

**STRATEGI PERAWATAN DENGAN PENDEKATAN *RELIABILITY CENTERED
MAINTENANCE (RCM)* DAN *AGE REPLACEMENT* PADA MESIN GAS
COMPRESSOR CLARK BKS PADA INDUSTRI MIGAS**

TUGAS AKHIR

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



Nama : Fadhlan Ardhi As'shiddiqy
No. Mahasiswa : 21522286

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025**

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.

Yogyakarta, 03 Oktober 2025



Fadhlan Ardhi As' shiddiqy
21522286

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PERUSAHAAN**STRATEGI PERAWATAN DENGAN PENDEKATAN *RELIABILITY CENTERED
MAINTENANCE (RCM)* DAN *AGE REPLACEMENT* PADA MESIN GAS
KOMPRESOR *CLARK* BKS PADA INDUSTRI MIGAS****TUGAS AKHIR****Disusun Oleh :****Nama : Fadhlán Ardhi As'shiddiqy****No. Mahasiswa : 21522286**

Menyetujui,
Pembimbing Tugas Akhir

Mentor

Deasy Larky Paean S.T., M.T.
Superintendent IM-PSE North

Co-Mentor

Rifat Adilla S.T.
Sr. Supervisor IM-PSE North

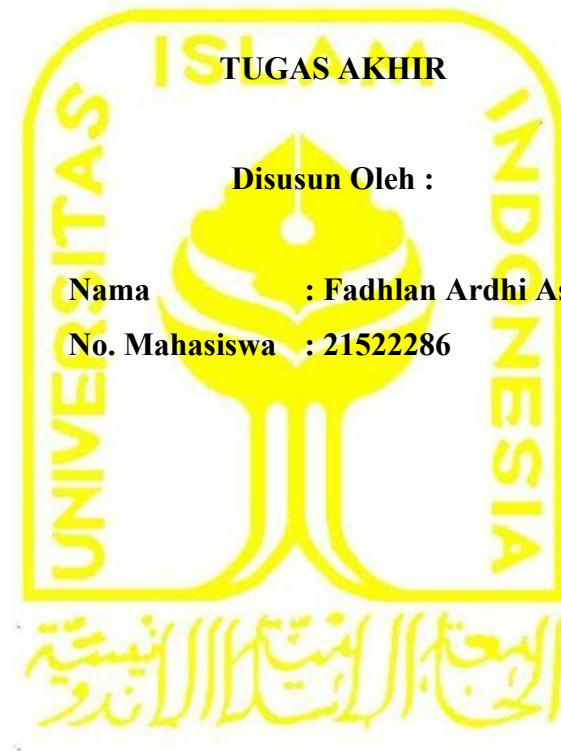
Mengetahui,
PIC KPTA Zona Rokan

HC TAL Zona Rokan

Emmy Kamaruddin
Officer Talent Acquisition & Learning

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**STRATEGI PERAWATAN DENGAN PENDEKATAN *RELIABILITY CENTERED
MAINTENANCE* (RCM) DAN *AGE REPLACEMENT* PADA MESIN GAS
KOMPRESOR *CLARK* BKS PADA INDUSTRI MIGAS**



Yogyakarta, 03 Oktober 2025

Dosen Pembimbing

Dian Janari

(Dian Janari, S.T., M.T.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI
STRATEGI PERAWATAN DENGAN PENDEKATAN *RELIABILITY CENTERED*
***MAINTENANCE* (RCM) DAN *AGE REPLACEMENT* PADA MESIN GAS**
KOMPRESOR *CLARK* BKS PADA INDUSTRI MIGAS

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Fadhlan Ardhi As'shiddiqy

No. Mahasiswa : 21522286

**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, 03 Oktober 2025

Tim Penguji

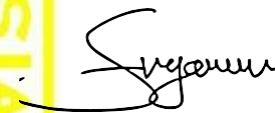
Dian Janari, S.T., M.T.

Ketua


Dian Janari

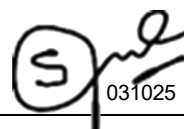
Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I.,
IPM.

Anggota I



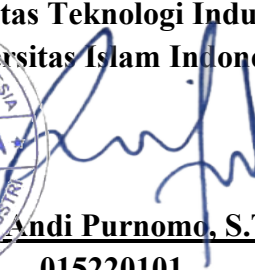
Wahyudi Sutrisno, S.T., M.M., M.T

Anggota II


031025

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

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya. Dengan kerendahan hati, karya ini penulis persembahkan kepada Ayah dan Ibu tercinta atas doa, kasih sayang, serta dukungan yang tiada henti, kepada keluarga yang selalu menjadi sumber semangat dan kekuatan, kepada para dosen dan pembimbing yang tulus membagikan ilmu serta bimbingan, serta kepada sahabat-sahabat terbaik dan orang spesial yang telah memberikan warna dan arti dalam setiap langkah hingga terselesaikannya skripsi ini.

MOTTO

“No matter how messed up things get, I’ll keep moving forward”

- Eren Yaeger-

“Sesungguhnya, setelah kesulitan ada kemudahan”

(QS Al-Insyirah : 5-6)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Strategi Perawatan Dengan Pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Dan *Age Replacement* Pada Mesin Gas Kompresor Clark BKS Pada Industri Migas”**, sebagai bentuk salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana (S1) Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Selama pelaksanaan Tugas Akhir ini, tentunya tidak lepas dari adanya dukungan, doa, bantuan, bimbingan, dan nasihat dari berbagai pihak yang telah berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan rasa terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dian Janari S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, bantuan, kritik dan saran serta meluangkan waktu sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
4. Yang tercinta Ayahanda Edy Sujarwo dan Ibunda Tri Astuti selaku orang tua saya serta Keluarga besar saya yang selalu memberikan doa, dukungan baik moral maupun finansial, dan semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
5. Yang tersayang adik-adik saya, Fardhan Iqbal Anshary dan Fayyadh Azzam Ghifari yang tidak henti-hentinya memberikan semangat untuk saya menyelesaikan Tugas Akhir saya.
6. Yang terhormat, Ibu Deasy Larky Paean, Bapak Rifat Adilla, Bapak Dian Ahmad Sudali, Bapak Desman Syarif, Bapak Ilham, Bapak Rafky Habibi, serta seluruh perwira dan mitra kerja tim IM-PSE *North* yang telah membantu saya dalam melaksanakan Tugas Akhir saya di perusahaan.
7. Dan tak lupa juga untuk Reza Dian Shafitri dan Keluarganya, saya ingin mengucapkan Terimakasih telah banyak membantu saya dalam banyak hal dan senantiasa telah memberikan support serta semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Terimakasih teman terbaik selama saya SMA hingga kuliah yaitu Zakky Rabbani, Pandu Avilba, Wafiq Abdillah Wyananda, Hanis Nugraha Pratama, Rifqi Patra Syandana, Izzat Arroyyan, Ibrahim Alfarisi, dan Adrian Arif yang selalu kebersamaan dalam progress Tugas Akhir dan mendengarkan saya dalam berkeluh kesah.
9. Serta Annisa Oktaviyana, M. Faizul Ilmi, Rafii Syahanan Ardian, Ghaffar Tuasikal, Ahmad Makki Madani, Rayyis Shabran Habib, dan Nabil Ahmad Wiro'i, Terima kasih telah mendukung, menghibur, serta memberikan semangat kepada penulis.
10. Bagian Akademik dan Administrasi Prodi yang membantu dalam memberikan informasi serta kelancaran pengurusan berkas maupun tahapan yang berkaitan dalam penyusunan laporan.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis menyadari bahwa penulisan masih jauh dari kata sempurna dan banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sehingga laporan ini dapat menjadi lebih baik. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis namun juga bagi pembaca. Diharapkan pula dengan adanya Tugas Akhir ini dapat menambah wawasan ilmu pengetahuan dan dipergunakan sebaik mungkin oleh pembaca.

Alhamdulillahirabbil'alamin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta,



Fadhlán Ardhi As-shiddiqy

NIM 21522286

ABSTRAK

Industri minyak dan gas memiliki peran strategis dalam perekonomian nasional, sehingga keandalan peralatan produksi menjadi faktor penting untuk menjaga kontinuitas operasi. PT. XYZ menghadapi masalah tingginya downtime pada mesin *Gas Compressor Clark* yang beroperasi selama 24 jam penuh, dengan catatan kerusakan sebanyak 78 kali dan total *downtime* 23.111 menit pada periode 2021–2024. Kondisi ini mengurangi efektivitas proses penyaluran minyak dan gas serta meningkatkan biaya pemeliharaan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi komponen kritis dan menentukan interval perawatan optimal dengan menerapkan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) serta pendekatan *Age Replacement*. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data kerusakan, penyusunan *Functional Block Diagram* (FBD), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Logic Tree Analysis* (LTA), dan *Task Selection* (TS), kemudian dilanjutkan dengan penentuan distribusi *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) menggunakan uji *Goodness of Fit* pada distribusi eksponensial, *normal*, *lognormal*, dan *weibull*. Hasil analisis menunjukkan bahwa komponen *cylinder* merupakan komponen paling kritis dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) sebesar 162 dan kontribusi *downtime* tertinggi sebesar 52%. Distribusi *lognormal* dipilih sebagai model terbaik untuk data TTF, menghasilkan nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) sebesar 41083,64032 menit. Berdasarkan metode *Age Replacement*, interval penggantian komponen *cylinder* direkomendasikan setiap 30000 menit operasi dengan pemeriksaan setiap 349,0256 jam atau sekitar 15 hari. Penerapan strategi ini diharapkan mampu menekan downtime, meningkatkan reliabilitas mesin, serta mengoptimalkan biaya pemeliharaan jangka panjang.

Kata kunci: *Reliability Centered Maintenance, Age Replacement, Gas Compressor Clark, Downtime, MTTF.*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PERUSAHAAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	7
1.5 Batasan Penelitian	7
1.6 Sistematika Penulisan.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Kajian Literatur	10
2.2 Landasan Teori.....	19
2.2.1 Perawatan (<i>Maintenance</i>).....	19
2.2.2 <i>Downtime</i>	20
2.2.3 Jenis-Jenis Perawatan	20
2.2.4 <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM)	21
2.2.5 Fungsi Keandalan (<i>Reliability</i>).....	34
2.2.6 Laju Kerusakan (<i>Failure Mode</i>).....	34
2.2.7 Distribusi Kerusakan	34
2.2.8 Uji <i>Goodness of Fit</i>	36
2.2.9 Estimasi Parameter	37
2.2.10 <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF).....	39
2.2.11 <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR)	40
2.2.12 <i>Age Replacement</i>	41
2.2.13 Interval Waktu Pemeriksaan.....	41
BAB III METODE PENELITIAN	43
3.1 Metode Pengumpulan Data	43
3.1.1 Data Primer.....	43
3.1.2 Data Sekunder.....	43
3.2 Metode Pengumpulan Data	44
3.3 Alur Penelitian.....	46
BAB IV PENGOLAHAN DATA	49
4.1 Pengumpulan Data	49
4.1.1 Data Waktu Antar Kerusakan Mesin.....	49
4.2 Pengolahan Data Penentuan Komponen Kritis	52
4.2.1 <i>Functional Block Diagram</i> (FBD).....	52

4.2.2	<i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	54
4.2.3	<i>Logic Tree Analysis (LTA)</i>	58
4.2.4	<i>Task Selection (TS)</i>	61
4.3	Pengolahan Data Penentuan Interval Pemeriksaan dan Penggantian	65
4.3.1	Penentuan Komponen Kritis	65
4.3.2	Penentuan Distribusi <i>Time to Failure</i>	65
4.3.3	Penentuan Distribusi Data <i>Time to Repair</i>	75
4.3.4	Uji <i>Goodness of Fit</i> pada Distribusi <i>Time to Failure</i>	85
4.3.5	Uji <i>Goodness of Fit</i> pada Distribusi <i>Time to Repair</i>	87
4.3.6	Perhitungan Parameter dari Distribusi <i>Time to Failure</i>	89
4.3.7	Perhitungan Parameter dari Distribusi <i>Time to Repair</i>	90
4.3.8	Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi <i>Mean Time to Failure</i>	91
4.3.9	Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi <i>Mean Time to Repair</i>	91
4.3.10	Perhitungan Interval Waktu Penggantian	91
4.3.11	Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan	93
BAB V	PEMBAHASAN	95
5.1	Analisis <i>Functional Block Diagram (FBD)</i>	95
5.2	Analisis <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	96
5.3	Analisis <i>Logic Tree Analysis (LTA)</i>	96
5.4	Analisis <i>Task Selection (TS)</i>	98
5.5	Analisis Penentuan Mesin dan Komponen Kritis	99
5.6	Analisis Distribusi <i>Time to Failure</i> dan <i>Time to Repair</i>	100
5.7	Analisis Uji Kecocokan <i>Goodness of Fit</i>	101
5.8	Analisis Parameter Distribusi TTF dan MTTF	101
5.9	Analisis Parameter Distribusi TTR dan MTTR	102
5.10	Analisis Interval Waktu Penggantian dan Pemeriksaan Komponen	102
BAB VI	PENUTUP	104
6.1	Kesimpulan	104
6.2	Saran	105
6.2.1	Saran Untuk Perusahaan	105
6.2.2	Saran Untuk Peneliti	105
DAFTAR PUSTAKA		106
LAMPIRAN		112

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka	17
Tabel 2. 2 Struktur FMEA.....	22
Tabel 2. 3 Tingkatan <i>Severity</i>	23
Tabel 2. 4 <i>Ranking Occurance</i>	26
Tabel 2. 5 <i>Ranking Detection</i>	28
Tabel 2. 6 Struktur Tabel LTA.....	31
Tabel 2. 7 Struktur Tabel TS.....	33
Tabel 4. 1 Laporan Kerusakan Mesin	49
Tabel 4. 2 Laporan Kerusakan Komponen Mesin <i>Gas Compressor Clark</i>	50
Tabel 4. 3 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	55
Tabel 4. 4 <i>Logic Tree Analysis</i>	59
Tabel 4. 5 <i>Task Selection</i>	61
Tabel 4. 6 <i>Downtime</i> Komponen.....	65
Tabel 4. 7 <i>Time to Failure</i> Komponen <i>Cylinder</i>	65
Tabel 4. 8 Distribusi Eksponensial <i>Time to Failure</i>	67
Tabel 4. 9 Distribusi <i>Normal Time to Failure</i>	70
Tabel 4. 10 Distribusi <i>Lognormal Time to Failure</i>	71
Tabel 4. 11 Distribusi <i>Weibull Time to Failure</i>	74
Tabel 4. 12 <i>Index Of Fit</i>	75
Tabel 4. 13 <i>Time to Repair</i> Komponen <i>Cylinder</i>	75
Tabel 4. 14 Distribusi Eksponensial <i>Time to Repair</i>	78
Tabel 4. 15 Distribusi <i>Normal Time to Repair</i>	80
Tabel 4. 16 Distribusi <i>Lognormal Time to Repair</i>	82
Tabel 4. 17 Distribusi <i>Weibull Time to Repair</i>	83
Tabel 4. 18 <i>Index Of Fit</i>	85
Tabel 4. 19 <i>Kolmogorov-Smirnov Time to Failure</i>	85
Tabel 4. 20 <i>Kolmogorov-Smirnov Time to Repair</i>	87
Tabel 4. 21 Interval Penggantian Komponen Menggunakan ARP	92
Tabel 5. 1 Hasil Distribusi <i>Time to Failure</i>	100
Tabel 5. 2 Hasil Distribusi <i>Time to Repair</i>	100
Tabel 5. 3 Nilai Parameter MTTF	102
Tabel 5. 4 Nilai Parameter MTTR	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Laporan Kerusakan.....	3
Gambar 2. 1 Struktur <i>Logic Tree Analysis</i>	31
Gambar 2. 2 <i>Roadmap Task Selection</i>	33
Gambar 2. 3 <i>Failure Rate</i>	34
Gambar 3. 1 Alur Penelitian.....	46
Gambar 4. 2 <i>Functional Block Diagram</i>	53

