A., & Eka, R. (2020). *Fig. 1 Research Mindset Fig. 2 Conceptual Model. Lcc*, 1304–1308.
- Setiawannie, Y., Marikena, N., Industri, T., & Utama, U. P. (2022). *Perencanaan Penjadwalan Preventive Maintenance Mesin Pouch dengan Critical Path Method di PT . Grafika Nusantara. 1(1), 1–10.*
<https://doi.org/10.55123/insologi.v1i1.105>
- Shinta, H. D. W., Yanti, R., & Qurtubi. (2021). Analisis Perawatan Mesin dengan Metode Reliability Centered Maintenance(RCM) terhadapMesinAir Jet Loom(AJL). *Seminar Dan Konferensi Nasional IDEC , 3(1), 26–27.*
<https://idec.ft.uns.ac.id/wp-content/uploads/IDEC2021/PROSIDING/LSP/ID004.pdf>
- Sodikin, J., & Jati, U. S. (2022). *Analisa Kerusakan Transmisi Otomatis dengan Metode Failures Mode and Effects Analysis (FMEA) dan Logic Tree Anaysis (LTA). 03(01), 13–21.* <https://doi.org/10.35970/accurate.v3i1.1273>
- Vandenberg, E., & Chattopadhyay, G. (2021). *Improvement in Reliability , Availability and Maintainability (RAM) using Reliability Centred Maintenance (RCM) in Liquefied Natural Gas (LNG) loading arms .*
- Wang, S., Tomovic, M. M., Zhang, C., Zhang, Y., Dui, H., Wang, S., & Tomovic, M. M. (2022). *Importance Measure-Based Maintenance Strategy Considering Maintenance Costs Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability Importance measure-based maintenance strategy considering maintenance costs. 24, 15–24.*
- Wekke, I. S. (2019). Metode Penelitian Ekonomi Syariah. In *Gawe Buku* (Issue December 2019).
- Wolf, L., Modarres, M., & Rasmussen, N. C. (1980). *RELIABILITY ANALYSIS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS USING THE FAULT TREE MODULARIZATION TECHNIQUE. January.*

LAMPIRAN

A.1 Tabel Data Waktu Kerusakan

Mesin	No. Urut	Waktu Kerusakan		Downtime (Jam)
		Mulai	Finish	
<i>ROM Bin</i>	1	20/09/2023 00.00 AM	20/09/2023 01.10 AM	1.10
	2	20/09/2023 19.39 PM	20/09/2023 20.15 PM	0.36
	3	20/09/2023 23.14 PM	21/09/2023 00.00 AM	0.43
	4	21/09/2023 00.00 AM	21/09/2023 01.00 AM	1.00
	5	21/09/2023 06.42 AM	21/09/2023 06.43 AM	0.01
	6	21/09/2023 12.02 PM	21/09/2023 13.07 PM	0.59
	7	21/09/2023 19.50 PM	21/09/2023 20.51 PM	1.01
	8	21/09/2023 10.20 AM	21/09/2023 23.00 PM	12.40
	9	22/09/2023 00.01 AM	22/09/2023 01.12 AM	1.13
	10	22/09/2023 11.37 AM	22/09/2023 13.20 PM	1.43
	11	22/09/2023 17.30 PM	22/09/2023 17.43 PM	0.13
	12	22/09/2023 20.12 PM	22/09/2023 21.06 PM	0.54
	13	22/09/2023 22.10 PM	22/09/2023 22.11 PM	0.01
	14	22/09/2023 22.55 PM	22/09/2023 00.00 AM	1.05
	15	23/09/2023 21.26 PM	23/09/2023 22.57 PM	1.31
	16	23/09/2023 23.42 PM	23/09/2023 00.00 AM	0.18
	17	23/09/2023 16.15 PM	23/09/2023 16.32 PM	0.17
	18	24/09/2023 00.00 AM	24/09/2023 01.16 AM	1.16
	19	24/09/2023 01.43 AM	24/09/2023 03.16 AM	1.33
	20	24/09/2023 20.16 PM	24/09/2023 20.35 PM	0.19
	21	24/09/2023 04.20 AM	24/09/2023 13.21 PM	9.01
	22	26/09/2023 08.22 AM	26/09/2023 08.42 AM	0.20
	23	28/09/2023 01.08 AM	28/09/2023 01.38 AM	0.30
	24	28/09/2023 17.17 PM	28/09/2023 17.22 PM	0.05
	25	29/09/2023 20.09 PM	29/09/2023 20.45 PM	0.36

Mesin	No. Urut	Waktu Kerusakan		Downtime (Jam)
		Mulai	Finish	
	26	30/09/2023 04.43 AM	30/09/2023 04.52 AM	0.09
	27	30/09/2023 07.40 AM	30/09/2023 08.11 AM	0.31
	28	30/09/2023 12.49 PM	30/09/2023 13.09 PM	0.20
	29	30/09/2023 20.01 PM	30/09/2023 20.48 PM	0.47
	30	30/09/2023 22.57 PM	30/09/2023 22.59 PM	0.02
	31	01/10/2023 4.20 AM	01/10/2023 4.23 AM	0,03
	32	08/10/2023 20.00 PM	08/10/2023 20.22 PM	0.22
	33	09/10/2023 21.37 PM	09/10/2023 21.39 PM	0.02
	34	16/10/2023 15.27 PM	16/10/2023 15.40 PM	0.13
	35	16/10/2023 16.25 PM	16/10/2023 16.38 PM	0.13
	36	18/10/2023 18.07 PM	18/10/2023 18.15 PM	0.08
	37	18/10/2023 20.30 PM	18/10/2023 20.48 PM	0.18
	38	18/10/2023 21.09 PM	18/10/2023 21.25 PM	0.16
	39	19/10/2023 00.00 AM	19/10/2023 01.58 AM	1.58
	40	19/10/2023 02.54 AM	19/10/2023 03.55 AM	1.01
	41	19/10/2023 05.40 AM	19/10/2023 06.41 AM	1.01
	42	19/10/2023 10.15 AM	19/10/2023 10.37 AM	0.22
	43	19/10/2023 12.06 PM	19/10/2023 12.11 PM	0.05
Apron Feeder	1	21/09/2023 01.12 AM	21/09/2023 01.43 AM	0.31
	2	24/09/2023 23.36 PM	24/09/2023 00.00 AM	0.24
	3	25/09/2023 07.47 AM	25/09/2023 08.49 AM	1.02
	4	25/09/2023 19.42 PM	25/09/2023 20.21 PM	0.39
	5	26/09/2023 07.42 AM	26/09/2023 08.12 AM	0.30
	6	08/10/2023 08.00 AM	08/10/2023 08.22 AM	0.22
	7	08/10/2023 16.02 PM	08/10/2023 16.07 PM	0.05
	8	09/10/2023 14.42 PM	09/10/2023 14.48 PM	0.06
	9	10/10/2023 18.09 PM	10/10/2023 18.50 PM	0.41
	10	10/10/2023 19.40 PM	10/10/2023 20.57 PM	1.17
	11	18/10/2023 16.29 PM	18/10/2023 16.49 PM	0.20

Mesin	No. Urut	Waktu Kerusakan		Downtime (Jam)
		Mulai	Finish	
	12	18/10/2023 19.10 PM	18/10/2023 20.20 PM	1.10
	13	18/10/2023 21.37 PM	18/10/2023 22.25 PM	0.48
Vibrating	1	20/09/2023 08.00 AM	20/09/2023 15.41 PM	7.41
Grizzly	2	20/09/2023 17.04 PM	20/09/2023 17.08 PM	0.04
	3	20/09/2023 17.53 PM	20/09/2023 17.59 PM	0.06
	4	20/09/2023 18.03 PM	20/09/2023 18.10 PM	0.07
	5	20/09/2023 18.26 PM	20/09/2023 18.30 PM	0.04
	6	20/09/2023 18.36 PM	20/09/2023 18.44 PM	0.08
	7	20/09/2023 20.54 PM	20/09/2023 20.56 PM	1,2
	8	21/09/2023 15.55 PM	21/09/2023 17.05 PM	66
	9	21/09/2023 18.48 PM	21/09/2023 18.56 PM	4,8
	10	21/09/2023 21.24 PM	21/09/2023 21.42 PM	13,2
	11	22/09/2023 02.18 AM	22/09/2023 02.22 AM	2,4
	12	22/09/2023 00.00 AM	22/09/2023 01.13 AM	67,8
	13	22/09/2023 07.10 AM	22/09/2023 07.15 AM	3
	14	22/09/2023 18.23 PM	22/09/2023 18.28 PM	2,4
	15	23/09/2023 02.18 AM	23/09/2023 02.22 AM	2,4
	16	23/09/2023 19.49 PM	23/09/2023 20.46 PM	34,2
	17	25/09/2023 06.47 AM	25/09/2023 06.48 AM	0,6
	18	25/09/2023 19.19 PM	25/09/2023 19.20 PM	0,6
	19	25/09/2023 20.57 PM	25/09/2023 21.40 PM	10,2
	20	26/09/2023 01.35 AM	26/09/2023 01.42 AM	4,2
	21	26/09/2023 02.30 AM	26/09/2023 02.34 AM	2,4
	22	26/09/2023 03.00 AM	26/09/2023 03.03 AM	1,8
	23	27/09/2023 07.55 AM	28/09/2023 00.00 AM	963
	24	28/09/2023 19.09 PM	28/09/2023 19.10 PM	0,6
	25	28/09/2023 19.28 PM	28/09/2023 19.30 PM	1,2
	26	29/09/2023 14.24 PM	29/09/2023 14.42 PM	13,2
	27	29/09/2023 21.36 PM	29/09/2023 21.40 PM	2,4

Mesin	No.	Waktu Kerusakan		Downtime (Jam)
	Urut	Mulai	Finish	
	28	29/09/2023 23.24 PM	29/09/2023 23.27 PM	1,8
	29	30/09/2023 23.18 PM	30/09/2023 23.31 PM	7,8
	30	03/10/2023 00.00 AM	04/10/2023 00.00 AM	1440
	31	04/10/2023 00.00 AM	05/10/2023 00.00 AM	1440
	32	05/10/2023 00.00 AM	06/10/2023 00.00 AM	1440
	33	06/10/2023 00.00 AM	07/10/2023 00.00 AM	1440
	34	07/10/2023 21.47 PM	07/10/2023 21.55 PM	4,8
	35	08/10/2023 04.01 AM	08/10/2023 04.10 AM	5,4
	36	08/10/2023 05.44 AM	08/10/2023 05.56 AM	7,2
	37	08/10/2023 23.36 PM	08/10/2023 23.40 PM	2,4
	38	08/10/2023 23.49 PM	08/10/2023 23.57 PM	4,8
	39	09/10/2023 06.30 AM	09/10/2023 06.42 AM	7,2
	40	09/10/2023 10.32 AM	09/10/2023 10.38 AM	3,6
	41	09/10/2023 21.53 PM	09/10/2023 22.16 PM	13,8
	42	10/10/2023 04.32 AM	10/10/2023 04.33 AM	0,6
	43	10/10/2023 07.46 AM	10/10/2023 08.47 AM	60,6
	44	10/10/2023 20.54 PM	10/10/2023 20.59 PM	3
	45	11/10/2023 03.17 AM	11/10/2023 03.22 AM	3
	46	11/10/2023 07.50 AM	11/10/2023 08.22 AM	19,2
	47	12/10/2023 00.00 AM	13/10/2023 00.00 AM	1440
	48	13/10/2023 00.00 AM	14/10/2023 00.00 AM	1440
	49	14/10/2023 19.00 PM	14/10/2023 20.27 PM	76,2
	50	14/10/2023 20.46 PM	14/10/2023 20.54 PM	6
	51	14/10/2023 21.27 PM	14/10/2023 21.28 PM	0,6
	52	15/10/2023 07.27 AM	15/10/2023 08.32 AM	63
	53	15/10/2023 11.29 AM	15/10/2023 11.31 AM	1,2
	54	15/10/2023 20.01 PM	15/10/2023 20.11 PM	6
	55	16/10/2023 19.52 PM	16/10/2023 20.30 PM	22,8
	56	17/10/2023 06.33 AM	17/10/2023 09.18 AM	147

Mesin	No.	Waktu Kerusakan		Downtime (Jam)
	Urut	Mulai	Finish	
	57	19/10/2023 07.10 AM	19/10/2023 08.12 AM	61,2
	58	19/10/2023 12.14 PM	20/10/2023 00.00 AM	687,6
	59	20/10/2023 00.00 AM	21/10/2023 00.00 AM	1440
Jaw Crusher	1	21/09/2023 08.20 AM	21/09/2023 11.22 AM	3.02
	2	24/09/2023 22.17 PM	24/09/2023 22.28 PM	0.11
	3	25/09/2023 02.41 AM	25/09/2023 02.58 AM	0.19
	4	28/09/2023 02.57 AM	28/09/2023 03.11 AM	0.14
	5	28/09/2023 04.06 AM	28/09/2023 04.29 AM	0.23
	6	28/09/2023 04.46 AM	28/09/2023 04.56 AM	0.10
	7	28/09/2023 06.41 AM	28/09/2023 16.33 PM	9.52
	8	29/09/2023 04.25 AM	29/09/2023 04.41 AM	0.16
	9	29/09/2023 20.58 PM	29/09/2023 21.15 PM	0.17
	10	29/09/2023 21.20 PM	29/09/2023 21.30 PM	0.10
	11	01/10/2023 02.25 AM	01/10/2023 02.38 AM	0.13
	12	01/10/2023 02.55 AM	01/10/2023 02.58 AM	0.03
	13	05/10/2023 00.00 AM	06/10/2023 00.00 AM	24.00
	14	06/10/2023 00.00 AM	07/10/2023 00.00 AM	24.00
	15	07/10/2023 00.00 AM	07/10/2023 15.32 PM	15.32
	16	07/10/2023 15.45 PM	07/10/2023 15.51 PM	0.06
	17	08/10/2023 11.56 AM	08/10/2023 13.31 PM	1.35
	18	09/10/2023 07.37 AM	09/10/2023 08.24 AM	0.47
	19	11/10/2023 14.10 PM	11/10/2023 14.20 PM	0.10
	20	11/10/2023 15.59 PM	11/10/2023 16.43 PM	0.44
	21	11/10/2023 17.18 PM	12/10/2023 00.00 AM	6.42
	22	14/10/2023 00.00 AM	14/10/2023 10.34 AM	10.34
	23	14/10/2023 10.46 AM	14/10/2023 13.24 PM	2.38
	24	14/10/2023 13.32 PM	14/10/2023 13.37 PM	0.05
	25	14/10/2023 15.02 PM	14/10/2023 15.19 PM	0.17
	26	14/10/2023 16.02 PM	14/10/2023 16.18 PM	0.16