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri minyak dan gas bumi (migas) merupakan salah satu sektor strategis yang memiliki peranan vital dalam mendukung pertumbuhan ekonomi, baik secara global maupun nasional. Industri migas berperan penting dalam ekonomi Indonesia, sebagai sumber pendapatan untuk Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN) dan sumber energi khususnya Bahan Bakar Minyak (BBM) untuk menggerakkan berbagai sektor kehidupan di seluruh Indonesia (Edy Soesanto et al., 2024). Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi, industri migas terus mengalami perkembangan guna memenuhi permintaan energi dalam negeri sekaligus sebagai penunjang kegiatan ekspor. Berdasarkan data yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa produksi minyak mentah dan kondensat dalam hitungan 000 barel mencapai 221,088.9 *Barrel Oil* serta produksi gas alam sebesar 2,420,059.5 *Million Standard Cubic Feet* pada tahun 2023. Selain itu, kondisi geopolitik juga mempengaruhi dalam kegiatan eksplorasi dan investasi pada sektor energi. Hal ini membuat Indonesia menunjukkan tren peningkatan investasi menurut *Italian Business Association In Indonesia* yang mencapai US\$13,7 miliar atau setara dengan Rp211,2 triliun. Dalam industri migas, terdapat sektor hulu (*upstream*) dan sektor hilir (*downstream*) yang memiliki rangkaian proses yang cukup rumit. Dalam prosesnya, proses dimulai pada sektor hulu dan diakhiri pada sektor hilir. Dari data yang didapatkan pada *website* PT. Pertamina Hulu Energi, produksi rata-rata per hari mencapai 158,17 *Barrel Oil per Day* (BOPD) dan 35,01 *Million Standard Cubic Feet per Day* (MMSCFD). Produksi ini menjadikan Zona Rokan sebagai kontributor terbesar di *subholding upstream* dengan 36% dari total produksi, serta penyumbang 27% produksi minyak nasional, dan menjadikannya blok migas terbesar di Indonesia.

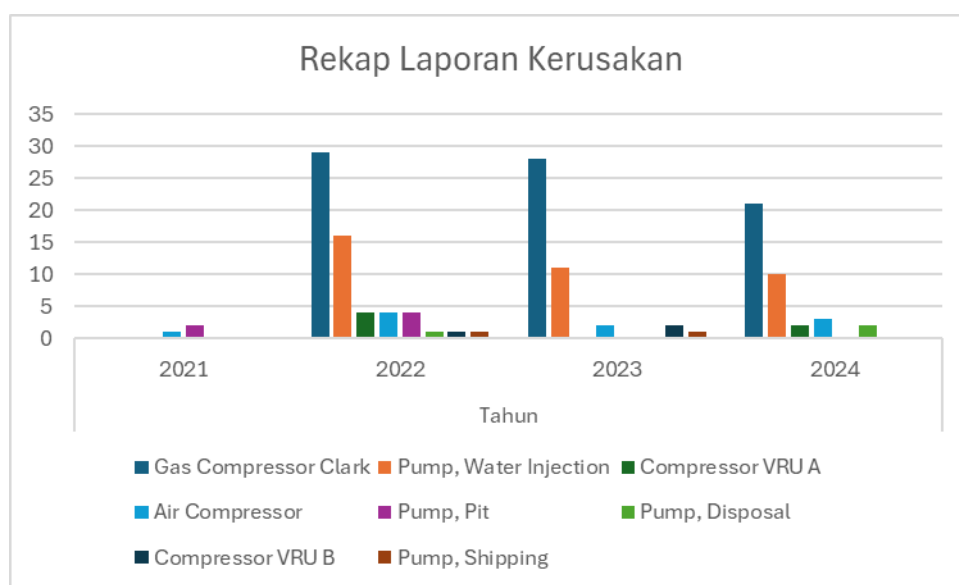
Perusahaan migas merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang minyak & gas terbesar di Indonesia, yang berfokus pada proses *subholding upstream* yaitu pengambilan minyak mentah bumi sepanjang wilayah kerja. Perusahaan migas terus melakukan inovasi, perbaikan, dan pengembangan berkelanjutan dalam melakukan proses produksi untuk menjaga efektivitas dan efisiensi dalam melakukan prosesnya, terutama mengoptimalkan sistem pemompaan dan penyaluran dalam proses pengolahan minyak mentah dan gas. Terdapat berbagai mesin yang digunakan pada satu *gathering station*, antara lain adalah *screw pump*,

centrifugal pump, *positive-displacement pump*, dan juga mesin gas *compressor clark* yang berguna untuk menambahkan tekanan yang dibutuhkan untuk menyalurkan gas. Pompa yang telah disebutkan sebelumnya, pada umumnya digunakan untuk menyalurkan minyak dalam *volume* yang besar dengan aliran cepat, seperti dari tangki penyimpanan menuju sistem pemrosesan atau distribusi. Mesin ini bekerja selama 24 jam penuh untuk melakukan proses penyaluran minyak mentah dan gas menuju tangki hingga proses selanjutnya. Selain itu, mesin *gas compressor clark* berguna untuk menyesuaikan dan menambahkan *pressure* pada suatu gas ke *pressure* yang telah ditentukan sebelum disalurkan. Dalam hal ini, mesin merupakan fasilitas yang paling penting dalam suatu proses penyaluran. Namun, mesin yang selalu digunakan secara terus menerus mengakibatkan mudah terjadinya kerusakan, sehingga dapat mempengaruhi efektivitas dan efisiensi proses (Dewi & Prasanti, 2022). Sehingga, diperlukan tindakan perawatan untuk mencegah dan memastikan suatu sistem atau mesin berjalan dengan optimal dan memiliki tingkat keandalan yang maksimal. Perawatan merupakan suatu perpaduan dari serangkaian kegiatan yang bertujuan untuk mengelola dan memperbaiki mesin agar terjamin kesiapan operasionalnya (Rijal et al., 2022). Sistem perawatan digunakan untuk memperpanjang usia pemakaian suatu sistem atau mesin yang memerlukan tingkan keandalan yang tinggi untuk kelancaran suatu proses.

Penggunaan metode perawatan pada perusahaan sebelumnya sudah diterapkan. Penggunaan metode perawatan pada perusahaan menggunakan metode *trial and error* pada *Preventive Maintenance (PM) Task* yang sudah ada sebelumnya. Pada mesin *gas compressor clark*, kegiatan *Preventive Maintenance (PM) Task* dilakukan dengan interval 6 bulan untuk melakukan pengecekan setiap masing-masing komponen yang memiliki kontribusi besar pada proses kompresi gas. Sebagai contoh, ditetapkan interval 6 bulan pada periode pertama untuk melaksanakan kegiatan *Preventive Maintenance (PM) Task*. Apabila frekuensi kerusakan meningkat, maka akan dikurangi interval kegiatannya menjadi 3 bulan. Apabila frekuensi kerusakan menurun, maka akan dikembalikan pada interval 6 bulan. Apabila frekuensi kerusakan kembali menurun, maka frekuensi kegiatan *Preventive Maintenance (PM) Task* berada pada interval 1 tahun dan begitu seterusnya sesuai frekuensi kerusakan yang terjadi.

Gas Compressor Clark merupakan salah satu peralatan utama pada gathering station yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan gas agar sesuai dengan kebutuhan proses dan distribusi. Mesin ini dirancang untuk menjaga kestabilan aliran gas, sehingga gas yang berasal dari sumur dengan tekanan yang bervariasi dapat tetap dialirkan secara kontinu ke fasilitas

berikutnya. Dari sisi efektivitas, kinerja mesin terlihat pada kemampuannya menyalurkan gas dengan tekanan bervariasi dari sumur secara konstan sehingga target produksi tidak terganggu. Kekritisan Gas *Compressor Clark* terletak pada perannya sebagai penggerak utama dalam sistem transportasi gas. Sementara itu, efisiensi tercermin dari rendahnya waktu henti (*downtime*) selama mesin beroperasi. Apabila mesin ini tidak beroperasi dengan optimal, maka aliran gas akan terganggu dan kapasitas produksi tidak dapat dipertahankan. Dengan demikian, keberlangsungan fungsi kompresor ini sangat menentukan kelancaran operasi di *gathering station*. Hal ini menjadikan mesin tersebut sebagai komponen vital yang harus dijaga keandalannya agar dapat mendukung kestabilan sistem secara keseluruhan.



Gambar 1. 1 Laporan Kerusakan

Grafik rekapitulasi laporan kerusakan peralatan menunjukkan bahwa selama periode 2021 hingga 2024 terdapat variasi frekuensi gangguan pada sejumlah unit peralatan produksi. Data memperlihatkan bahwa Gas *Compressor Clark* merupakan peralatan dengan tingkat kerusakan paling tinggi dibandingkan peralatan lain, khususnya pada tahun 2022 dan 2023 yang mencapai hampir tiga puluh kasus. Kondisi ini menandakan adanya beban operasi yang tinggi atau potensi kelemahan pada aspek keandalan dan perawatan kompresor tersebut. Sementara itu, unit lain seperti *Vapor Recovery Unit (VRU) Compressor*, *Air Compressor*, *Pump Pit*, *Pump Disposal*, serta *Pump Shipping* relatif memiliki angka kerusakan yang lebih rendah dan cenderung stabil. Distribusi ini mengindikasikan adanya konsentrasi permasalahan pada peralatan utama yang berperan vital dalam sistem produksi. Berdasarkan pola kerusakan yang

ditampilkan, dapat disimpulkan bahwa reliabilitas peralatan, khususnya gas *compressor clark*, sangat mempengaruhi keberlangsungan operasi. Dalam rentang waktu 2021 hingga 2024, mesin gas *compressor clark* dilaporkan mengalami 78 kali kegagalan dengan rata-rata durasi perbaikan sekitar 5 jam setiap insiden. Dengan kapasitas produksi harian mencapai 991.371 meter kubik atau kurang lebih 41.307 meter kubik per jam, maka satu kali downtime berpotensi menyebabkan kehilangan produksi gas sekitar 206.535 meter kubik. Jika harga gas diasumsikan Rp4.000 per meter kubik, maka kerugian produksi untuk setiap kejadian bisa mencapai kurang lebih Rp826 juta. Apabila nilai tersebut dikalikan dengan total kejadian selama empat tahun, jumlah potensi kerugian menjadi sangat besar, sehingga memperlihatkan perlunya strategi pemeliharaan yang lebih efektif guna mengurangi frekuensi kerusakan maupun lamanya waktu henti mesin.

Penelitian terdahulu yang menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement* mendapatkan hasil yang cukup signifikan. Penelitian yang dilakukan oleh Hidayat et al. (2021) menggunakan metode RCM pada mesin pembuat botol di PT IGLAS. Kesimpulan yang didapatkan berupa komponen yang mengalami kegagalan berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) adalah komponen cetakandengan nilai 160. Nilai tersebut digunakan untuk menentukan pemilihan tindakan yang akan dilakukan pada komponen kritis tersebut. Pemilihan tindakan yang dilakukan adalah dengan cara *conditional directed* dikarenakan komponen tersebut akan berfungsi jika dilakukan penggantian komponen atau perbaikan. Penelitian yang dilakukan oleh Setiawan & Windyatri (2024) menggunakan metode RCM pada mesin *Computer Numerical Control* (CNC) di PT MTAT menghasilkan kesimpulan bahwa komponen mesin 3-00-012 dengan komponen *Motor Spindle* dan *V-Belt Turret* menjadi komponen kritis yang ada di dalam mesin tersebut. Analisis menunjukkan bahwa *Motor Spindle* memiliki keandalan yang lebih tinggi dengan *Mean Time To Failure* (MTTF) 785.232 jam dan kehandalan 37%, sementara *V-Belt Turret* memiliki *Mean Time To Failure* (MTTF) 344.760 jam dan kehandalan 21%. Setelah tindakan perbaikan, kehandalan *Motor Spindle* meningkat menjadi 55%, dan *V-Belt Turret* meningkat menjadi 84% serta berhasil mengurangi waktu *downtime* dari 88 jam menjadi 56 jam, atau menghemat waktu *breakdown* hingga 36%. Penelitian yang dilakukan oleh Silaen & Ferida Yuamita (2024) menerapkan metode RCM pada mesin *shuttle* untuk meningkatkan kehandalan mesin. Dengan menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) pada 5 jenis komponen mesin yaitu komponen *picker*, komponen *picking*, komponen *filling fork*, komponen

shuttle, dan komponen *lugstrap* didapatkan hasil RPN tertinggi pada komponen *filling fork teeth* dengan angka 112. Dengan menggunakan metode MTTF dan *Mean Time To Repair* (MTTR) didapatkan interval waktu perawatan komponen *filling fox teeth* yaitu 49,64 atau setiap 6 hari sekali, interval waktu perawatan komponen *shuttle* yaitu 25,4 jam atau 3 hari sekali, interval waktu perawatan komponen *picker nilon* 64 jam atau 8 hari sekali, interval waktu perawatan komponen *lugstrap* yaitu 14,4 jam atau 1 hari sekali, interval waktu perawatan komponen *picking stick* yaitu 69,3 jam atau 8 hari sekali. Selain itu, ingkat kehandalan komponen kritis setelah dilakukan pemeliharaan mengalami kenaikan, pada komponen *filling fox teeth* mengalami kenaikan sebesar 0,69 % sehingga menjadi 29,12%, pada komponen *shuttle* mengalami kenaikan sebesar 17,55% sehingga menjadi 48,4%, pada komponen *picker nilon* mengalami kenaikan sebesar 16,45% sehingga menjadi 35,49%, pada komponen *lugstrap* mengalami kenaikan sebesar 50,32% sehingga menjadi 97,13%, dan pada komponen *picking stick* mengalami kenaikan sebesar 0,4% sehingga menjadi 48,81%.

Penelitian yang dilakukan oleh Samharil et al. (2022) menerapkan metode *Failure Mode, Effect, and Critically Analysis* (FMECA) dan RCM pada mesin *filter press* untuk melakukan perancangan pemeliharaan mesin. Dengan menggunakan metode tersebut ditemukan 5 komponen kritis yaitu komponen *filter cloth*, komponen *frame design*, komponen *hose air shaker*, komponen *frame plate*, dan komponen *solenoid*. Dengan menggunakan perhitungan interval waktu perawatan pada RCM, hasilnya terdapat perancangan perawatan pada komponen yaitu komponen *filter cloth* dilakukan perawatan setiap 12 jam, komponen *frame design* dilakukan perawatan setiap 16 jam, komponen *hose air shaker* dilakukan perawatan setiap 12 jam, komponen *frame plate* dilakukan perawatan setiap 11 jam dan untuk *solenoid* dilakukan perawatan setiap 15 jam. Penelitian dengan menerapkan metode RCM dan FMEA dilakukan oleh Diocta & Bangun (2024) pada pabrik kelapa sawit. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, ditemukan komponen kritis pada mesin *sterilizer* yaitu komponen *valve control* dan *exhaust pipe* dengan nilai RPN pada *valve control* sebesar 210 dan *exhaust pipe* sebesar 189. Dengan analisis MTTF dan MTTR ditemukan bahwa apabila pabrik ingin mempertahankan tingkat keandalan (*reliability*) kedua komponen sebesar 85%, maka pabrik kelapa sawit harus menerapkan *preventive maintenance* dengan interval waktu sekitar 288 jam ($R(t) = 0,8506$) untuk komponen *exhaust pipe* dan sekitar 93 jam ($R(t) = 0,8539$) untuk komponen *valve control*.

Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk menentukan komponen kritis pada mesin gas kompresor untuk mencegah terjadinya kegagalan pada sistem penyaluran dan *Age Replacement* untuk melakukan perencanaan jadwal perbaikan atau interval waktu pemeriksaan untuk meminimalisir *downtime*.

1.2 Rumusan Masalah

Industri migas mengoperasikan mesin pompa secara terus menerus selama 24 jam untuk menyalurkan minyak dan gas. Namun, penggunaan mesin secara terus menerus dapat menyebabkan kerusakan baik itu kerusakan terduga maupun kerusakan tidak terduga. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan strategi yang tepat untuk mencegah dan mengurangi tingkat kerusakan yang ada dalam suatu mesin serta mengurangi angka *downtime* pada mesin tersebut. Oleh karena itu, rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Komponen apa yang memiliki tingkat kritis pada mesin gas kompresor?
2. Apa tindakan perawatan terhadap komponen kritis pada mesin gas kompresor?
3. Berapa perkiraan waktu penggantian dan pemeriksaan terhadap komponen kritis yang disarankan pada gas kompresor agar menjaga kinerja mesin tersebut tetap optimal?
4. Berapa perkiraan pengurangan *potential loss* setelah dilakukan penerapan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian berdasarkan dari rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi komponen kritis yang terdapat pada mesin gas kompresor.
2. Menentukan tindakan perawatan terhadap komponen kritis pada mesin gas *compressor clark*.
3. Memperkirakan dan menghitung waktu yang tepat untuk melakukan pergantian dan pemeriksaan terhadap komponen kritis pada mesin gas kompresor agar mesin dapat beroperasi secara optimal.
4. Memperkirakan pengurangan *potential loss* setelah dilakukan penerapan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang didapatkan bagi perguruan tinggi, perusahaan, dan peneliti adalah sebagai berikut:

1. Bagi Perguruan Tinggi
 - a. Menjalin hubungan kerja sama antara perguruan tinggi dengan perusahaan.
 - b. Memberikan peluang bagi mahasiswa untuk berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi
 - c. Menunjang pencapaian visi dan misi Universitas Islam Indonesia dalam menghasilkan sumber daya yang kompeten dan memiliki daya saing di dunia kerja.
2. Bagi Perusahaan
 - a. Mendapatkan solusi atas permasalahan aktual yang dihadapi perusahaan melalui pendekatan ilmiah
3. Bagi Peneliti
 - a. Mengasah kemampuan berpikir kritis, analitis, dan sistematis dalam memecahkan permasalahan.
 - b. Meningkatkan pemahaman dan penguasaan materi yang didapat melalui penerapan di dunia nyata.
 - c. Mendapatkan pengalaman langsung dalam proses penyelesaian masalah dan memberikan solusi yang sesuai dengan masalah yang ada.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan batasan penelitian dalam menyusun penelitian ini:

1. Penelitian dilakukan di industri migas
2. Penelitian dilakukan pada 2 Juni – 31 Juli 2025
3. Penelitian ini menggunakan data kerusakan dan perbaikan mesin yang dikumpulkan dari tahun 2021 hingga 2024
4. Penelitian ini mengambil mesin yang sering digunakan pada satu *gathering station*.
5. Penelitian ini tidak secara detail membahas biaya.
6. Mesin yang dilakukan penelitian adalah mesin gas kompresor.
7. Penelitian berfokus pada komponen kritis yang terdapat pada mesin gas kompresor.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut merupakan sistematika penulisan pada penelitian:

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang yang mendasari topik secara keseluruhan serta terdapat perumusan masalah yang ingin dijawab, tujuan yang hendak dicapai, manfaat penelitian, serta batasan dari penelitian tersebut. Hal tersebut dilakukan agar penelitian tetap terarah dan menjelaskan sistematika penulisan alur penelitian secara keseluruhan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisi teori, konsep, dan kerangka teori yang menjadi dasar penelitian dan pendukung penelitian, serta pembahasan penelitian terdahulu untuk yang relevan sebagai perbandingan untuk mendukung landasan ilmiah dalam Tugas Akhir.

BAB III

METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan cara penelitian dilaksanakan yang mencakup pendekatan yang dipilih, objek atau subjek yang diteliti, serta teknik pengumpulan data dan pengolahan data yang akan digunakan dalam penelitian.

BAB IV

PENGOLAHAN DATA

Bab ini menyajikan data yang diperoleh dari perusahaan yaitu laporan kerusakan dan perbaikan mesin yang dianalisis menggunakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement*. Hasil yang didapatkan digunakan untuk merancang tindakan perawatan yang berguna untuk meningkatkan keandalan mesin dan mengurangi *downtime*.

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi rangkuman dari hasil penelitian dalam bentuk pembahasan yang dihubungkan dengan tujuan dari penelitian ini. Hal tersebut dilakukan untuk menjawab rumusan masalah terhadap penelitian.

BAB VI**PENUTUP**

Bab penutup berisi kesimpulan dan saran yang berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, serta memberikan saran dari peneliti untuk penelitian selanjutnya atau perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka berisi sumber literatur yang digunakan oleh peneliti untuk mendukung Tugas Akhir seperti jurnal, buku, dan referensi lainnya yang relevan dengan penelitian.

LAMPIRAN

Lampiran berisi dokumentasi selama melakukan penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Penelitian terdahulu menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dilakukan oleh Ramadhan & Widiasih (2023) yang dimana hal ini bertujuan untuk melakukan analisis penggantian dan perawatan pada *papermachine* bagian *wire* dan *dryer* pada PT. X. Pemilihan komponen kritis ditentukan dengan menggunakan pareto dari hasil FMEA yang dilanjutkan dengan menggunakan *software Minitab* 17 untuk melakukan penentuan nilai *goodness of fit*, parameter distribusi, dan *Mean Time To Failure*. Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan, komponen dari bagian *Wire* dan *Dryer* yang perlu untuk melakukan usulan penjadwalan dan pemeriksaan yang optimal dilakukan dengan analisis menggunakan metode FMEA pada komponen kritis yaitu komponen *bearing screen*, *couchroll*, *hp shower*, *long felt*, *stretcher long felt*, *wire 1*, *wire 9*, *gearbox dryer*, *bearing dryer*, *canvas roll*, *pulley tali rope*, *rotary*, dan *body rotary*. Usulan penjadwalan penggantian yang dihasilkan dengan menggunakan metode *age replacement* adalah *Bearing screen* tiap 27 hari, *couchroll* 5 tiap 41 hari, *hp shower* tiap 41 hari, *long felt* tiap 22 hari, *stretcher long felt* tiap 38 hari, *wire 1* tiap 65 hari, *wire 9* tiap 41 hari, *gearbox dryer* tiap 19 hari, *bearing dryer* tiap 25 hari, *canvas roll* tiap 41 hari, *pulley tali rope* 24 hari, *rotary* tiap 21 hari, dan *body rotary* tiap 17 hari. Masing-masing komponen dilakukan pemeriksaan selama 2-4 hari sekali. Adapun hasil nilai *availability* yang didapat sebesar 0,99421.

Penelitian yang dilakukan oleh Saputra et al. (2024) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement* untuk melakukan perawatan mesin pada PT. Dok Perkapalan Kodja Bahari. Pada penelitian ini, penggunaan metode RCM bertujuan untuk menemukan komponen yang tergolong kritis dan metode *age replacement* untuk menentukan interval penjadwalan penggantian dan pemeriksaan dari mesin kritis. Objek yang diamati pada penelitian ini berupa 3 mesin bubut jenis 380V 3 *phase* 2m, 380V 3 *phase* 4m, dan 380V 3 *phase* 9m. Hasil dari penelitian ini berupa komponen yang tergolong kritis pada mesin bubut didapat dari *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dimana dilihat dari *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi pada setiap komponen yang dimana komponen dinamo menunjukkan hasil tertinggi yaitu *severity x occurrence x detection* dengan nilai $10 \times 8 \times 5 = 400$. Interval kerusakan dan perbaikan mesin bubut bahwa *Mean Time To Failure* (MTTF)

didapat sebesar 917,4312 menit, komponen dinamo akan mengalami gejala kerusakan setelah beroperasi 3,15 hari. Sedangkan *Mean Time To Repair* (MTTR) didapat 460,8296 menit dan komponen dinamo akan mengalami perbaikan selama 8 jam.

Penelitian yang dilakukan oleh Ilahy Rosihan et al. (2022) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk melakukan analisis perawatan pada mesin *infflacion*. Pada prosesnya, mesin *infflacion* pada lini *rollbound* sering mengalami kerusakan. Hal ini menjadi tujuan dari penelitian untuk mengetahui komponen kritis pada mesin *infflacion*. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan bahwa komponen kritis pada mesin *infflacion* terdapat pada komponen *valve* dan *seal* yang didapatkan dari identifikasi mesin kritis dengan menggunakan diagram pareto. Selain itu, didapatkan hasil perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) pada komponen *valve* sebesar 309,73 dan 1,71. Sedangkan untuk komponen *seal*, didapatkan nilai sebesar 266,42 dan 1,62. Interval pemeliharaan komponen *valve* dan komponen *seal* yaitu komponen *valve* 338.88 jam dan komponen *seal* 331.94 jam. Waktu interval perawatan yang semakin singkat dapat meningkatkan jumlah kapasitas produksi evaporator tersebut karena *downtime* permesinan dapat ditekan seminimal mungkin sehingga mesin dapat bekerja secara optimal.

Penelitian yang dilakukan oleh Haming et al. (2023) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk mencari komponen kritis pada mesin *prebreaker*. Hasil identifikasi diketahui bahwa mesin *prebreaker* yang mengalami *downtime* selama 1875 menit. Komponen yang paling kritis pada mesin *prebreaker* adalah komponen *bearing* yang memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) sebesar 210. Nilai *Mean Time To Repair* (MTTR) yang diperoleh sebesar 2,19 dan nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) sebesar 136 jam. Nilai *Reliability* sebesar 32,70% sehingga hasil ini masih sangat rendah. Probabilitas kegagalan komponen *bearing* sebesar 67,30%. Berdasarkan hasil analisis waktu perawatan mesin *prebreaker* yang optimal adalah setelah mesin beroperasi selama 51 jam yang membuat probabilitas kegagalan menurun sebesar 18,95% dan nilai reliabilitas meningkat sebesar 81,05%.

Penelitian yang dilakukan oleh Silaen & Ferida Yuamita (2024) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk melakukan analisis perencanaan perawatan pada mesin *shuttle* di departemen *weaving* pada PT. Primissima untuk meningkatkan kehandalan mesin. Tingkat produksi tekstil menyebabkan permasalahan terutama terkait dengan kerusakan pada komponen mesin *shuttle* yang mengakibatkan *downtime* dan

tertundanya proses produksi sehingga kinerja mesin menjadi berkurang. Hasil yang didapatkan terdapat 5 komponen yang memiliki andil dalam mesin *shuttle* yaitu komponen *picker* nilon, *picking stick*, *filling fork teeth*, *shuttle*, dan *lugstrap*. Didapatkan hasil *Risk Priority Number* (RPN) dari masing-masing komponen yaitu komponen *picker* nilon dengan nilai RPN sebesar 72, komponen *picking stick* sebesar 50, komponen *filling fork teeth* sebesar 112, komponen *shuttle* sebesar 81, dan komponen *lugstrap* sebesar 60. Dengan perhitungan interval perawatan komponen didapatkan hasil interval waktu perawatan yaitu komponen *filling fox teeth* yaitu 49,64 atau setiap 6 hari sekali, interval waktu perawatan komponen *shuttle* yaitu 25,4 jam atau 3 hari sekali, interval waktu perawatan komponen *picker nilon* 64 jam atau 8 hari sekali, interval waktu perawatan komponen *lugstrap* yaitu 14,4 jam atau 1 hari sekali, interval waktu perawatan komponen *picking stick* yaitu 69,3 jam atau 8 hari sekali. Tingkat kehandalan komponen kritis setelah dilakukan pemeliharaan mengalami kenaikan, pada komponen *filling fox teeth* mengalami kenaikan sebesar 0,69 % sehingga menjadi 29,12%, pada komponen *shuttle* mengalami kenaikan sebesar 17,55% sehingga menjadi 48,4%, pada komponen *picker nilon* mengalami kenaikan sebesar 16,45% sehingga menjadi 35,49%, pada komponen *lugstrap* mengalami kenaikan sebesar 50,32% sehingga menjadi 97,13%, dan pada komponen *picking stick* mengalami kenaikan sebesar 0,4% sehingga menjadi 48,81%.

Penelitian yang dilakukan oleh Nico Pranata Mulya (2023) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk melakukan penjadwalan perawatan pada mesin yang ada pada PT. XYZ yaitu mesin *bakery*. Melalui hasil perhitungan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), didapatkan hasil *Risk Priority Number* (RPN) dari mesin *mixer*, mesin *depositors*, mesin oven, mesin *proofer*, mesin *breadlines*, mesin *bread slicer*, dan mesin *vacuum sealers*. Mesin *proofer* memiliki hasil nilai RPN tertinggi sebesar 120, mesin oven sebesar 90, mesin *depositors*, mesin *breadlines*, dan mesin *bread slicer* sebesar 60. Sementara, mesin *mixer* dan mesin *vacuum sealers* didapatkan nilai RPN sebesar 30. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa keandalan mesin beroperasi sesuai dengan fungsinya bahwa oven memiliki rata-rata waktu operasi sekitar 584 jam dengan 5 kali kegagalan, mesin *bread slicer* memiliki rata-rata waktu sekitar 1460 jam dengan 2 kali kegagalan, mesin *proofer* memiliki rata-rata waktu sekitar 1460 jam dengan 2 kali kegagalan, mesin *breadline* memiliki rata-rata waktu sekitar 1460 jam dengan 2 kali kegagalan, mesin *vacuum sealer* memiliki rata-rata waktu sekitar 2920 jam dengan 1 kali kegagalan, dan mesin *depositor* memiliki rata-rata waktu 2920 jam dengan 1 kali kegagalan. Perancangan penjadwalan perawatan mesin yang tepat untuk

mesin *bakery* XYZ yaitu perawatan atau penggantian *mixer* setiap 30 hari, depositor setiap 60 hari, oven setiap 90 hari, *proofer* setiap 120 hari, *breadline* setiap 60 hari, *bread slicer* setiap 60 hari dan *vacuum sealer* setiap 30 hari.