Mesin	No.	Waktu Kerusakan		Downtime (Jam)
	Urut	Mulai	Finish	
	27	14/10/2023 17.35 PM	14/10/2023 19.00 PM	1.25
	28	15/10/2023 08.40 AM	15/10/2023 10.46 AM	2.06
	29	15/10/2023 11.32 AM	15/10/2023 17.14 PM	5.42
	30	17/10/2023 05.23 AM	17/10/2023 05.35 AM	0.12
	31	17/10/2023 14.17 PM	17/10/2023 14.44 PM	0.37
	32	17/10/2023 16.28 PM	18/10/2023 00.00 AM	7.32
	33	18/10/2023 00.00 AM	18/10/2023 15.06 PM	15.06
	34	18/10/2023 22.54 PM	19/10/2023 00.00 AM	1.06
Conveyor	1	21/09/2023 19.36 PM	21/09/2023 19.41 PM	0.05
	2	21/09/2023 22.55 PM	21/09/2023 23.00 PM	0.05
	3	22/09/2023 02.39 AM	22/09/2023 02.43 AM	0.04
	4	22/09/2023 06.27 AM	22/09/2023 06.30 AM	0.03
	5	22/09/2023 08.12 AM	22/09/2023 11.02 AM	2.50
	6	22/09/2023 14.20 PM	22/09/2023 14.50 PM	0.30
	7	22/09/2023 23.37 PM	22/09/2023 23.47 PM	0.10
	8	23/09/2023 23.22 PM	23/09/2023 23.24 PM	0.02
	9	24/09/2023 19.33 PM	24/09/2023 19.48 PM	0.15
	10	26/09/2023 10.39 AM	26/09/2023 10.54 AM	0.15
	11	26/09/2023 14.05 PM	26/09/2023 14.31 PM	0.26
	12	26/09/2023 14.44 PM	26/09/2023 16.07 PM	1.23
	13	26/09/2023 20.28 PM	26/09/2023 20.52 PM	0.24
	14	28/09/2023 18.19 PM	28/09/2023 18.43 PM	0.24
	15	29/09/2023 02.47 AM	29/09/2023 02.48 AM	0.01
	16	29/09/2023 04.44 AM	29/09/2023 04.58 AM	0.14
	17	29/09/2023 04.59 AM	29/09/2023 05.07 AM	0.08
	18	29/09/2023 06.02 AM	29/09/2023 06.11 AM	0.09
	19	29/09/2023 06.39 AM	29/09/2023 13.45 PM	7.06
	20	30/09/2023 02.06 AM	30/09/2023 02.08 AM	0.02
	21	30/09/2023 02.14 AM	30/09/2023 02.15 AM	0.01

Mesin	No.	Waktu Kerusakan		Downtime (Jam)
	Urut	Mulai	Finish	
	22	30/09/2023 09.45 AM	30/09/2023 10.02 AM	0.17
	23	30/09/2023 13.35 PM	30/09/2023 13.36 PM	0.01
	24	30/09/2023 16.14 PM	30/09/2023 17.33 PM	1.19
	25	01/10/2023 01.45 AM	01/10/2023 02.22 AM	0.37
	26	01/10/2023 07.13 AM	01/10/2023 07.17 AM	0.04
	27	01/10/2023 07.18 AM	01/10/2023 08.40 AM	1.40
	28	08/10/2023 11.05 AM	08/10/2023 11.07 AM	0.02
	29	09/10/2023 03.36 AM	09/10/2023 03.38 AM	0.02
	30	09/10/2023 20.00 PM	09/10/2023 20.42 PM	0.42
	31	10/10/2023 03.25 AM	10/10/2023 03.29 AM	0.04
	32	10/10/2023 03.38 AM	10/10/2023 03.50 AM	0.12
	33	10/10/2023 17.15 PM	10/10/2023 17.19 PM	0.04
	34	10/10/2023 23.32 PM	10/10/2023 23.36 PM	0.04
	35	11/10/2023 02.42 AM	11/10/2023 02.45 AM	0.03
	36	14/10/2023 14.51 PM	14/10/2023 14.52 PM	0.01
	37	15/10/2023 04.04 AM	15/10/2023 05.30 AM	1.26
	38	15/10/2023 05.30 AM	15/10/2023 06.22 AM	0.52
	39	15/10/2023 19.37 PM	15/10/2023 19.41 PM	0.04
	40	16/10/2023 07.56 AM	16/10/2023 09.30 AM	1.34
	41	16/10/2023 14.00 PM	16/10/2023 14.02 PM	0.02
	42	16/10/2023 14.02 PM	16/10/2023 14.04 PM	0.02
	43	16/10/2023 14.07 PM	16/10/2023 14.09 PM	0.02
	44	16/10/2023 14.10 PM	16/10/2023 14.13 OM	0.03
	45	16/10/2023 14.30 PM	16/10/2023 14.44 PM	0.14
	46	16/10/2023 21.01 PM	16/10/2023 21.14 PM	0.13
	47	16/10/2023 21.35 PM	16/10/2023 21.37 PM	0.02
	48	16/10/2023 22.00 PM	16/10/2023 22.21 PM	0.21

A.2 Tabel Rekap Hasil Wawancara

Mesi n/ Alat	Funct ion	Kompo nen	Mode Kegagal an	Dampak Kegagalan	Penyeba b Kegagal an	S	O	D	RP N
ROM Bin	Temp at mena mpun g ore atau mater ial yang	Ruang ROM Bin	Terjadiny a <i>block</i> di ROM Bin	Terhambat nya proses aliran ore ke Crusher	ukuran ore melebihi ukuran standar atau belum di sortir oleh geo dan Human Error	3	5	5	45
	akan di hancu rkan oleh Crush er	Fasilitas ROM Bin	Lampu di area Crusher tidak berfungsi	ore meluap keluar jika levelnya tinggi, dan crusher berhenti jika levelnya rendah	sensor level rombin tidak bekerja atau terbentur ore yang penuh	3	3	6	54
Apron Feeder	Berfu ngsi untuk meng umpa	<i>Pan Apron</i>	Kegagala n <i>Pan Apron</i> pada <i>Apron</i>	Terhambatn ya proses aliran ore ke Crusher, peningkatan	overloading, material tajam, dan keausan pada pan	6	2	2	24