Penelitian yang dilakukan oleh Pradipta Haris et al. (2021) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II untuk melakukan perencanaan perawatan mesin pada industri manufaktur. Pada penelitian ini diambil 3 mesin beserta komponen yang ada di dalamnya untuk dilakukan penelitian dengan menghitung *Risk Priority Number* (RPN) pada tahap *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengetahui mesin yang memiliki nilai RPN tertinggi. Dari hasil perhitungan FMEA, diketahui bahwa mesin *double spooler* beserta komponennya seperti *solenoid valve*, *hose*, *hocking wire*, dan *T-belt* memiliki nilai RPN tertinggi sebesar 628. Di urutan kedua, terdapat mesin *dancer* dengan komponen *cylinder pneumatic*, *roll dancer upper*, dan *bearing* memiliki nilai RPN tertinggi sebesar 460. Terakhir, terdapat mesin *pay off* dengan komponen *screw*, *plammer block*, dan *sensor proximity* yang memiliki nilai RPN 422. Lalu, dilakukan perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) untuk mencari interval waktu yang tepat untuk melakukan perawatan mesin tersebut. Dari hasil MTTF dan MTTR, didapatkan waktu interval dalam melakukan perawatan yaitu mesin *pay off* setiap 361 jam, mesin *dancer* setiap 327 jam, dan mesin *double spooler* dalam waktu 174 jam dengan masing-masing nilai *availability* sebesar 0.997, 0.996, dan 0.994. Dapat dilihat juga bahwa terdapat peningkatan *reliability* sebelum dan sesudah dilakukan analisis. Pada mesin *pay off*, memiliki nilai 37% sebelum dilakukannya analisis dan meningkat menjadi 52% setelah dilakukan analisis. Pada mesin *dancer*, memiliki nilai sebesar 33% sebelum dilakukan analisis dan meningkat jadi 54% setelah dilakukan analisis. Pada mesin *double spooler*, memiliki nilai sebesar 27% sebelum dilakukan analisis dan meningkat jadi 75% setelah dilakukan analisis.

Penelitian yang dilakukan oleh Yonathan et al. (2021) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II dan *Age Replacement* untuk merancang kegiatan perawatan dan mencari interval waktu perawatan yang tepat untuk mesin induksi. Dari data yang telah didapatkan sebelumnya, diketahui bahwa pada rentang waktu Januari 2017 – December 2018 mesin telah mengalami kerusakan sebanyak 34 kali dengan total waktu *downtime* 143 jam pada 3024 jam waktu produksi. Solusi yang ditawarkan dari permasalahan tersebut berupa perencanaan tindak perawatan untuk menurunkan waktu *downtime* pada mesin tersebut. Penentuan komponen kritis menggunakan diagram pareto menunjukkan terdapat 4 komponen

kritis yaitu komponen SCR, *niklin wire*, *anaconda cable* dan *clamp*. Dengan penggunaan perhitungan *Mean Time To Failure* didapatkan interval waktu penggantian komponen kritis seperti komponen SCR memiliki waktu interval selama 294 jam, komponen *niklin wire* memiliki waktu interval selama 451 jam, komponen *anaconda cable* memiliki waktu interval selama 397 jam, dan komponen *clamp* memiliki waktu interval selama 617 jam. Selain itu, didapatkan juga waktu interval pemeriksaan komponen dengan waktu interval pemeriksaan setiap 13 hari produksi.

Penelitian yang dilakukan oleh Yusuf et al. (2024) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk menentukan tingkat komponen kritis pada mesin *forming* di PT. KHI Pipe Industries. Penelitian ini menggunakan tahapan *Functional Block Diagram* (FBD), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Logic Tree Analysis* (LTA), dan *Task Selection* (TS) dalam melakukan analisis. Hasilnya adalah terdapat 4 komponen kritis pada mesin *forming* yaitu komponen *bearing*, *shaft*, *sleeve*, *cover sleeve*, dan *top roll*. Dengan 4 tahapan analisis diatas, ditemukan komponen *bearing* dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) sebesar 378, kategori LTA B, dan dipilih tindakan *Time Directed*; komponen *cover* dengan nilai RPN sebesar 324, kategori LTA B, dan pemilihan tindakan *Condition Directed*; komponen *rocking roll* dengan nilai RPN sebesar 180, kategori LTA D, dan pemilihan tindakan *Finding Failure*; komponen *shaft* dengan nilai RPN sebesar 144, kategori LTA D, dan pemilihan tindakan *Finding Failure*.

Penelitian yang dilakukan oleh Ahmad et al. (2022) menggunakan metode *Age Replacement* untuk meminimalisir angka *downtime* pada mesin *autoclave-035* pada PT. XYZ. Dari data yang telah diketahui terdapat frekuensi kerusakan pada mesin *autoclave-026*, mesin *autoclave-035*, dan mesin *autoclave-036*. Dari 3 mesin tersebut, diketahui bahwa mesin *autoclave-035* mengalami frekuensi kerusakan yang lebih banyak dibanding 2 mesin lainnya dengan frekuensi sebanyak 41 kali. Sementara, 2 mesin yang lain seperti mesin *autoclave-026* dan mesin *autoclave-036* mengalami kerusakan sebanyak 25 dan 19 kali. Dengan menggunakan analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), diketahui bahwa terdapat 2 komponen yang memasuki kriteria sebagai komponen kritis yaitu komponen *door seal* dan *drain chamber* dengan nilai RPN sebesar 210 dan 200. Menggunakan analisis *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR), diketahui bahwa nilai MTTF untuk komponen *drain chamber* sebesar 2080,5 jam dan komponen *door seal* sebesar 3088,61 jam. Lalu, untuk nilai MTTR didapatkan nilai sebesar 7,23 jam untuk komponen *drain chamber* dan 4,64 jam untuk

komponen *door seal*. Berdasarkan hasil pengolahan data dengan metode *Age Replacement*, waktu penggantian komponen yang paling optimal untuk dua komponen paling kritis yaitu *drain chamber* dapat bekerja optimal dalam jangka waktu 18,2 tahun. Sementara untuk komponen *door seal*, dapat bekerja optimal dalam jangka waktu 16 tahun. Setelah jangka waktu tersebut berlalu, komponen tersebut harus diganti.

Penelitian yang dilakukan oleh Padhil & Mail (2022) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* untuk melakukan perencanaan perawatan pada unit *rubber tyred gantry* pada PT. Pelabuhan Indonesia (Persero). *Rubber Tyred Gantry* (RTG) merupakan alat angkat/*crane* yang menggerakkan roda dan berfungsi untuk mengangkat, menaikkan, dan menurunkan peti dari *chassis head trailer* ke lapangan dan sebaliknya. Dalam pengoperasiannya, ditemukan beberapa kasus yang dapat menghambat atau mengganggu proses pembongkaran yang disebabkan oleh ketidaksesuaian jadwal perawatan sehingga dapat menghambat pekerjaan. Dengan metode *Reliability Centered Maintenance II*, diharapkan dapat mengatasi permasalahan dan menemukan solusi dari permasalahan tersebut. Menggunakan analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), ditemukan 3 komponen kritis dengan total *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi yaitu komponen *engine* dengan nilai RPN sebesar 84, komponen *spreader* dengan nilai RPN sebesar 70, dan komponen *trolley brake* dengan nilai RPN sebesar 56. Dengan analisis *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR) didapatkan waktu terhadap ketiga komponen kritis yaitu komponen *engine*, komponen *spreader*, dan komponen *trolley brake* dengan masing-masing nilai TTF sebesar 250,12 jam, 482,11 jam, dan 1198,02 jam. Untuk nilai TTR, didapatkan nilai dari masing-masing komponen sebesar 2,07 jam, 5,39 jam, dan 1,64 jam. Dilanjutkan dengan melakukan kalkulasi menggunakan analisis *Mean Time To Failure* (MTTF) didapatkan nilai dari masing-masing komponen dengan hitungan jam yaitu sebesar 394,28 jam, 540,31 jam, 1308,32 jam. Lalu, untuk nilai *Mean Time To Repair* (MTTR) didapatkan nilai dari masing-masing komponen sebesar 4,12 jam, 10,09 jam, dan 14,44 jam. Dari hasil nilai tersebut, ditemukan interval waktu perbaikan terhadap ketiga komponen kritis dengan waktu interval komponen *engine* selama 16 hari, komponen *spreader* selama 10 hari, dan komponen *trolley brake* selama 13 hari.

Penelitian yang dilakukan oleh Dzulyadain et al. (2021) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dengan analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) pada mesin *press* yang berada pada industri otomotif. Mesin *press* diambil sebagai studi kasus karena mesin ini mengalami kerusakan yang cukup signifikan setiap bulannya yang

data tersebut diambil dari bulan Desember hingga November. Fokus penelitian ini terdapat pada komponen kritis yang terdapat pada mesin *press* yaitu komponen *brake* dan komponen *trigger* dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) 16 pada komponen *brake* dan 12 pada komponen *trigger*. Hasil analisis ini menghasilkan interval perbaikan untuk masing-masing komponen selama 2,55/3 bulan untuk komponen *brake* dan 5,394/5 bulan untuk komponen *trigger*.

Penelitian yang dilakukan oleh Ramadani et al. (2022) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II untuk analisis perawatan pada mesin pompa sentrifugal di PDAM Surya Sembada Surabaya. Pada data yang telah didapatkan, diketahui bahwa komponen yang terdapat di mesin pompa sentrifugal menjadi komponen kritis seperti komponen *impeller*, komponen *shafts*, komponen *bearings*, komponen *clutch*, dan komponen *mechanical seals* dengan tingkat *downtime* tertinggi pada komponen *bearing* melalui visual diagram pareto dengan total *downtime* (menit) sebesar 3621 menit. Sementara untuk komponen *shafts* sebesar 1206 menit, komponen *clutch* sebesar 324 menit, komponen *mechanical seals* sebesar 279 menit, dan komponen *impeller* sebesar 201 menit. Menggunakan analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) didapatkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi pada komponen *bearing* sebesar 108. Sementara, untuk komponen *impeller* didapatkan nilai RPN 72, komponen *shafts* sebesar 60, komponen *clutch* sebesar 36 dan komponen *mechanical seals* sebesar 28. Dengan perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) ditemukan interval waktu perawatan terhadap masing-masing komponen, terutama pada komponen *bearing* dengan interval waktu perawatan sebesar 322 jam. Untuk komponen *impeller* sebesar 1673 jam, komponen *shaft* dan komponen *clutch* sebesar 698 jam, dan komponen *mechanical seal* sebesar 2131 jam.

Penelitian yang dilakukan oleh Basuki Nanda & Valentino Roni (2023) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada mesin *cake breaker conveyor*. Mesin *cake breaker conveyor* menjadi mesin yang akan dilakukan analisis karena memiliki total *downtime* lebih dari 600 jam. Terdapat 4 komponen pada mesin *cake breaker conveyor* yang memasuki kriteria komponen kritis yaitu komponen *bearings*, komponen *clutch rod*, komponen *universal joints*, dan komponen *pen* dengan masing-masing nilai *Risk Priority Number* (RPN) sebesar 560, 512, 504, dan 448. Menggunakan analisis *task selection*, terdapat 3 komponen dengan *selection task Time Directed* (TD) seperti komponen *bearing*, komponen *universal joint*, dan komponen *pen*. Sementara, untuk komponen *clutch rod* menggunakan *selection task Condition Direct* (CD). Hasil yang didapatkan berupa pengusulan penggantian komponen

dengan menggunakan distribusi normal dan distribusi lognormal pada masing-masing komponen kritis. Untuk komponen bearing, menggunakan distribusi lognormal dan jadwal penggantian yang diusulkan setelah 461,5 jam dengan tindakan TD yaitu dengan mengganti bearing secara langsung berdasarkan umur komponen. Untuk komponen *pen*, menggunakan distribusi normal dan jadwal penggantian yang diusulkan setelah 587,29 jam dengan tindakan TD dimana tindakan yang dilakukan adalah melakukan penggantian *pen* secara langsung berdasarkan umur *pen* tersebut. Untuk komponen *universal joint*, menggunakan distribusi normal dan jadwal penggantian yang diusulkan setelah 536,46 jam dengan tindakan TD yaitu dengan mengganti *universal joint* berdasarkan umur komponen. Untuk komponen *clutch rod*, menggunakan distribusi normal dan penggantian yang diusulkan setelah 581,6 jam dengan tindakan CD yaitu mendeteksi kerusakan pada komponen *clutch rod* yang sudah rusak seperti komponen *clutch rod* yang putus.

Penelitian yang dilakukan oleh Yonathan Teja Kusuma & Aldi Pratama (2020) menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada mesin *jointing*. Hasil analisis dengan menggunakan metode RCM menunjukkan bahwa terdapat 2 komponen yang dianalisis dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi dan *task selection*. Komponen *roller blade* memiliki nilai RPN sebesar 168 dan pemilihan *task* yaitu *Condition Direct* (CD) dengan memeriksa *roller blade* secara berkala dan mengganti *guide wheel bearing* apabila terdapat gejala bising. Komponen *indexing clamp* memiliki nilai RPN sebesar 140 dan pemilihan *task* yaitu CD dengan memeriksa *indexing clamp* dan membersihkan sisa potongan plat secara berkala apabila terdapat tanda-tanda gerakan *indexing clamp* lambat.

Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka

Penulis	Objek (Industri)				Metode			
	Mesin	Maintenance	FBD	FMEA	LTA	TS	MTTF	MTTR
Ramadhan & Widiasih (2023)	✓	✓		✓			✓	✓
Saputra et al. (2024)	✓	✓		✓	✓		✓	✓
Ilahy Rosihan et al. (2022)	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Haming et al. (2023)	✓	✓		✓			✓	✓

Penulis	Objek (Industri)		Metode					
	Mesin	Maintenance	FBD	FMEA	LTA	TS	MTTF	MTTR
Silaen & Ferida Yuamita (2024)	✓	✓		✓	✓		✓	✓
Nico Pranata Mulya (2023)	✓	✓		✓	✓		✓	
Pradipta Haris et al. (2021)	✓	✓		✓			✓	✓
Yonathan et al. (2021)	✓	✓		✓			✓	✓
Yusuf et al. (2024)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Ahmad et al. (2022)	✓	✓	✓	✓			✓	✓
Padhil & Mail (2022)	✓	✓		✓			✓	✓
Dzulyadain et al. (2021)	✓	✓					✓	✓
Ramadani et al. (2022)	✓	✓	✓	✓			✓	✓
Basuki Nanda & Valentino Roni (2023)	✓	✓		✓		✓		
Yonathan Teja Kusuma & Aldi Pratama (2020)	✓	✓		✓	✓	✓		
Penelitian Selanjutnya	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Berdasarkan hasil kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), serta *Age Replacement* pada berbagai jenis mesin di sektor manufaktur, tekstil, perkapalan, otomotif, dan energi, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode tersebut secara konsisten efektif dalam mengidentifikasi komponen kritis dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi. Komponen-komponen yang dikategorikan kritis meliputi *bearing*, *gearbox*, dinamo, *valve*, *seal*, oven, *proofer*, hingga *clutch rod*, yang

pada praktiknya menunjukkan tingkat kerusakan paling tinggi. Melalui perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR), setiap penelitian menghasilkan rekomendasi interval perawatan yang lebih terukur, baik dengan pendekatan *Time Directed* (TD) maupun *Condition Directed* (CD). Interval perawatan tersebut bervariasi sesuai karakteristik mesin, mulai dari hitungan jam, hari, hingga bulan, misalnya penggantian *bearing screen* setiap 27 hari, *couchroll* setiap 41 hari, dinamo mesin bubut setiap 3,15 hari, hingga perawatan bearing pompa sentrifugal setiap 322 jam. Hasil penerapan metode tersebut terbukti mampu meningkatkan nilai *availability* mesin hingga lebih dari 0,99, menurunkan *downtime* secara signifikan, serta meningkatkan reliabilitas komponen dari kisaran 27–37% menjadi di atas 70–80%. Dengan demikian, kombinasi metode RCM, FMEA, MTTF, MTTR, dan *Age Replacement* dapat dijadikan sebagai strategi perawatan preventif yang efektif dalam mengurangi biaya pemeliharaan, memperpanjang umur pakai mesin, serta menjamin kelancaran proses produksi di berbagai sektor industri. Penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), FMEA, dan *Age Replacement* pada kurun waktu 2020–2024 oleh berbagai peneliti di sektor industri seperti kertas, galangan kapal, tekstil, makanan, pelabuhan, otomotif, Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM), hingga manufaktur, pada dasarnya difokuskan untuk mengatasi permasalahan kerusakan mesin yang berujung pada downtime produksi. Pendekatan ini dipilih karena dinilai efektif dalam mengidentifikasi komponen yang paling kritis, menentukan interval perawatan yang tepat, serta meminimalkan kemungkinan terjadinya kegagalan. Tahapan analisis yang dilakukan meliputi penentuan RPN melalui FMEA, penggunaan diagram pareto, perhitungan MTTF dan MTTR, pemilihan task selection, hingga penetapan interval penggantian berbasis distribusi statistik. Secara umum, hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa kombinasi metode RCM dan FMEA dengan dukungan *age replacement* mampu memberikan rekomendasi penjadwalan perawatan yang lebih terstruktur, meningkatkan reliabilitas dan ketersediaan mesin, serta memperpanjang usia komponen sehingga kegiatan operasional industri dapat berlangsung lebih efisien.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Perawatan (Maintenance)

Perawatan (*maintenance*) merupakan kegiatan yang dilakukan secara sistematis untuk menjaga, mempertahankan, dan memastikan setiap peralatan bekerja dengan baik dan berfungsi sesuai dengan semestinya (Siagian et al., 2024). Perawatan (*maintenance*) yang dilakukan secara terstruktur memiliki tujuan utama agar peralatan dapat berfungsi secara optimal dan meningkatkan efisiensi dan efektivitas kinerja peralatan, menjamin keselamatan dan

keselamatan pengguna, serta mengurangi biaya yang mungkin timbul akibat perbaikan darurat. Dengan berkurangnya tingkat kerusakan mesin dan peralatan kerja, kualitas, produktivitas, dan efisiensi produksi akan meningkat dan menghasilkan profitabilitas yang tinggi bagi perusahaan (Purnomo et al., 2021)

2.2.2 Downtime

Downtime merupakan waktu dimana mesin tidak dapat dioperasikan karena adanya perbaikan atau terjadi kerusakan yang tidak di sengaja. Kondisi ini menyebabkan suatu mesin tidak dapat bekerja dalam kurun waktu tertentu sehingga mengganggu operasional yang dapat menghambat kegiatan produksi dan menurunkan produktivitas perusahaan (Sukmawati et al., 2024). Tingkatan *downtime* juga mencerminkan kehandalan dan kesiapan suatu sistem dalam melakukan proses produksi yang ada dalam industri manufaktur. Oleh karena itu, perusahaan dituntut untuk memiliki strategi pengelolaan *downtime* yang terpadu seperti peningkatan sistem pemeliharaan, pelatihan sumber daya manusia, dan lain-lain.

2.2.3 Jenis-Jenis Perawatan

Secara umum, perawatan terbagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Perawatan Terencana (*Planned Maintenance*)

Perawatan terencana (*planned maintenance*) merupakan perawatan yang terorganisasi dan dilakukan sesuai rencana yang telah ditentukan sebelumnya. Perawatan jenis ini didasarkan pada analisis data historis, pedoman pabrik, serta analisis resiko terhadap peralatan yang pelaksanaannya dilakukan secara berkala, baik berdasarkan waktu (*time-based*), penggunaan, maupun kondisi aktual mesin (*condition-based*) (Anuar et al., 2022). Perawatan terencana terbagi menjadi :

a. Preventive Maintenance

Preventive maintenance merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan secara terjadwal agar menjaga peralatan tetap berfungsi sebelum peralatan menjadi rusak dan untuk mengurangi frekuensi kerusakan dari barang yang dipelihara (Sitinjak & Silalahi, 2023). *Preventif maintenance* berperan penting dalam meminimalisasi kemungkinan kegagalan fungsi dan menjaga mesin dalam tingkat keandalan yang diinginkan serta selalu dalam kondisi optimal.

b. Predictive Maintenance

Predictive maintenance merupakan suatu metode pemeliharaan berbasis kondisi (*condition-based maintenance*) yang bertujuan untuk mengoptimalkan waktu

pemeliharaan agar dilakukan hanya ketika benar-benar diperlukan, berdasarkan indikator yang mengarah pada kemungkinan kegagalan pada mesin atau sistem. Secara umum, *predictive maintenance* merupakan sistem perawatan yang bersifat prediksi, dalam hal ini merupakan evaluasi dari perawatan *preventive* (Sodikin et al., 2024).

2. Perawatan Tidak Terencana (*Unplanned Maintenance*)

Perawatan tidak terencana (*unplanned maintenance*) merupakan perawatan yang didasarkan pada pemberitahuan/instruksi mengenai tahapan proses manufaktur dan tiba-tiba muncul ketidaksesuaian. Pemeliharaan ini terdiri dari pemeliharaan darurat yang terjadi apabila suatu sistem atau mesin mengalami kegagalan secara tiba-tiba yang memerlukan tindakan segera untuk mencegah akibat yang lebih serius (Muhaemin & Nugraha, 2022). Salah satu contoh perawatan tidak terencana yaitu *corrective maintenance* yang merupakan suatu proses perawatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan pada peralatan dan bertujuan untuk mengembalikan fungsi dari peralatan tersebut agar dapat beroperasi kembali (Indra Nuryanneti et al., 2023).

2.2.4 *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Reliability Centered Maintenance (RCM) memiliki sejarah awal yang dekat dengan dunia penerbangan. Pada akhir tahun 1950-an, tingginya biaya dalam industri penerbangan telah mencapai tingkat yang merubah pandangan terhadap seluruh konsep pemeliharaan preventif. Penggunaan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* pertama kali diterapkan pada pesawat dengan jenis *Boeing-747* menggunakan program pemeliharaan MSG-1 yang dilaksanakan oleh pihak FAA (*Federal Aviation Administration*) *Maintenance* yang menunjukkan keberhasilan dalam program perawatan tersebut. Penggunaan program ini kemudian dilakukan penyempurnaan dengan program berikutnya, yaitu program MSG-2 pada tahun 1970. Program ini juga diterapkan pada pesawat militer seperti *McDonnell F4J* dan *Lockheed P-3* yang berhasil dijalankan. Selain itu, program ini sukses diterapkan pada pesawat *Lockheed 1011* dan *Douglas DC 10*. Penerapan program ini menghasilkan perancangan program pemeliharaan terjadwal yang meminimalkan biaya dan memaksimalkan tingkat keandalan dan keselamatan (Nowlan & Heap, 1978)

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan sebuah proses yang dilakukan untuk mengidentifikasi kerusakan mesin serta memperhitungkan interval waktu pemeliharaan agar suatu aset dapat terus beroperasi dengan aman sesuai dengan fungsi yang diharapkan dan juga berfokus terhadap mengembangkan strategi yang tepat untuk mencegah kegagalan tersebut

(Wibowo et al., 2021) Tujuan umum *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yakni untuk meningkatkan keandalan alat, serta menurangi biaya pemeliharaan dan resiko kegagalan (Oktaviani & Singgih, 2024).

2.2.4.1 *Functional Block Diagram (FBD)*

Functional Block Diagram (FBD) merupakan tahapan yang terdapat pada RCM yang merepresentasikan suatu grafis untuk menyederhanakan pemahaman terhadap cara kerja suatu sistem secara keseluruhan. *Functional Block Diagram* (FBD) memiliki tujuan utama yaitu menunjukkan hubungan antar fungsi ang membentuk suatu sistem kerja dan melihat langkah-langkah proses dalam suatu sistem (Gilbert Wohon et al., 2023).

2.2.4.2 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan metode yang memiliki pendekatan sistematis yang memfokuskan perhatian pada identifikasi, evaluasi, dan mitigasi potensi kegagalan dalam suatu proses atau produk (Ardyansyah & Purnomo, 2024). Metode ini merupakan metode terstruktur yang dilakukan dalam menentukan permasalahan dan mengidentifikasi sumber-sumber dari sutu permasalahan dengan katalog *Severity*, *Occurance*, serta *Detection*. Hasil dari katalog tersebut akan menghasilkan RPN yang didapatkan menggunakan rumus sebagai berikut :

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

Hasil RPN yang didapatkan nantinya akan menentukan suatu prioritas dalam resiko berdasarkan kemungkinan kegagalan suatu komponen atau proses yang ada. Adapun kategori yang ada pada *severity*, *occurance*, serta *detection* adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 2 Struktur FMEA

<i>No</i>	<i>Equipment</i>	<i>Function</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Cause</i>	<i>Effect of Failure</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>D</i>	<i>RPN</i>
-----------	------------------	-----------------	---------------------	----------------------	--------------------------	----------	----------	----------	------------

1. *Severity*

Severity merupakan langkah pertama dalam melakukan analisis resiko untuk menghitung seberapa besar dampak/intensitas kejadian yang dapat mempengaruhi *output* proses. *Severity* juga merupakan kuantifikasi seberapa serius kondisi yang diakibatkan jika terjadi kegagalan yang akibatnya disebutkan dalam *failure effect* (Fani & Nuriyanto, 2024). Berikut merupakan tabel katalog *severity* :

Tabel 2. 3 Tingkatan *Severity*

Tingkatan Severity	Akibat (<i>Effect</i>)	Kriteria Verbal
1	Tidak ada akibat	Tidak mengakibatkan apapun (tidak ada akibat, penyesuaian masih diperlukan
2	Akibat sangat ringan	Mesin masih dapat beroperasi dan keadaan aman, hanya terdapat sedikit gangguan kecil. Serta hanya terdapat gangguan kecil pada peralatan. Akibat dapat diketahui hanya oleh operator yang berpengalaman
3	Akibat ringan	Mesin masih dapat beroperasi dan keadaan aman, hanya terdapat sedikit gangguan kecil. Serta hanya terdapat gangguan kecil pada peralatan. Akibat dapat diketahui oleh semua operator

Tingkatan Severity	Akibat (<i>Effect</i>)	Kriteria Verbal
4	Akibat minor	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi menimbulkan beberapa kegagalan dan kecacatan pada produk. Operator merasa tidak puas akibat kinerja yang berkurang.
5	Akibat moderat	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi menimbulkan beberapa kegagalan atau kecacatan pada suatu proses/produk. Operator merasa tidak puas akibat kinerja yang berkurang

Tingkatan Severity	Akibat (<i>Effect</i>)	Kriteria Verbal
6	Akibat signifikan	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi menimbulkan kegagalan atau kecacatan pada proses/produk. Operator merasa tidak puas dengan kinerjanya sendiri.
7	Akibat major	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh. Operator merasa sangat tidak puas
8	Akibat ekstrem	Mesin tidak dapat beroperasi, mesin telah kehilangan fungsi utama mesin.
9	Akibat serius	Mesin gagal dalam beroperasi dan tidak memenuhi standart keselamatan kerja

Tingkatan Severity	Akibat (<i>Effect</i>)	Kriteria Verbal
10	Akibat berbahaya	Mesin tidak layak dioperasikan, karena dapat menimbulkan kecelakaan kerja secara tiba tiba dan tidak dapat memenuhi standart kerja

2. *Occurance*

Occurance merupakan frekuensi terjadinya kerusakan yang berhubungan dengan perkiraan jumlah total kegaalan akibat suatu penyebab pada mesin, dibagi menjadi 10 kelas, dengan rating 1 untuk kegagalan terendah dan rating 10 untuk kegagalan tertinggi (Mohammad Faisal Nurfaizi & Widya Setiafindari, 2024). Berikut merupakan tabel katalog *occurance* :

Tabel 2. 4 *Ranking Occurance*

<i>Ranking</i>	Kejadian	Kriteria
1	Hampir tidak pernah ada	Hampir kerusakan tidak pernah terjadi
2	Remote	Kerusakan mesin jarang terjadi
3	Sangat sedikit	Kerusakan mesin terjadi sangat sedikit

<i>Ranking</i>	<i>Kejadian</i>	<i>Kriteria</i>
4	Sedikit	Kerusakan mesin terjadi sedikit
5	Rendah	Kerusakan mesin terjadi dengan tingkat rendah
6	Medium	Kerusakan mesin terjadi pada tingkat medium
7	Agak tinggi	Kerusakan terjadi agak tinggi
8	Tinggi	Kerusakan terjadi tinggi
9	Sangat tinggi	Kerusakan terjadi sangat tinggi

Ranking	Kejadian	Kriteria
10	Hampir selalu	Kerusakan selalu terjadi

3. *Detection*

Detection adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan atau mengontrol kegagalan yang dapat terjadi (Anthony, 2021). *Detection* ditentukan dalam skala 1-10 yang bertujuan untuk memprediksi kegagalan-kegagalan mesin yang memiliki kemungkinan terjadi. Berikut merupakan tabel katalog dari *detection* :

Tabel 2. 5 *Ranking Detection*

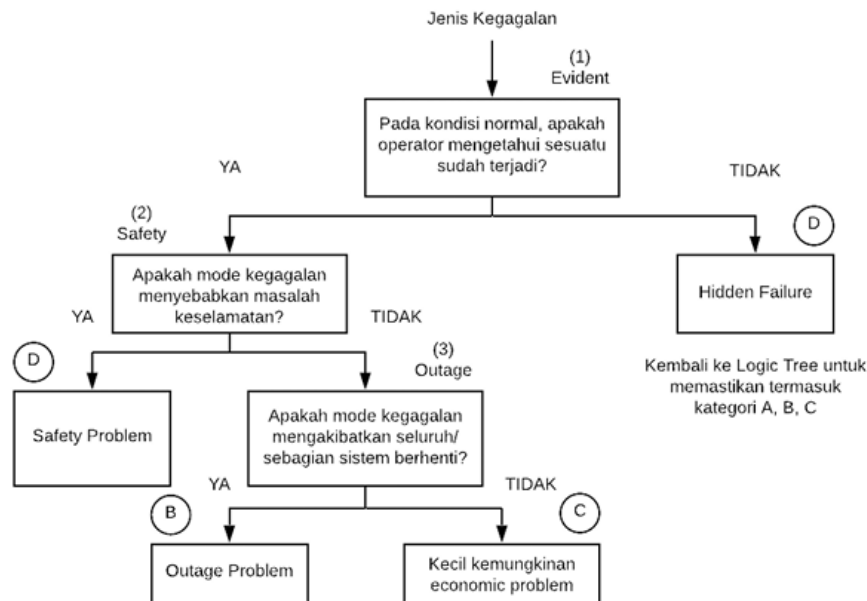
Ranking	Akibat	Kriteria Verbal
1	Hampir pasti	Perawatan preventive akan selalu mendekati penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
2	Sangat tinggi	Perawatan preventive memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

<i>Ranking</i>	<i>Akibat</i>	<i>Kriteria Verbal</i>
3	Tinggi	Perawatan preventive memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
4	Moderate highly	Perawatan preventive memiliki kemungkinan moderate highly untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
5	Moderate highly	Perawatan preventive memiliki kemungkinan moderate untuk mendeteksi penyebab kegagalan potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Perawatan preventive memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme

<i>Ranking</i>	<i>Akibat</i>	<i>Kriteria Verbal</i>
		kegagalan dan mode kegagalan
7	Sangat rendah	Perawatan preventive memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
8	Remote	Perawatan preventive memiliki kemungkinan remote untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
9	Tidak pasti	Perawatan preventive dapat mendeteksi penyebab potensial yang tidak pasti
10	Sangat tidak pasti	Perawatan preventive tidak dapat mendeteksi penyebab potensial yang sangat tidak pasti

2.2.4.3 Logic Tree Analysis (LTA)

Logic Tree Analysis merupakan penyusunan yang memiliki tujuan untuk memberikan prioritas kepada setiap mode kerusakan dan melakukan tinjauan dan fungsi, kegagalan fungsi sehingga status mode kerusakan tidak sama (Wibowo et al., 2021). Terdapat 4 hal yang penting dalam melakukan analisis kekritisitas dan juga struktur dalam *logic tree analysis* yaitu sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Struktur *Logic Tree Analysis*

Tabel 2. 6 Struktur Tabel LTA

No	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Cause	Critical Analysis			Category
					Evident	Safety	Outage	

1. *Evident*, yaitu apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi pada sistem?
2. *Safety*, yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan?
3. *Outage*, yaitu apakah mode kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin terhenti?
4. *Category*, yaitu melakukan pengkategorian yang telah diperoleh setelah menjawab beberapa pertanyaan yang telah diajukan.