nkan		<i>Feeder</i>	downtime,	apron					
mater			dan						
ial			penurunan						
atau			produktivita						
ore			s						
dari	Roller	Kegagala	Gesekan,	Kelebihan	3	3	5	45	
ROM	dan	n <i>roller</i>	getaran, dan	beban ore					
Bin	Bearing	dan	kebisingan	dan					
ke		<i>bearing</i>	yang	kurangnya					
<i>Vibra</i>		pada	meningkat	pelumas					
<i>ting</i>		<i>Apron</i>	mengurangi						
<i>Grizz</i>		<i>Feeder</i>	efisiensi						
<i>ly</i>			operasi dan						
dan			keausan						
meng			berkelanjuta						
ontro			n						
l	Motor	Kegagala	Apron	ore berlebih,	2	3	6	36	
aliran	Pengger	n motor	feeder	kelebihan					
ore	ak	penggera	berhenti	beban ore					
deng		k pada	secara tiba-	dan					
an		<i>Apron</i>	tiba	kelistrikan					
meng		<i>Feeder</i>		ataupun					
atur				komponen					
kecep				error					
atann	Skirt	Terjadiny	Terhambatn	ukuran ore	3	3	5	45	
ya.	boards	a <i>block</i> di	ya proses	melebihi					
		<i>Apron</i>	aliran ore ke	standar atau					
		<i>Feeder</i>	Crusher	belum di					
				sortir oleh					

					bagian geo dan Human Error				
Vibrating Grizzly	Berfungsi sebagai pemisah ore atau material berbeda	Bearing	Kegagalan <i>bearing</i> pada <i>Vibrating Grizzly</i>	Penundaan dalam proses pengumpanan ore, peningkatan downtime, dan penurunan produktivitas	Kerusakan bearing	2	8	3	48
	sarkas n ukurannya	Frame (rangka)	<i>Cover</i> terangkat saat crusher running dan tidak cukup efisien menahan ore pada <i>Vibrating Grizzly</i>	ore atau material meluap dan berjatuhan dan berpotensi bahaya bagi operator	ore yang menggantal diantara vibrating grizzly dan cover	3	2	4	24
		Motor penggerak	Kegagalan motor penggerak	pemberhenti an operasi vibrating	Human Error, v-bearing overheat	6	7	4	168

			k pada grizzly <i>Vibrating</i> feeder <i>Grizzly</i> secara keseluruhan						
		Deck	Block pada <i>Vibrating</i> <i>Grizzly</i>	ore tertahan di vibrating grizzly dan tidak mau jatuh	Menumpuknya ore (tanah) di grizzly bar	2	2	7	28
Jaw Crusher	Berfungsi sebagai alat pemecah ore atau materi al	Bearing	Kegagalan bearing pada <i>Jaw Crusher</i>	Penurunan produktivitas, getaran berlebihan	Kurangnya pelumasan, bearing aus, atau kerusakan pada bearing	3	2	6	36
		<i>Transfer chute</i>	Kebocoran pada <i>transfer chute</i> pada <i>Jaw Crusher</i>	Ore meluap keluar karena blog	Benturan dari ore yang keras	4	2	5	40
		<i>fixed jaw plate dan moving jaw plate</i>	Kegagalan pemecahan ore oleh <i>swing jaw dan fix jaw</i> pada <i>Jaw</i>	potensi bahaya bagi operator, kerusakan pada jaw crusher, dan	korosi, kelebihan beban ore, getaran berlebihan	3	4	5	60

			<i>Crusher</i>	berhentinya operasi					
Conveyor	Berfungsi sebagai alat pengangkutan material atau ore ke proses selanjutnya	Belt	Kegagalan belt pada <i>Conveyor</i>	peningkatan downtime, gangguan aliran ore, dan penurunan produktivitas	elt conveyor aus dan kerusakan yang dapat dipicu oleh overloading, dan ore tajam	6	3	5	90
		Roller dan Bearing	kegagalan roller dan bearing pada <i>Conveyor</i>	gesekan, getaran, dan kebisingan meningkat sehingga mengurangi efisiensi operasi dan mengakibatkan keausan pada bearing	kelebihan beban ore, kurangnya pelumas dan kerusakan pada komponen roller	3	3	4	36
		Motor penggerak	kegagalan motor penggerak pada	penghentian operasi conveyor secara	kelebihan beban ore, kelistrikan ataupun	3	2	5	30

	<i>Conveyor</i>	keseluruhan	kerusakan komponen motor, human error						
<i>Belt sway</i> atau sensor	kegagalan <i>belt sway</i> atau sensor pada <i>Conveyor</i>	ore merembes dan tumpah	licin akibat cuaca atau ore yang diangkut dalam keadaan basah	3	2	5	30		

A.3 Distribusi Eksponensial Waktu Antar Kerusakan

$$\begin{aligned}
 Xi &= ti \\
 &= 259 \\
 Xi^2 &= 259^2 \\
 &= 67081 \\
 F(ti) &= \frac{i-0,3}{29+0,4} \\
 &= \frac{1-0,3}{29+0,4} = 0,02380952 \\
 Yi &= \ln\left(\frac{1}{1-F(ti)}\right) \\
 &= 0,0241 \\
 Yi^2 &= 0,0241^2 \\
 &= 0,00058 \\
 XiYi &= 259 \times 0,0241 \\
 &= 0,00058
 \end{aligned}$$

Tabel Distribusi Eksponensial

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	259	259	67081	0,02380952	0,0241	0,00058	6,24127
2	276	276	76176	0,05782313	0,05956	0,00355	16,4392
3	366	366	133956	0,09183673	0,09633	0,00928	35,2572
4	375	375	140625	0,12585034	0,1345	0,01809	50,4389
5	376	376	141376	0,15986395	0,17419	0,03034	65,496
6	534	534	285156	0,19387755	0,21552	0,04645	115,087
7	591	591	349281	0,22789116	0,25863	0,06689	152,85
8	603	603	363609	0,26190476	0,30368	0,09222	183,12
9	635	635	403225	0,29591837	0,35086	0,1231	222,797
10	651	651	423801	0,32993197	0,40038	0,1603	260,645
11	675	675	455625	0,36394558	0,45247	0,20473	305,418
12	803	803	644809	0,39795918	0,50743	0,25749	407,466

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
13	902	902	813604	0,43197279	0,56559	0,31989	510,159
14	938	938	879844	0,46598639	0,62733	0,39355	588,439
15	981	981	962361	0,5	0,69315	0,48045	679,977
16	1021	1021	1042441	0,53401361	0,7636	0,58308	779,634
17	1080	1080	1166400	0,56802721	0,83939	0,70458	906,544
18	1149	1149	1320201	0,60204082	0,92141	0,84899	1058,7
19	1154	1154	1331716	0,63605442	1,01075	1,02162	1166,41
20	1440	1440	2073600	0,67006803	1,10887	1,22959	1596,77
21	1521	1521	2313441	0,70408163	1,21767	1,48272	1852,08
22	1813	1813	3286969	0,73809524	1,33977	1,795	2429,01
23	1941	1941	3767481	0,77210884	1,47889	2,18711	2870,52
24	1978	1978	3912484	0,80612245	1,64053	2,69133	3244,97
25	2401	2401	5764801	0,84013605	1,83343	3,36147	4402,07
26	2580	2580	6656400	0,87414966	2,07266	4,29593	5347,47
27	2694	2694	7257636	0,90816327	2,38774	5,70132	6432,58
28	2752	2752	7573504	0,94217687	2,85037	8,12459	7844,21
29	4340	4340	1,9E+07	0,97619048	3,73767	13,9702	16221,5
Total	36829	36829	7,2E+07	14,5	28,0665	50,2044	59752,3