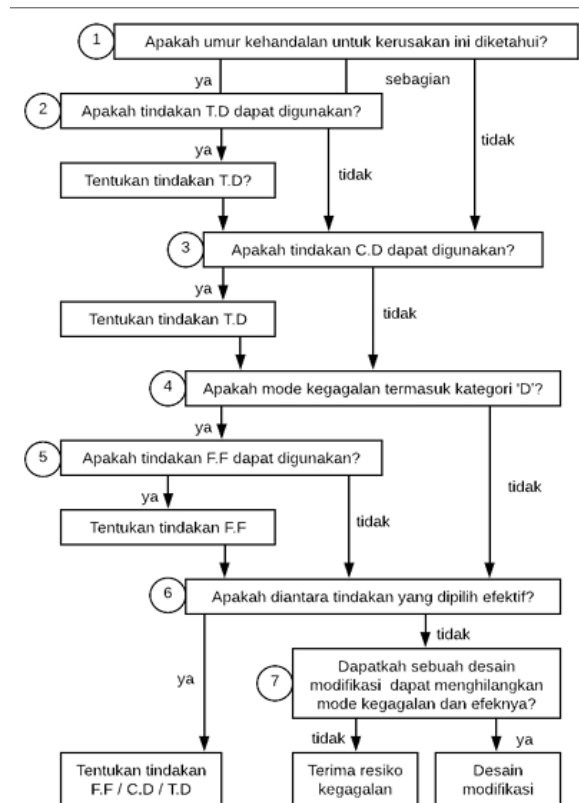
Setelah mengetahui variabel sebelumnya, dilanjutkan lagi pada variabel yang akan terbagi menjadi 4 kategori, yaitu :

- a. Kategori A (*Safety Problem*), yaitu suatu kategori yang apabila kegagalan komponen mengakibatkan masalah keselamatan karyawan.
- b. Kategori B (*Outage Problem*), yaitu suatu kategori yang apabila mengalami kegagalan komponen akan mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin terhenti.
- c. Kategori C (*Economic Problem*), yaitu suatu kategori yang apabila mengalami kegagalan komponen mengakibatkan masalah ekonomi perusahaan.
- d. Kategori D (*Hidden Failure*), yaitu suatu kategori yang apabila karyawan tidak mengetahui telah terjadinya kegagalan komponen dalam kondisi normal.

Setelah mengetahui 4 kategori di atas, dilakukan proses *logic tree analysis* yang mana analisis ini dibuat dalam bentuk tabel yang diisi dengan variabel huruf seperti **Y (Yes)** dan **N (No)**. Lalu, ditentukan kategori dari A-D untuk mengetahui dampak dari permasalahan yang dialami.

2.2.4.4 Task Selection

Task Selection merupakan analisis yang bertujuan sebagai penentuan kebijakan perawatan yang efektif diterapkan dalam meminimalkan kemungkinan kegagalan yang terjadi dan pemilihan task yang efisien dalam segi biaya perawatan dengan menjawab pertanyaan dengan **Y (Yes)** atau **N (No)** yang nantinya hasil ini akan mengarahkan penentuan tindakan perawatan yang dilakukan (Azmi et al., 2022). Hasil dari kegiatan perawatan tersebut berupa tindakan yang berfokus pada kondisi mesin **CD (Condition Direct)**, waktu yang tepat untuk melakukan perawatan **TD (Time Directed)**, serta penemuan penyebab kegagalan **FF (Finding Failure)**.



Gambar 2. 2 Roadmap Task Selection

Dalam menentukan variabel yang terdapat pada *task selection*, terdapat *road map* yang memiliki beberapa pertanyaan yang akan dijawab dengan variabel yang telah disebutkan sebelumnya, berikut merupakan beberapa pertanyaan yang terdapat pada variabel *task selection* yang nantinya akan dilampirkan :

1. Apakah umur kehandalan untuk kerusakan ini diketahui?
2. Apakah tindakan TD dapat digunakan?
3. Apakah tindakan CD dapat digunakan?
4. Apakah kategori termasuk dalam mode kegagalan?
5. Apakah tindakan FF dapat digunakan?
6. Apakah diantara tindakan yang dipilih efektif?
7. Dapatkah sebuah desain modifikasi dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya?

Tabel 2. 7 Struktur Tabel TS

No	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Cause	Critical Analysis							Selection Task
					1	2	3	4	5	6	7	

2.2.5 Fungsi Kehandalan (*Reliability*)

Reliability atau yang disebut juga sebagai fungsi kehandalan merupakan suatu parameter dimana peralatan dapat beroperasi dibawah keadaan normal dengan baik selama periode waktu tertentu tanpa mengalami kegagalan (Sinaga & Ardan, 2021). Kehandalan suatu mesin atau sistem dapat disampaikan sebagai gagasan bahwa mesin atau sistem tersebut dapat dikatakan handal tanpa mengalami kesalahan apapun (Ramadhan & Widiasih, 2023). Nilai kehandalan dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$R(t) = 1 - f(t) = \int f(t)dt \quad \dots(2.2)$$

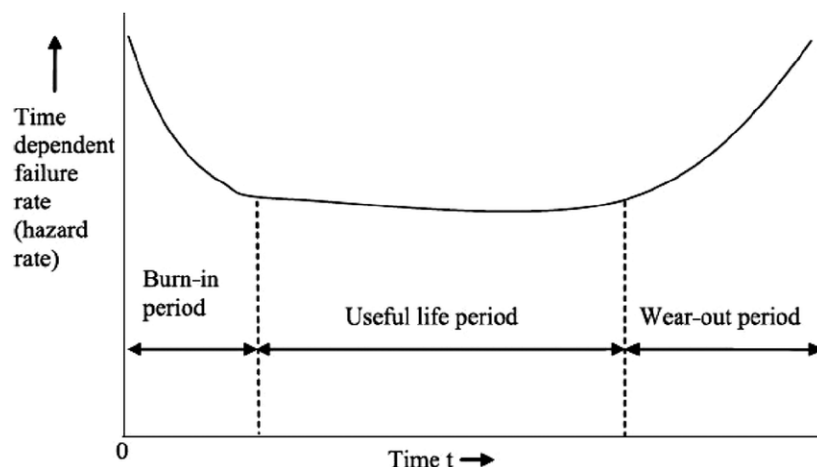
Keterangan :

$R(t)$ = Fungsi Keandalan

$f(t)$ = Probabilitas Kerusakan

2.2.6 Laju Kerusakan (*Failure Mode*)

Laju kerusakan (*failure mode*) merupakan probabilitas banyaknya komponen yang mengalami kerusakan setiap waktu, bila komponen sejenis dioperasikan secara bersama (Wardana & Abdulrahim, 2024). Hal ini merujuk pada tingkat frekuensi terjadinya kegagalan dalam suatu sistem, komponen, maupun peralatan yang memiliki probabilitas terjadinya kerusakan (Timothy Anugrah Sugiarto & Endang Pudji W, 2023).



Gambar 2. 3 *Failure Rate*

2.2.7 Distribusi Kerusakan

Distribusi kerusakan merupakan informasi dasar mengenai umur pakai suatu peralatan yang merujuk pada representasi pola atau kecenderungan waktu terjadinya suatu kegagalan pada

komponen, sistem, maupun peralatan selama siklus operasional (Hardiyanti et al., 2022). Adapun distribusi yang digunakan yaitu distribusi *Normal*, *Lognormal*, *Weibull*, dan *Eksponensial*.

2.2.7.1 *Distribusi Normal*

Distribusi normal merupakan salah satu jenis distribusi yang menggambarkan sebaran simetris dari waktu kegagalan suatu komponen terhadap nilai rata-rata (Hakim et al., 2021). Distribusi normal digunakan untuk menggambarkan kegagalan yang terjadi secara alami maupun acak, menampilkan sifat simetris terhadap rata-rata (*mean*) dan menggunakan pengukuran standar deviasi. Dengan demikian, variabel utama dalam distribusi normal adalah nilai rata-rata dan standar deviasi :

$$x_i = \ln t_i, y_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \quad \dots(2.3)$$

2.2.7.2 *Distribusi Lognormal*

Pada saat variabel acak T (waktu kegagalan) mempunyai distribusi lognormal, logaritma T memiliki distribusi normal. Berikut merupakan persamaan atau fungsi yang digunakan :

$$x_i = \ln t_i, y_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \quad \dots(2.4)$$

2.2.7.3 *Distribusi Weibull*

Distribusi weibull merupakan distribusi yang digunakan untuk menentukan lama waktu bertahan (umur) dari suatu mesin dan menggambarkan distribusi waktu hingga terjadi kegagalan pada suatu mesin, sistem, maupun komponen (Tamba et al., 2023). Distribusi ini sangat fleksibel dan dapat menggambarkan berbagai pola kerusakan atau sistem sepanjang siklus operasi sistem tersebut. Berikut merupakan fungsi dari distribusi weibull :

$$x_i = \ln t_i, y_i = \ln \left(\ln \frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \quad \dots(2.5)$$

2.2.7.4 *Distribusi Eksponensial*

Distribusi eksponensial merupakan distribusi yang digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Dalam konsep *Reliability Centered Maintenance* (RCM), distribusi ini digunakan untuk menggambarkan *failure rate* dari suatu komponen atau sistem yang memiliki kemungkinan suatu komponen mengalami kegagalan tidak berubah, baik pada awal, tengah, maupun akhir masa pakainya (Wardana & Abdulrahim, 2024).

$$x_i = \ln t_i, y_i = \ln \left(\ln \frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \quad \dots(2.6)$$

2.2.8 Uji Goodness of Fit

Uji *goodness of fit* merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui model distribusi peluang suatu populasi dan menilai seberapa baik model distribusi probabilitas seperti weibull, lognormal, normal, dan eksponensial dalam merepresentasikan data empiris kerusakan atau kegagalan dari suatu komponen atau sistem (Mardiyah et al., 2022). Terdapat 3 jenis uji *goodness of fit*, yaitu :

1. Uji Bartlett untuk Uji Distribusi Eksponensial

Uji *bartlett* merupakan uji statistik yang menguji pada keseluruhan waktu kerusakan antar beberapa jenis mesin atau komponen untuk memverifikasi asumsi kesamaan varians (homogen) (Amelia & Kholijah, 2023). Hipotesis yang digunakan dalam uji ini adalah sebagai berikut :

H0 = Distribusi waktu kegagalan merupakan eksponensial.

H1 = Distribusi waktu kegagalan bukan bersifat eksponensial.

Uji Statistik:

$$B = \frac{\left[\ln ti \left(\left(\frac{1}{r} \right) (\sum_{i=1}^n ti) \right) - \left(\left(\frac{1}{r} \right) (\sum_{i=1}^n ti) \right) \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \quad \dots(2.6)$$

2. Uji Kolmogorov-Smirnov untuk Uji Distribusi Normal dan Lognormal

Uji *Kolmogorov-Smirnov* merupakan uji yang dimana pendistribusian statistik uji bergantung pada bentuk eksplisit paramater pada distribusi tertentu. Metode uji *kolmogorov-smirnov* digunakan untuk mengetahui apakah suatu data mengikuti suatu distribusi tertentu ketika mean dan variasinya diketahui dan beranggapan bahwa distribusi data yang diuji bersifat kontinyu (Ahadi & Zain, 2023). Hipotesis yang digunakan dalam uji ini adalah sebagai berikut :

H0 = Data mengikuti model distribusi tertentu.

H1 = Data tidak mengikuti model distribusi tertentu.

Uji statistik sebagai berikut :

$$D1 = \max \left\{ \frac{i}{n} - R_{(i)} \right\}; 1 \leq i \leq n \quad \dots(2.7)$$

$$D2 = \max \left\{ R_{(i)} - \frac{i-1}{N} \right\}; 1 \leq i \leq n \quad \dots(2.8)$$

Penjelasan:

D1 = Perbedaan maksimum antara distribusi kumulatif empiris dengan teoritis.

D2 = Perbedaan maksimum untuk arah negatif.

R(i) = Data yang diurutkan dari terkecil hingga terbesar.

N = Jumlah data.

3. Uji *Mann's* untuk Uji Distribusi *Weibull*

Uji *Mann's* merupakan salah satu bentuk pengujian dalam analisis statistika non parametrik yang dipakai apabila peneliti tidak mengetahui karakteristik kelompok item yang menjadi sumber sampelnya (Birahi et al., 2022). Berikut merupakan hipotesis yang digunakan:

H0 = Data waktu berdistribusi.

H1 = Data waktu tidak berdistribusi.

Uji statistik sebagai berikut:

$$M = \frac{K1 \sum_{i=K1+1}^{n-1} \frac{[In \, ti + 1 - In \, ti]}{Mi}}{K2 \sum_{i=1}^{K2} \frac{[In \, ti + 1 - In \, ti]}{Mi}} \quad \dots(2.9)$$

$$Mi = Y_{i+1} - Yi \quad \dots(2.10)$$

Dimana:

ti: Waktu kerusakan ke-*i*

M: Nilai perhitungan distribusi Weibull

Mi: Nilai pendekatan Mann untuk data ke-*i*

2.2.9 Estimasi Parameter

Estimasi parameter merupakan proses menentukan nilai parameter statistik yang merepresentasikan karakteristik keandalan suatu komponen, sistem, dan peralatan dengan memberikan informasi mengenai kondisi kerusakan komponen dan nilai model distribusi statistiknya (Gapura Bhagya & Prakarsa, 2020). Berikut merupakan estimasi parameter dari setiap distribusi, antara lain adalah:

2.2.9.1 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial memiliki satu parameter yaitu rate (λ) atau mean ($1/\lambda$).

Rate:

$$\lambda = \frac{n}{\sum_{i=1}^n ti} \quad \dots(2. 11)$$

Keterangan:

λ : Parameter laju dari distribusi eksponensial

n : Jumlah data atau pengamatan.

2.2.9.2 *Distribusi Normal*

Distribusi normal memiliki dua parameter yaitu mean (μ) dan standar deviasi (σ).