Menghitung nilai r pada distribusi Eksponensial:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{n \sum_{i=1}^n XiYi - (\sum_{i=1}^n Xi) (\sum_{i=1}^n Yi)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Xi^2 - (\sum_{i=1}^n Xi)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n Yi^2 - (\sum_{i=1}^n Yi)^2}} \\
 r &= \frac{(29 \times 59752,3) - (36829 \times 28,0665)}{\sqrt{(29 \times 7,2E+07) - (36829)^2} \sqrt{(29 \times 50,2044 + 07) - (28,0665)^2}} \\
 r &= 0,991276
 \end{aligned}$$

A.4 Distribusi Normal Waktu Antar Kerusakan

$$\begin{aligned}
 Xi &= ti \\
 &= 259 \\
 Xi^2 &= 259^2 \\
 &= 67081 \\
 F(ti) &= \frac{i-0,3}{29+0,4} \\
 &= \frac{1-0,3}{29+0,4} = 0,02380952 \\
 Yi &= Zi = \Phi^{-1}(F(ti)) \\
 &= Zi = \Phi^{-1}(0,02380952) = -1,9807524 \\
 Yi^2 &= -1,9807524^2 \\
 &= 3,92338 \\
 XiYi &= 259 \times -1,9807524 \\
 &= -513,01
 \end{aligned}$$

Tabel Distribusi Normal

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	259	259	67081	0,02380952	-1,9807524	3,92338	-513,01
2	276	276	76176	0,05782313	-1,57331344	2,47532	-434,23
3	366	366	133956	0,09183673	-1,32952911	1,76765	-486,61
4	375	375	140625	0,12585034	-1,14622835	1,31384	-429,84
5	376	376	141376	0,15986395	-0,99501722	0,99006	-374,13
6	534	534	285156	0,19387755	-0,86369565	0,74597	-461,21
7	591	591	349281	0,22789116	-0,74580981	0,55623	-440,77
8	603	603	363609	0,26190476	-0,63748416	0,40639	-384,4
9	635	635	403225	0,29591837	-0,53617627	0,28748	-340,47
10	651	651	423801	0,32993197	-0,44010102	0,19369	-286,51
11	675	675	455625	0,36394558	-0,34793213	0,12106	-234,85
12	803	803	644809	0,39795918	-0,25863307	0,06689	-207,68

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
13	902	902	813604	0,43197279	-0,1713538	0,02936	-154,56
14	938	938	879844	0,46598639	-0,08536302	0,00729	-80,071
15	981	981	962361	0,5	0	0	0
16	1021	1021	1042441	0,53401361	0,085363023	0,00729	87,1556
17	1080	1080	1166400	0,56802721	0,171353802	0,02936	185,062
18	1149	1149	1320201	0,60204082	0,258633067	0,06689	297,169
19	1154	1154	1331716	0,63605442	0,347932128	0,12106	401,514
20	1440	1440	2073600	0,67006803	0,440101017	0,19369	633,745
21	1521	1521	2313441	0,70408163	0,536176266	0,28748	815,524
22	1813	1813	3286969	0,73809524	0,637484161	0,40639	1155,76
23	1941	1941	3767481	0,77210884	0,74580981	0,55623	1447,62
24	1978	1978	3912484	0,80612245	0,863695653	0,74597	1708,39
25	2401	2401	5764801	0,84013605	0,995017216	0,99006	2389,04
26	2580	2580	6656400	0,87414966	1,14622835	1,31384	2957,27
27	2694	2694	7257636	0,90816327	1,329529107	1,76765	3581,75
28	2752	2752	7573504	0,94217687	1,573313441	2,47532	4329,76
29	4340	4340	1,9E+07	0,97619048	1,980752397	3,92338	8596,47
Total	36829	36829	7,2E+07	14,5	2,22045E-15	25,7692	23757,9

Menghitung nilai r pada distribusi Normal:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n XiYi - (\sum_{i=1}^n Xi)(\sum_{i=1}^n Yi)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Xi^2 - (\sum_{i=1}^n Xi)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n Yi^2 - (\sum_{i=1}^n Yi)^2}}$$

$$r = \frac{(29 \times 23757,9) - (36829 \times 2,22045E-15)}{\sqrt{(29 \times 7,2E+07) - (36829)^2} \sqrt{(29 \times 25,7692) - (2,22045E-15)^2}}$$

$$r = 0,923698$$

A.5 Distribusi Lognormal Waktu Antar Kerusakan

$$\begin{aligned}
 Xi &= \ln ti \\
 &= \ln 259 = 5,556828062 \\
 Xi^2 &= 5,556828062^2 \\
 &= 30,8783 \\
 F(ti) &= \frac{i-0,3}{29+0,4} \\
 &= \frac{1-0,3}{29+0,4} = 0,02380952 \\
 Yi &= Zi = \Phi^{-1}(F(ti)) \\
 &= Zi = \Phi^{-1}(0,02380952) = -1,9807524 \\
 Yi^2 &= -1,9807524^2 \\
 &= 3,92338 \\
 XiYi &= 5,556828062 \times -1,9807524 \\
 &= -11,007
 \end{aligned}$$

Tabel Distribusi Lognormal

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	259	5,556828062	30,8783	0,02381	-1,9808	3,92338	-11,007
2	276	5,620400866	31,5889	0,05782	-1,5733	2,47532	-8,8427
3	366	5,902633333	34,8411	0,09184	-1,3295	1,76765	-7,8477
4	375	5,926926026	35,1285	0,12585	-1,1462	1,31384	-6,7936
5	376	5,929589143	35,16	0,15986	-0,995	0,99006	-5,9
6	534	6,280395839	39,4434	0,19388	-0,8637	0,74597	-5,4244
7	591	6,381816017	40,7276	0,22789	-0,7458	0,55623	-4,7596
8	603	6,401917197	40,9845	0,2619	-0,6375	0,40639	-4,0811
9	635	6,453624999	41,6493	0,29592	-0,5362	0,28748	-3,4603
10	651	6,478509642	41,9711	0,32993	-0,4401	0,19369	-2,8512
11	675	6,514712691	42,4415	0,36395	-0,3479	0,12106	-2,2667

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
12	803	6,688354714	44,7341	0,39796	-0,2586	0,06689	-1,7298
13	902	6,80461452	46,3028	0,43197	-0,1714	0,02936	-1,166
14	938	6,843749949	46,8369	0,46599	-0,0854	0,00729	-0,5842
15	981	6,88857246	47,4524	0,5	0	0	0
16	1021	6,928537818	48,0046	0,53401	0,08536	0,00729	0,59144
17	1080	6,98471632	48,7863	0,56803	0,17135	0,02936	1,19686
18	1149	7,046647278	49,6552	0,60204	0,25863	0,06689	1,8225
19	1154	7,050989447	49,7165	0,63605	0,34793	0,12106	2,45327
20	1440	7,272398393	52,8878	0,67007	0,4401	0,19369	3,20059
21	1521	7,327123292	53,6867	0,70408	0,53618	0,28748	3,92863
22	1813	7,502738211	56,2911	0,7381	0,63748	0,40639	4,78288
23	1941	7,570958583	57,3194	0,77211	0,74581	0,55623	5,6465
24	1978	7,589841512	57,6057	0,80612	0,8637	0,74597	6,55531
25	2401	7,783640596	60,5851	0,84014	0,99502	0,99006	7,74486
26	2580	7,855544678	61,7096	0,87415	1,14623	1,31384	9,00425
27	2694	7,898782357	62,3908	0,90816	1,32953	1,76765	10,5017
28	2752	7,920083199	62,7277	0,94218	1,57331	2,47532	12,4608
29	4340	8,375629627	70,1512	0,97619	1,98075	3,92338	16,59
Total	36829	199,7802768	1391,66	14,5	2,2E-15	25,7692	19,7655

Menghitung nilai r pada distribusi Lognormal:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n XiYi - (\sum_{i=1}^n Xi \sum_{i=1}^n Yi)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Xi^2 - (\sum_{i=1}^n Xi)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n Yi^2 - (\sum_{i=1}^n Yi)^2}}$$

$$r = \frac{(29 \times 19,7655) - (199,7802768 \times 2,2E-15)}{\sqrt{(29 \times 1391,66) - (199,7802768)^2} \sqrt{(29 \times 25,7692) - (2,2E-15)^2}}$$

$$r = 0,992951935$$

A.6 Distribusi Weibull Waktu Antar Kerusakan

$$\begin{aligned}
 Xi &= \ln ti \\
 &= \ln 259 = 5,556828062 \\
 Xi^2 &= 5,556828062^2 \\
 &= 30,8783 \\
 F(ti) &= \frac{i-0,3}{29+0,4} \\
 &= \frac{1-0,3}{29+0,4} = 0,02380952 \\
 Yi &= \ln[\ln(\frac{1}{1-F(ti)})] \\
 &= \ln[\ln(\frac{1}{1-0,02380952})] = 0,02409755 \\
 Yi^2 &= 0,02409755^2 \\
 &= 0,00058 \\
 XiYi &= 5,556828062 \times 0,02409755 \\
 &= 0,13391
 \end{aligned}$$

Tabel Distribusi Weibull

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	259	5,55683	30,8783	0,02381	0,02409755	0,00058	0,13391
2	276	5,6204	31,5889	0,05782	0,05956226	0,00355	0,33476
3	366	5,90263	34,8411	0,09184	0,09633111	0,00928	0,56861
4	375	5,92693	35,1285	0,12585	0,13450368	0,01809	0,79719
5	376	5,92959	35,16	0,15986	0,17419143	0,03034	1,03288
6	534	6,2804	39,4434	0,19388	0,21551963	0,04645	1,35355
7	591	6,38182	40,7276	0,22789	0,25862975	0,06689	1,65053
8	603	6,40192	40,9845	0,2619	0,30368241	0,09222	1,94415
9	635	6,45362	41,6493	0,29592	0,35086097	0,1231	2,26433

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
10	651	6,47851	41,9711	0,32993	0,40037604	0,1603	2,59384
11	675	6,51471	42,4415	0,36395	0,45247115	0,20473	2,94772
12	803	6,68835	44,7341	0,39796	0,50743003	0,25749	3,39387
13	902	6,80461	46,3028	0,43197	0,56558595	0,31989	3,84859
14	938	6,84375	46,8369	0,46599	0,62733396	0,39355	4,29332
15	981	6,88857	47,4524	0,5	0,69314718	0,48045	4,77479
16	1021	6,92854	48,0046	0,53401	0,76359884	0,58308	5,29062
17	1080	6,98472	48,7863	0,56803	0,83939268	0,70458	5,86292
18	1149	7,04665	49,6552	0,60204	0,92140583	0,84899	6,49282
19	1154	7,05099	49,7165	0,63605	1,01075093	1,02162	7,12679
20	1440	7,2724	52,8878	0,67007	1,10886879	1,22959	8,06414
21	1521	7,32712	53,6867	0,70408	1,21767165	1,48272	8,92203
22	1813	7,50274	56,2911	0,7381	1,33977435	1,795	10,052
23	1941	7,57096	57,3194	0,77211	1,47888715	2,18711	11,1966
24	1978	7,58984	57,6057	0,80612	1,6405285	2,69133	12,4514
25	2401	7,78364	60,5851	0,84014	1,83343217	3,36147	14,2708
26	2580	7,85554	61,7096	0,87415	2,07266185	4,29593	16,2819
27	2694	7,89878	62,3908	0,90816	2,3877429	5,70132	18,8603
28	2752	7,92008	62,7277	0,94218	2,85036642	8,12459	22,5751
29	4340	8,37563	70,1512	0,97619	3,73766962	13,9702	31,3053
Total	36829	199,78	1391,66	14,5	28,0664748	50,2044	210,685

Menghitung nilai r pada distribusi Weibull:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{n \sum_{i=1}^n XiYi - (\sum_{i=1}^n Xi \sum_{i=1}^n Yi)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Xi^2 - (\sum_{i=1}^n Xi)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n Yi^2 - (\sum_{i=1}^n Yi)^2}} \\
 r &= \frac{(29 \times 210,685) - (199,7802768 \times 28,0664748)}{\sqrt{(29 \times 1391,66) - (199,7802768)^2} \sqrt{(29 \times 50,2044) - (28,0664748)^2}} \\
 r &= 0,92098
 \end{aligned}$$

A.7 Distribusi Eksponensial Waktu antar Perbaikan

$$\begin{aligned}
 Xi &= ti \\
 &= 1 \\
 Xi^2 &= 1^2 \\
 &= 1 \\
 F(ti) &= \frac{i-0,3}{30+0,4} \\
 &= \frac{1-0,3}{30+0,4} = 0,02302632 \\
 Yi &= \ln\left(\frac{1}{1-0,02302632}\right) \\
 &= 0,0233 \\
 Yi^2 &= 0,0233^2 \\
 &= 0,00054 \\
 XiYi &= 1 \times 0,0233 \\
 &= 0,0233
 \end{aligned}$$