Mean:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ti \quad \dots(2. 12)$$

Standar deviasi

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ti - \hat{\mu})^2} \quad \dots(2. 13)$$

Keterangan:

$\hat{\mu}$: Nilai rata-rata (*mean*) dari data.

n : Jumlah total data (banyaknya pengamatan atau sampel).

ti : Nilai individu dari data ke-i

$\hat{\sigma}$: Standar deviasi, mengukur seberapa tersebar data dari nilai mean ($\hat{\mu}$)

2.2.9.3 *Distribusi Lognormal*

Distribusi lognormal memiliki dua parameter yaitu mean logaritmik (μ) dan standar deviasi logaritmik (σ).

Mean logaritmik

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(ti)}{n} \quad \dots(2. 14)$$

Standar deviasi logaritmik

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\ln(ti) - \mu]^2}{n}} \quad \dots(2. 15)$$

Keterangan:

μ : Estimasi mean logaritmik.

n : Jumlah data

t_i : Logaritma dari variabel pada pengamatan ke- i

s : Standar deviasi

2.2.9.4 Distribusi Weibull

Distribusi weibull memiliki dua parameter yaitu β (*shape parameter*) dan α (*scale parameter*).

Shape Parameter

$$\beta = \frac{n \sum_{i=1}^n t_i y_i - (\sum_{i=1}^n t_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - (\sum_{i=1}^n t_i)^2} \quad \dots(2.16)$$

Scale Parameter

$$\alpha = \bar{y} - b\bar{x} \quad \dots(2.17)$$

$$0 = e - \frac{a}{b} \quad \dots(2.18)$$

Keterangan:

n = Jumlah total data.

t_i = Nilai dari variabel independen ke- i .

y_i = Nilai dari variabel dependen ke- i .

a = Konstanta.

$\bar{y}$ = Rata – rata nilai y_i .

$\bar{x}$ = Rata – rata nilai t_i .

b = Koefisien regresi yang menunjukkan hubungan antara t_i dan y_i .

2.2.10 Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time To Failure (MTTF) merupakan parameter statistik dalam analisis keandalan (*reliability analysis*) yang mencerminkan selang waktu kerusakan awal yang telah diperbaiki hingga terjadi kerusakan berikutnya (Prabowo, 2021). Dalam konteks keandalan, MTTF menentukan rata-rata umur suatu komponen, sehingga dapat dilakukan penggantian terjadwal sebelum kegagalan. Terdapat rumus pada masing-masing distribusi pada *Mean Time To Failure*:

1. Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad \dots(2.19)$$

2. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \quad \dots(2.20)$$

3. Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} e^{\frac{s^2}{2}} \quad \dots(2.21)$$

4. Distribusi Weibull

$$MTTF = \theta \Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \quad \dots(2.22)$$

2.2.11 Mean Time To Repair (MTTR)

Mean Time To Repair (MTTR) merupakan parameter dalam analisis keandalan yang menggambarkan waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan atau perawatan suatu sistem atau mesin. MTTR juga menggambarkan rata-rata waktu perbaikan yang digunakan untuk memlaukan perawatan hingga komponen tersebut digunakan dan dihidupkan kembali (Shesfi Nur Hidayah & Endang Pudji Widjajati, 2023). Parameter MTTR berperan penting dalam perhitungan ketersediaan sistem (*availability*) dan menjadi ukuran efektivitas tim pemeliharaan dalam menangani kegagalan atau gangguan secara tepat dan cepat. Berikut merupakan fungsi rumus MTTR dari masing-masing distribusi yang ada:

1. Distribusi Eksponensial

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \quad \dots(2.23)$$

2. Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \quad \dots(2.24)$$

3. Distribusi Lognormal

$$MTTR = t_{med} e^{\frac{s^2}{2}} \quad \dots(2.25)$$

4. Distribusi Weibull

$$MTTR = \theta \Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \quad \dots(2.26)$$

2.2.12 Age Replacement

Age Replacement adalah merupakan strategi perawatan preventif yang menetapkan waktu optimal pergantian komponen berdasarkan umur pakai, dengan mempertimbangkan biaya, resiko kegagalan, dan distribusi keandalan. Strategi ini juga bertujuan untuk memberikan perusahaan ekspektasi biaya perawatan terendah (Fikri & Widjajati, 2020). Strategi ini didasarkan pada pemahaman distribusi waktu kegagalan seperti *Mean Time To Failure* (MTTF) untuk menentukan pada usia berapa sebaiknya komponen diganti agarsuatu mesin atau sistem dapat bekerja secara optimal. Rumus perhitungan dari *Age Replacement* adalah sebagai berikut:

$$D(tp) = \frac{\{TpR(tp) + Tf(1 - R(tp))\}}{\{(tp + Tp)R(tp) + M(tp) + Tf[1 - R(tp)]\}} \quad \dots(2.27)$$

Keterangan:

$D(tp)$: Probabilitas *downtime* pada waktu tp .

Tp : *Mean Time To Repair* (MTTR)

$R(tp)$: Fungsi keandalan pada waktu tp .

Tf : *Mean Time To Failure* (MTTF)

tp : Waktu operasi dari awal sistem mulai beroperasi.

$M(tp)$: Fungsi pemeliharaan pada waktu tp .

2.2.13 Interval Waktu Pemeriksaan

Interval waktu pemeriksaan merupakan suatu pendekatan yang merujuk pada jangka waktu atau frekuensi yang ditentukan untuk melakukan inspeksi terhadap kondisi suatu komponen atau sistem dengan menggunakan data yang dibutuhkan dalam proses mencari interval waktu pemeriksaan seperti data kegagalan komponen, *reliability* suatu sistem, serta strategi yang digunakan oleh perusahaan (*preventive maintenance* dan lain-lain). Adapun rumus yang digunakan dalam menentukan interval waktu pemeriksaan adalah sebagai berikut:

1. Waktu rata – rata perbaikan

$$Tf = \frac{1}{\mu} \quad \dots(2.28)$$

Keterangan:

Tf : Waktu rata-rata perbaikan.

μ : Tingkat kecepatan perbaikan

2. Waktu rata – rata pemeriksaan

$$Ti = \frac{1}{i} \quad \dots(2.29)$$

Keterangan:

T_i : Waktu rata-rata antara dua pemeriksaan.

i : Frekuensi pemeriksaan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Pengumpulan Data

Tahap ini merupakan proses pengumpulan data yang berkaitan dengan permasalahan yang sedang diteliti. Data yang diperoleh memiliki peran yang penting agar penelitian dapat berjalan dengan lancar dan memperoleh hasil yang diharapkan. Berdasarkan sumber pengumpulannya, data penelitian terbagi menjadi dua yaitu :

3.1.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang dikumpulkan secara langsung oleh peneliti yang bertujuan untuk memperoleh informasi secara riil yang akurat mengenai permasalahan yang akan diteliti.

Berikut ini merupakan cara untuk memperoleh data primer :

a. Wawancara

Wawancara merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan melakukan interaksi dengan ahli/*expert* untuk mendapatkan informasi mengenai proses, teknik, dan tantangan yang dihadapi dalam melakukan perawatan mesin. Adapun *expert* merupakan seseorang yang memiliki keahlian ataupun pengetahuan dalam bidang tertentu serta memiliki pengalaman yang luas dan diakui oleh orang lain atau komunitasnya sebagai ahli (Bourne et al., 2014).

b. Observasi

Observasi merupakan proses yang dilakukan dengan mengamati secara langsung proses dan permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan. Observasi juga dilakukan untuk mengetahui kondisi mesin, komponen yang ada dalam mesin tersebut, serta cara yang digunakan dalam melakukan perawatan secara langsung.

3.1.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari sumber atau kajian literatur yang sudah ada atau telah dikumpulkan sebelumnya yang mendukung penelitian ini seperti laporan perawatan (*maintenance*) untuk mendukung proses penelitian. Berikut merupakan data sekunder yang akan diambil untuk penelitian ini :

a. Data mesin

b. Data komponen mesin.

c. Data kerusakan yang terjadi.

- d. Data antar waktu kerusakan serta lama proses perbaikan pada mesin.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Data yang telah didapatkan akan diproses menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* dan *Age Replacement*.

1. *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Metode ini digunakan untuk menentukan langkah-langkah yang akan digunakan serta berfungsi untuk menjaga keandalan dan keselamatan sistem dalam suatu mesin. Berikut merupakan langkah-langkah dalam melakukan analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM) :

a. *Functional Block Diagram* (FBD)

Functional Block Diagram (FBD) berfungsi untuk memvisualisasikan hubungan antar fungsi dalam suatu sistem secara terstruktur sehingga dapat memudahkan analisis terhadap cara kerja mesin yang akan dianalisis.

b. *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA)

Failure Mode Effect and Analysis (FMEA) berfungsi untuk mengidentifikasi dan menganalisis potensi kegagalan dalam suatu sistem, serta menganalisis dampak yang ditimbulkan dari masing-masing kegagalan tersebut.

c. *Logic Tree Analysis* (LTA)

Logic Tree Analysis (LTA) merupakan tahapan yang berfungsi untuk menganalisis penyebab suatu permasalahan dengan cara membuat pemetaan hubungan sebab-akibat dalam bentuk diagram pohon.

d. *Task Selection*

Task Selection merupakan tahapan yang berfungsi untuk memilih aktivitas atau tugas yang efektif dalam rangka mencapai tujuan sistem pemeliharaan. Serta, bertujuan untuk memastikan bahwa setiap tindakan memberikan hasil yang nyata terhadap keandalan dan keoptimalan mesin.

2. Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis dilakukan dalam tahapan ini untuk mengetahui komponen yang memiliki peran vital dalam mesin *centrifugal pump* terhadap keberlangsungan operasi, keselamatan, dan kinerja secara keseluruhan dalam suatu mesin.

3. Penentuan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR)

Penentuan *Time to Failure* (TTF) digunakan untuk melakukan perhitungan dan mengetahui jarak waktu antara kerusakan sebelumnya dan kerusakan berikutnya. Penentuan *Time to*

Repair (TTR) digunakan untuk melakukan perhitungan dan mengetahui jarak waktu antara mesin mengalami kerusakan hingga selesai dilakukan perbaikan.

4. Penentuan Distribusi *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR)

Penentuan distribusi *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) dilakukan untuk mengetahui data waktu antar kerusakan dan data waktu perbaikan. Penentuan ini penting untuk menganalisis keandalan serta efisiensi dalam pemeliharaan suatu sistem. *Time to Failure* menggambarkan waktu suatu komponen atau sistem mengalami kegagalan hingga kegagalan berikutnya. *Time to Repair* (TTR) menggambarkan jangka waktu dimulainya perbaikan hingga selesai. Analisis ini penting untuk dilakukan pada tahapan berikutnya.

5. Uji *Goodnes of Fit*

Uji *Goodnes of Fit* digunakan untuk menguji sejauh mana data yang diperoleh cocok dengan distribusi teoritis yang akan digunakan. Uji ini penting dilakukan dalam analisis keandalan dalam suatu sistem atau mesin.

6. Estimasi Parameter

Estimasi parameter merupakan suatu proses untuk menentukan nilai parameter yang menggambarkan distribusi suatu data berdasarkan sampel yang diperoleh. Tahapan ini dilakukan untuk memperoleh model yang akurat dalam merencanakan pemeliharaan.

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

Mean Time to Failure (MTTF) digunakan untuk mengukur rata-rata waktu yang dibutuhkan pada suatu komponen atau sistem mengalami kegagalan sejak mulai beroperasi. *Mean Time to Repair* (MTTR) digunakan untuk mengukur rata-rata waktu dalam memperbaiki suatu komponen atau sistem yang mengalami kegagalan hingga kondisi operasional kembali normal.

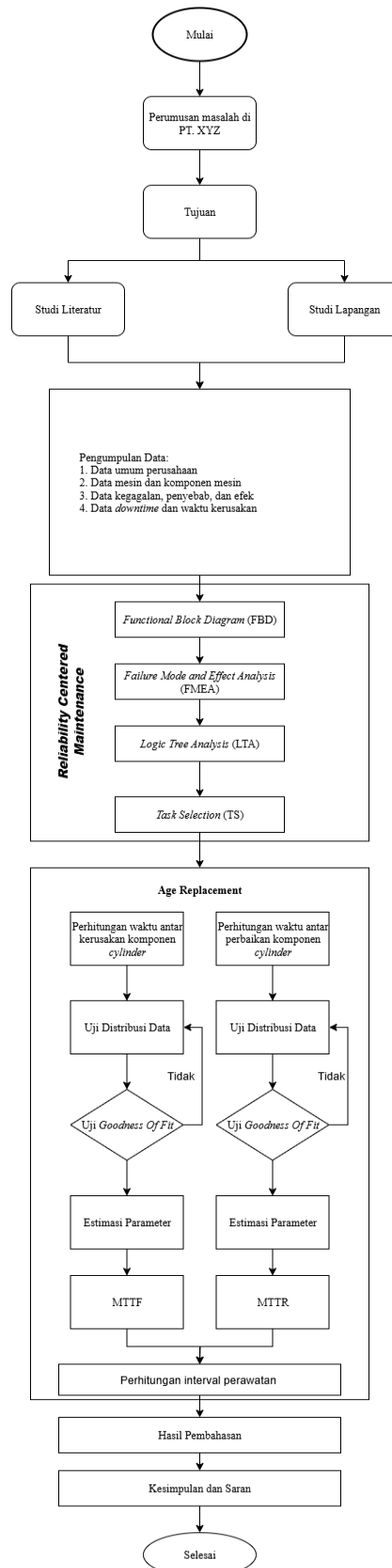
8. *Age Replacement*

Age Replacement berfungsi untuk menganalisis kapan tepatnya mengganti komponen atau sistem pada titik tertentu. Hal ini dilakukan untuk mengurangi resiko kegagalan mendadak dan *downtime* yang tidak terencana.

9. Interval Waktu Pemeriksaan

Interval waktu pemeriksaan dilakukan untuk melakukan pemeriksaan atau pemeliharaan terhadap suatu komponen atau sistem untuk memastikan sistem tetap berjalan dengan kondisi optimal. Hal ini dapat mengurangi *downtime* serta kerusakan yang tidak terencana dalam suatu sistem atau mesin.

3.3 Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

1. Mulai
Titik awal dimulainya penelitian mengenai perawatan mesin di industri migas.
2. Perumusan Masalah
Mengidentifikasi masalah utama terkait pemeliharaan dan keandalan komponen mesin di industri migas
3. Tujuan
Menetapkan tujuan penelitian, seperti menentukan mesin serta komponen kritis, interval waktu yang tepat untuk pemeriksaan serta penggantian komponen kritis.
4. Studi Lapangan
Dilakukan untuk mengumpulkan data langsung dari lapangan terkait kondisi aktual perusahaan, mesin, dan komponen.
5. Studi Literatur
Mengkaji referensi atau teori yang relevan untuk mendukung analisis, seperti teori RCM.
6. Pengumpulan Data
Mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk analisis, dimana data yang dibutuhkan adalah informasi umum, data mesin dan komponennya, data kegagalan, penyebab, dan efek serta data *downtime* dan frekuensi kerusakan.
7. Pengolahan Data dengan RCM
Data yang terkumpul diolah menggunakan pendekatan RCM melalui beberapa langkah berikut:
 - a. *Functional Block Diagram* (FBD): Membuat diagram fungsi untuk memahami hubungan antar setiap komponen.
 - b. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA): Mengidentifikasi potensi mode kegagalan dan dampaknya.
 - c. *Logic Tree Analysis* (LTA): Menganalisis logika kegagalan untuk menentukan penyebab utama.
 - d. *Task Selection* (TS): Memilih tindakan perawatan yang tepat berdasarkan analisis.
8. Perhitungan *Age Replacement*
 - a. Perhitungan antar waktu kerusakan (*time to failure*) untuk menentukan nilai dan durasi yang diperlukan dalam melaksanakan *preventive maintenance task* pada perusahaan.
 - b. Pengujian Distribusi

Pada tahap ini, data yang telah dikumpulkan sebelumnya akan dilakukan pengujian untuk melihat apakah data sudah mengikuti distribusi tertentu. Terdapat 4 distribusi yang digunakan yaitu distribusi eksponensial, normal, *lognormal*, dan *weibull*.

c. Pengujian *Goodness of Fit*

Proses ini dilakukan untuk memverifikasi bahwa distribusi data aktual sesuai dengan asumsi distribusi yang digunakan dalam analisis.

d. Estimasi Parameter

Tahap ini bertujuan untuk menghitung parameter yang mencakup tingkat resiko kegagalan, tingkat keandalan suatu sistem, dan waktu *downtime* mesin tersebut untuk mendukung pengambilan keputusan pada strategi perawatan.

e. Perhitungan MTTF dan MTTR

Tahap ini menghitung nilai rata-rata yang diperlukan sebelum terjadinya suatu kegagalan (*Mean Time To Failure*) dan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan (*Mean Time To Repair*) berdasarkan data yang telah dikumpulkan sebelumnya.