Tabel Distribusi Eksponensial

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	1	1	1	0,02302632	0,0233	0,00054	0,0233
2	1	1	1	0,05592105	0,05755	0,00331	0,05755
3	1	1	1	0,08881579	0,09301	0,00865	0,09301
4	1	1	1	0,12171053	0,12978	0,01684	0,12978
5	2	2	4	0,15460526	0,16795	0,02821	0,3359
6	2	2	4	0,1875	0,20764	0,04311	0,41528
7	4	4	16	0,22039474	0,24897	0,06198	0,99587
8	4	4	16	0,25328947	0,29208	0,08531	1,16831

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
9	4	4	16	0,28618421	0,33713	0,11366	1,34852
10	5	5	25	0,31907895	0,38431	0,14769	1,92154
11	6	6	36	0,35197368	0,43382	0,1882	2,60294
12	7	7	49	0,38486842	0,48592	0,23612	3,40143
13	8	8	64	0,41776316	0,54088	0,29255	4,32702
14	8	8	64	0,45065789	0,59903	0,35884	4,79227
15	12	12	144	0,48355263	0,66078	0,43663	7,92938
16	22	22	484	0,51644737	0,7266	0,52794	15,9851
17	22	22	484	0,54934211	0,79705	0,63528	17,535
18	23	23	529	0,58223684	0,87284	0,76185	20,0753
19	32	32	1024	0,61513158	0,95485	0,91175	30,5553
20	33	33	1089	0,64802632	1,0442	1,09035	34,4586
21	38	38	1444	0,68092105	1,14232	1,30489	43,408
22	57	57	3249	0,71381579	1,25112	1,5653	71,3138
23	62	62	3844	0,74671053	1,37322	1,88574	85,1398
24	70	70	4900	0,77960526	1,51234	2,28716	105,863
25	165	165	27225	0,8125	1,67398	2,8022	276,206
26	461	461	212521	0,84539474	1,86688	3,48524	860,632
27	965	965	931225	0,87828947	2,10611	4,4357	2032,4
28	1440	1440	2073600	0,91118421	2,42119	5,86217	3486,51
29	1440	1440	2073600	0,94407895	2,88381	8,31639	4152,69
30	1440	1440	2073600	0,97697368	3,77112	14,2213	5430,41
Total	6336	6336	7409260	15	29,0598	52,1149	16692,7

Menghitung nilai r pada distribusi Ekspensial:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n XiYi - (\sum_{i=1}^n Xi \sum_{i=1}^n Yi)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Xi^2 - (\sum_{i=1}^n Xi)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n Yi^2 - (\sum_{i=1}^n Yi)^2}}$$

$$r = \frac{(30 \times 16692,7) - (6336 \times 29,0598)}{\sqrt{(30 \times 7409260) - (6336)^2} \sqrt{(30 \times 52,1149) - (29,0598)^2}}$$

$$r = 0,875064$$

A.8 Distribusi Normal Waktu antar Perbaikan

$$\begin{aligned}
 Xi &= ti \\
 &= 1 \\
 Xi^2 &= 1^2 \\
 &= 1 \\
 F(ti) &= \frac{i-0,3}{30+0,4} \\
 &= \frac{1-0,3}{30+0,4} = 0,02302632 \\
 Yi &= Zi = \Phi^{-1}(F(ti)) \\
 &= Zi = \Phi^{-1}(0,02302632) = -1,9949106 \\
 Yi^2 &= -1,9949106^2 \\
 &= 3,97967 \\
 XiYi &= 1 \times -1,9949106 \\
 &= -1,9949
 \end{aligned}$$

Tabel Distribusi Normal

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	1	1	1	0,02302632	-1,9949106	3,97967	-1,9949
2	1	1	1	0,05592105	-1,58996761	2,528	-1,59
3	1	1	1	0,08881579	-1,34808334	1,81733	-1,3481
4	1	1	1	0,12171053	-1,16647846	1,36067	-1,1665
5	2	2	4	0,15460526	-1,01687998	1,03404	-2,0338
6	2	2	4	0,1875	-0,88714656	0,78703	-1,7743
7	4	4	16	0,22039474	-0,77086075	0,59423	-3,0834

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
8	4	4	16	0,25328947	-0,66417401	0,44113	-2,6567
9	4	4	16	0,28618421	-0,56456685	0,31874	-2,2583
10	5	5	25	0,31907895	-0,47027593	0,22116	-2,3514
11	6	6	36	0,35197368	-0,37999737	0,1444	-2,28
12	7	7	49	0,38486842	-0,29271914	0,08568	-2,049
13	8	8	64	0,41776316	-0,20761919	0,04311	-1,661
14	8	8	64	0,45065789	-0,12399935	0,01538	-0,992
15	12	12	144	0,48355263	-0,04123912	0,0017	-0,4949
16	22	22	484	0,51644737	0,041239125	0,0017	0,90726
17	22	22	484	0,54934211	0,12399935	0,01538	2,72799
18	23	23	529	0,58223684	0,207619195	0,04311	4,77524
19	32	32	1024	0,61513158	0,292719136	0,08568	9,36701
20	33	33	1089	0,64802632	0,379997369	0,1444	12,5399
21	38	38	1444	0,68092105	0,470275926	0,22116	17,8705
22	57	57	3249	0,71381579	0,564566846	0,31874	32,1803
23	62	62	3844	0,74671053	0,664174008	0,44113	41,1788
24	70	70	4900	0,77960526	0,770860751	0,59423	53,9603
25	165	165	27225	0,8125	0,887146559	0,78703	146,379
26	461	461	212521	0,84539474	1,016879984	1,03404	468,782
27	965	965	931225	0,87828947	1,16647846	1,36067	1125,65
28	1440	1440	2073600	0,91118421	1,348083341	1,81733	1941,24
29	1440	1440	2073600	0,94407895	1,589967614	2,528	2289,55
30	1440	1440	2073600	0,97697368	1,994910597	3,97967	2872,67
Total	6336	6336	7409260	15	4,66294E-15	26,7445	8992,05

Menghitung nilai r pada distribusi Normal:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n XiYi - (\sum_{i=1}^n Xi)(\sum_{i=1}^n Yi)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Xi^2 - (\sum_{i=1}^n Xi)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n Yi^2 - (\sum_{i=1}^n Yi)^2}}$$

$$r = \frac{(30 \times 8992,05) - (6336 \times 4,66294E-15)}{\sqrt{(30 \times 7409260) - (6336)^2} \sqrt{(30 \times 26,7445) - (4,66294E-15)^2}}$$

$$r = 0,70568$$

A.9 Distribusi Lognormal Waktu antar Perbaikan

$$\begin{aligned}
 Xi &= \ln ti \\
 &= \ln 1 = 0 \\
 Xi^2 &= 0^2 \\
 &= 0 \\
 F(ti) &= \frac{i-0,3}{30+0,4} \\
 &= \frac{1-0,3}{30+0,4} = 0,02303 \\
 Yi &= Zi = \Phi^{-1}(F(ti)) \\
 &= Zi = \Phi^{-1}(0,02303) = -1,9949 \\
 Yi^2 &= -1,9949^2 \\
 &= 3,97967 \\
 XiYi &= 0 \times -1,9949 \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

Tabel Distribusi Lognormal

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	1	0	0	0,02303	-1,9949	3,97967	0
2	1	0	0	0,05592	-1,59	2,528	0
3	1	0	0	0,08882	-1,3481	1,81733	0
4	1	0	0	0,12171	-1,1665	1,36067	0
5	2	0,69315	0,48045	0,15461	-1,0169	1,03404	-0,7048
6	2	0,69315	0,48045	0,1875	-0,8871	0,78703	-0,6149
7	4	1,38629	1,92181	0,22039	-0,7709	0,59423	-1,0686

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
8	4	1,38629	1,92181	0,25329	-0,6642	0,44113	-0,9207
9	4	1,38629	1,92181	0,28618	-0,5646	0,31874	-0,7827
10	5	1,60944	2,59029	0,31908	-0,4703	0,22116	-0,7569
11	6	1,79176	3,2104	0,35197	-0,38	0,1444	-0,6809
12	7	1,94591	3,78657	0,38487	-0,2927	0,08568	-0,5696
13	8	2,07944	4,32408	0,41776	-0,2076	0,04311	-0,4317
14	8	2,07944	4,32408	0,45066	-0,124	0,01538	-0,2578
15	12	2,48491	6,17476	0,48355	-0,0412	0,0017	-0,1025
16	22	3,09104	9,55454	0,51645	0,04124	0,0017	0,12747
17	22	3,09104	9,55454	0,54934	0,124	0,01538	0,38329
18	23	3,13549	9,83132	0,58224	0,20762	0,04311	0,65099
19	32	3,46574	12,0113	0,61513	0,29272	0,08568	1,01449
20	33	3,49651	12,2256	0,64803	0,38	0,1444	1,32866
21	38	3,63759	13,232	0,68092	0,47028	0,22116	1,71067
22	57	4,04305	16,3463	0,71382	0,56457	0,31874	2,28257
23	62	4,12713	17,0332	0,74671	0,66417	0,44113	2,74114
24	70	4,2485	18,0497	0,77961	0,77086	0,59423	3,275
25	165	5,10595	26,0707	0,8125	0,88715	0,78703	4,52972
26	461	6,1334	37,6186	0,84539	1,01688	1,03404	6,23693
27	965	6,87213	47,2261	0,87829	1,16648	1,36067	8,01619
28	1440	7,2724	52,8878	0,91118	1,34808	1,81733	9,8038
29	1440	7,2724	52,8878	0,94408	1,58997	2,528	11,5629
30	1440	7,2724	52,8878	0,97697	1,99491	3,97967	14,5078
Total	6336	89,8008	418,554	15	4,7E-15	26,7445	61,2804

Menghitung nilai r pada distribusi Lognormal:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n XiYi - (\sum_{i=1}^n Xi)(\sum_{i=1}^n Yi)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Xi^2 - (\sum_{i=1}^n Xi)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n Yi^2 - (\sum_{i=1}^n Yi)^2}}$$

$$r = \frac{(30 \times 61,2804) - (89,8008 \times 4,7E-15)}{\sqrt{(30 \times 418,554) - (89,8008)^2} \sqrt{(30 \times 26,7445) - (4,7E-15)^2}}$$

$$r = 0,968332$$

A.10 Distribusi Weibull Waktu antar Perbaikan

$$\begin{aligned}
 Xi &= \ln ti \\
 &= \ln 1 = 0 \\
 Xi^2 &= 0^2 \\
 &= 0 \\
 F(ti) &= \frac{i-0,3}{30+0,4} \\
 &= \frac{1-0,3}{30+0,4} = 0,02303 \\
 Yi &= \ln\left[\ln\left(\frac{1}{1-F(ti)}\right)\right] \\
 &= \ln\left[\ln\left(\frac{1}{1-0,02303}\right)\right] = 0,02329556 \\
 Yi^2 &= 0,02329556^2 \\
 &= 0,00054 \\
 XiYi &= 0 \times 0,02329556 \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

Tabel Distribusi Weibull

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	1	0	0	0,02303	0,02329556	0,00054	0
2	1	0	0	0,05592	0,05754549	0,00331	0
3	1	0	0	0,08882	0,0930102	0,00865	0
4	1	0	0	0,12171	0,12977904	0,01684	0
5	2	0,6931472	0,48045	0,15461	0,16795162	0,02821	0,11642

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
6	2	0,6931472	0,48045	0,1875	0,20763936	0,04311	0,14392
7	4	1,3862944	1,92181	0,22039	0,24896756	0,06198	0,34514
8	4	1,3862944	1,92181	0,25329	0,29207768	0,08531	0,40491
9	4	1,3862944	1,92181	0,28618	0,33713035	0,11366	0,46736
10	5	1,6094379	2,59029	0,31908	0,38430891	0,14769	0,61852
11	6	1,7917595	3,2104	0,35197	0,43382397	0,1882	0,77731
12	7	1,9459101	3,78657	0,38487	0,48591908	0,23612	0,94555
13	8	2,0794415	4,32408	0,41776	0,54087797	0,29255	1,12472
14	8	2,0794415	4,32408	0,45066	0,59903389	0,35884	1,24566
15	12	2,4849066	6,17476	0,48355	0,6607819	0,43663	1,64198
16	22	3,0910425	9,55454	0,51645	0,72659511	0,52794	2,24594
17	22	3,0910425	9,55454	0,54934	0,79704678	0,63528	2,46371
18	23	3,1354942	9,83132	0,58224	0,87284061	0,76185	2,73679
19	32	3,4657359	12,0113	0,61513	0,95485377	0,91175	3,30927
20	33	3,4965076	12,2256	0,64803	1,04419887	1,09035	3,65105
21	38	3,6375862	13,232	0,68092	1,14231672	1,30489	4,15528
22	57	4,0430513	16,3463	0,71382	1,25111958	1,5653	5,05834
23	62	4,1271344	17,0332	0,74671	1,37322228	1,88574	5,66747
24	70	4,2484952	18,0497	0,77961	1,51233508	2,28716	6,42515
25	165	5,1059455	26,0707	0,8125	1,67397643	2,8022	8,54723
26	461	6,133398	37,6186	0,84539	1,8668801	3,48524	11,4503
27	965	6,8721281	47,2261	0,87829	2,10610979	4,4357	14,4735
28	1440	7,2723984	52,8878	0,91118	2,42119084	5,86217	17,6079
29	1440	7,2723984	52,8878	0,94408	2,88381436	8,31639	20,9722
30	1440	7,2723984	52,8878	0,97697	3,77111755	14,2213	27,4251
Total	6336	89,800831	418,554	15	29,0597605	52,1149	144,021

Menghitung nilai r ada distribusi Weibull:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n XiYi - (\sum_{i=1}^n Xi \sum_{i=1}^n Yi)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Xi^2 - (\sum_{i=1}^n Xi)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n Yi^2 - (\sum_{i=1}^n Yi)^2}}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{r} &= \frac{(30 \times 144,021) - (89,800831 \times 29,0597605)}{\sqrt{(30 \times 418,554) - (89,800831)^2} \sqrt{(30 \times 52,1149) - (29,0597605)^2}} \\
 \mathbf{r} &= 0,95204884
 \end{aligned}$$