9. Perhitungan Interval Perawatan

Pada tahapan ini, hubungan antar waktu kerusakan pada suatu mesin akan digunakan untuk menentukan interval waktu perawatan untuk mencegah terjadinya kegagalan di masa yang akan datang dan meminimasi *downtime*.

10. Hasil Pembahasan

Memperlihatkan hasil analisis dan olah data yang telah dilakukan sebelumnya , serta memberikan.

11. Kesimpulan dan Saran

Tahapan akhir yang dilakukan untuk menyimpulkan hasil keseluruhan penelitian dan memberikan rekomendasi kepada perusahaan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.

12. Selesai

Tahapan ini menandakan penelitian telah selesai dilakukan

BAB IV

PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Data Waktu Antar Kerusakan Mesin

Berikut merupakan laporan kerusakan mesin:

Tabel 4. 1 Laporan Kerusakan Mesin

No	Nama mesin	Frekuensi	<i>downtime</i> (menit)	% <i>downtime</i>
1	<i>Gas Compressor Clark</i>	78	23111	59%
2	<i>Pump, Water Injection</i>	37	8445	22%
3	<i>Compressor VRU A</i>	6	2676	7%
4	<i>Air Compressor</i>	9	2137	5%
5	<i>Pump, Pit</i>	4	978	3%
6	<i>Pump, Disposal</i>	3	925	2%
7	<i>Compressor VRU B</i>	3	629	2%
8	<i>Pump, Shipping</i>	2	196	1%
Total		142	39097	100%

Dari data yang telah didapatkan, ditemukan bahwa mesin *gas compressor clark* memiliki tingkat frekuensi dan *downtime* tertinggi diantara 8 mesin yang diketahui nilai frekuensi dan *downtime*-nya. Diketahui bahwa data frekuensi kerusakan yang diambil sejak tahun 2021-2024 terdapat frekuensi sebanyak 78 kali laporan kerusakan dengan nilai *downtime* sebesar 23.111 menit. Dengan data di atas, ditentukan bahwa mesin *gas compressor clark* menjadi objek penelitian untuk mengetahui nilai *Mean Time To Failure* dari masing-masing komponen yang ada pada mesin tersebut. Berikut komponen yang terdapat pada mesin *gas compressor clark* beserta waktu *downtime*:

Tabel 4. 2 Laporan Kerusakan Komponen Mesin *Gas Compressor Clark*

Komponen	Mulai	Selesai	downtime (menit)
<i>Cylinder</i>	1/11/22 17:21	1/11/22 19:45	143
	1/19/22 10:36	1/19/22 19:58	562
	1/30/22 9:49	1/30/22 16:09	380
	2/4/22 9:50	2/4/22 16:22	392
	2/7/22 9:24	2/7/22 19:00	576
	4/2/22 14:12	4/2/22 17:41	209
	4/15/22 11:36	4/15/22 14:36	180
	8/31/22 17:47	8/31/22 20:09	142
	10/5/22 7:20	10/5/22 15:10	471
	11/7/22 7:00	11/7/22 16:56	597
	11/10/22 14:12	11/10/22 16:23	131
	1/5/23 11:48	1/5/23 15:52	244
	1/15/23 14:12	1/15/23 17:02	171
	1/20/23 11:48	1/20/23 19:42	474
	2/3/23 14:40	2/3/23 16:36	116
	3/13/23 14:12	3/13/23 15:35	84
	3/19/23 7:00	3/19/23 8:09	70
	3/24/23 7:00	3/24/23 8:20	80
	4/17/23 7:00	4/17/23 14:17	437
	4/24/23 11:41	4/24/23 12:48	67
	5/23/23 11:48	5/23/23 16:01	253
	6/21/23 10:11	6/21/23 16:36	385
	9/25/23 14:12	9/25/23 16:21	130
	10/19/23 8:57	10/19/23 16:28	450
	11/19/23 15:24	11/19/23 16:41	77
	12/30/23 10:49	12/30/23 14:21	211
	1/27/24 9:44	1/27/24 11:44	121
	1/31/24 15:45	1/31/24 16:36	50
	2/17/24 16:36	2/17/24 17:29	54
	3/11/24 7:45	3/11/24 16:36	531

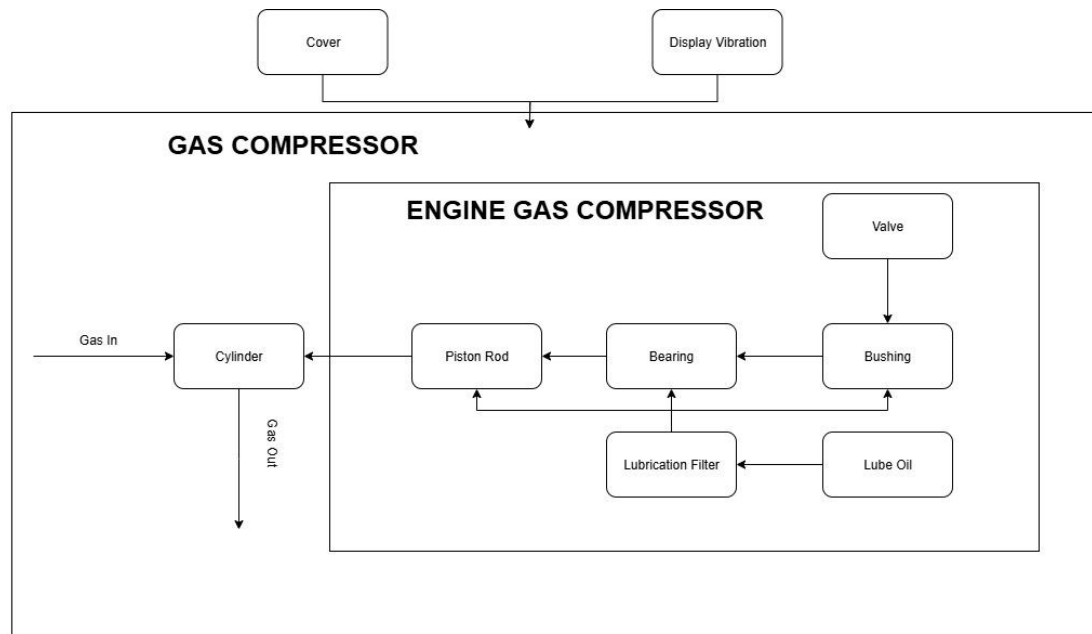
Komponen	Mulai	Selesai	downtime (menit)
<i>Valve</i>	3/26/24 13:26	3/26/24 19:00	334
	4/30/24 14:12	4/30/24 16:21	130
	5/16/24 14:12	5/16/24 16:12	120
	6/11/24 11:48	6/11/24 17:07	320
	6/19/24 7:00	6/19/24 14:41	461
	8/14/24 16:36	8/14/24 17:12	37
	8/20/24 7:00	8/20/24 16:32	572
	9/2/24 7:00	9/2/24 23:59	1020
	12/9/24 11:48	12/9/24 23:59	732
	7/13/22 16:36	7/13/22 18:12	97
	7/29/22 14:12	7/29/22 17:55	224
	11/10/22 9:03	11/10/22 16:00	417
	12/2/22 9:36	12/2/22 16:36	420
	1/26/23 11:48	1/26/23 15:46	239
	3/8/23 14:22	3/8/23 18:01	219
<i>V-belt</i>	4/12/23 9:53	4/12/23 16:36	403
	6/27/23 10:11	6/27/23 16:36	385
	8/24/23 10:33	8/24/23 16:36	363
	9/25/24 11:48	9/25/24 23:59	732
	12/9/24 11:48	12/9/24 23:59	732
<i>Bearing</i>	1/4/22 8:05	1/4/22 11:16	191
	1/19/22 14:57	1/19/22 17:31	154
	1/22/22 8:36	1/22/22 17:54	558
	3/23/22 10:20	3/23/22 16:36	376
	7/25/22 10:13	7/25/22 14:12	239
<i>Bushing</i>	2/10/23 11:48	2/10/23 13:14	86
	2/9/23 7:00	2/9/23 9:50	170
	7/10/23 9:24	7/10/23 15:03	339
	4/14/24 15:11	4/14/24 16:36	85
	7/10/24 11:48	7/10/24 16:37	290
	3/23/22 9:48	3/23/22 17:48	480

Komponen	Mulai	Selesai	downtime (menit)
	3/27/22 9:24	3/27/22 11:06	102
	5/18/22 9:41	5/18/22 16:36	415
	7/6/22 11:48	7/6/22 13:37	109
	7/20/24 16:36	7/20/24 16:55	20
<i>Cartridge</i>	11/23/23 7:00	11/23/23 17:08	608
	11/23/24 7:23	11/23/24 11:25	242
<i>Flex. Hose</i>	11/3/22 11:48	11/3/22 18:57	429
	1/1/23 13:36	1/1/23 16:20	165
	9/25/23 11:48	9/25/23 14:25	158
	12/17/23 11:48	12/17/23 13:38	110
<i>Gasket</i>	3/23/22 7:36	3/23/22 9:35	120
	12/22/22 11:48	12/22/22 13:16	88
<i>Lube Oil</i>	1/20/22 12:27	1/20/22 14:36	129
	6/5/22 10:08	6/5/22 11:21	73
	12/20/23 11:48	12/20/23 16:59	311
	11/25/24 14:12	11/25/24 23:59	588
	11/25/24 11:48	11/25/24 23:59	732

4.2 Pengolahan Data Penentuan Komponen Kritis

4.2.1 *Functional Block Diagram (FBD)*

Functional Block Diagram (FBD) merupakan sebuah diagram yang dibuat untuk menjelaskan bagaimana suatu sistem bekerja secara keseluruhan dan menggambarkan fungsi pada mesin. Berikut ini merupakan FBD dari alur proses gas dan mesin gas *compressor clark*:



Gambar 4. 1 *Functional Block Diagram*

Terdapat *functional block diagram* terkait dengan proses di dalam mesin gas *compressor* tentang bagaimana mesin tersebut bekerja dalam melakukan peningkatan tekanan gas yang masuk ke dalam mesin. Terdapat diagram aliran gas, komponen penggerak utama dalam mesin *compressor*, sistem pelumasan agar mendukung kinerja mesin, dan sistem monitoring. Untuk aliran gas, gas masuk ke dalam komponen *cylinder* untuk meningkatkan tekanan lalu keluar sebagai gas yang memiliki tekanan yang tinggi. Komponen *cylinder* didukung oleh komponen mekanis utama dalam melakukan proses kompresi agar gas dapat memiliki tekanan yang diharapkan. Terdapat komponen piston rod yang berada di dalam komponen *cylinder*. Komponen ini berguna sebagai penggerak utama dalam melakukan kompresi gas. Komponen *bearing* berguna untuk mendukung piston rod agar dapat bergerak dengan gesekan yang minimum dan stabil. Hal ini juga mendukung piston rod agar dapat melakukan kompresi secara maksimal. Komponen *bushing* berguna untuk mendukung poros yang juga membantu mengurangi gesekan selama proses kompresi. Komponen *valve* berguna untuk mengatur aliran gas masuk dan keluar di dalam *cylinder* yang bekerja seperti katup satu arah. Selanjutnya, terdapat sistem pelumasan yang terdapat pada mesin gas *compressor* untuk mendukung kinerja mesin *compressor*. Sistem pelumasan terdapat dua elemen utama yaitu *lube oil* dan *lubrication filter*. Elemen *lube oil* berguna untuk melumasi komponen dan mengurangi gesekan antar komponen yang bergerak. Elemen ini juga berguna untuk mengurangi panas selama proses gesekan terjadi pada mesin. Selanjutnya, terdapat komponen *lubrication filter* yang berguna

untuk menyaring oli pelumas agar tetap bersih dan terhindar dari partikel yang bisa merusak komponen lainnya. Sistem monitoring dalam mesin ini terdapat *display vibration* yang berguna untuk memantau getaran mesin. Komponen ini juga dapat melihat apakah terjadi kerusakan atau ketidakseimbangan pada komponen mesin seperti *bearing*, piston, dan lain-lain. Sedangkan, komponen *cover* berguna untuk melindungi bentuk fisik mesin dari potensi gangguan eksternal dan menampung sensor atau instrumen monitoring lainnya.

4.2.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) merupakan metode analisis yang bertujuan untuk mengidentifikasi kemungkinan terjadinya kegagalan pada suatu sistem, komponen, maupun proses, serta menilai dampaknya terhadap keseluruhan kinerja operasional. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk mengurangi potensi risiko sebelum kegagalan terjadi, dengan cara memprioritaskan jenis kegagalan yang dianggap paling kritis. Prioritas ini didasarkan pada tiga parameter, yaitu tingkat keparahan dampak (*Severity*), frekuensi atau kemungkinan terjadinya kegagalan (*Occurrence*), dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum berdampak lebih jauh (*Detection*). Ketiga aspek tersebut dikombinasikan dalam bentuk perhitungan *Risk Priority Number* (RPN), yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penentuan strategi penanganan, baik yang bersifat korektif maupun preventif. Dalam industri migas, cara ini digunakan untuk menentukan komponen *critical* dalam suatu mesin yang berada pada sistem *gathering station* atau *gas plant* untuk menangani komponen yang memiliki nilai RPN tertinggi atau komponen yang dipilih sebagai aspek penelitian. Berikut merupakan nilai RPN dari masing-masing komponen yang terdapat pada gas *compressor clark*

Tabel 4. 3 *Failure Mode and Effect Analysis*

No	Equipment	Failure Mode	Failure Cause	Effect of Failure	S	O	D	RPN	Total RPN
1	Cylinder	Overheating	Pendinginan tidak optimal	Kerusakan struktural hingga henti operasi	9	4	2	72	162
			Seal aus, retakan	Efisiensi kompresi					
		Kebocoran gas	pada dinding silinder	menurun, memunculkan risiko kebakaran	9	5	2	90	
2	Bearing	Keausan	Pelumasan tidak memadai, usia pakai habis	Peningkatan getaran, noise, dan kerusakan poros	6	5	2	60	90
			Kontaminasi,						
		Macet/Jamming	kesalahan pemasangan	Merusak <i>shaft</i> , shutdown mendadak	5	3	2	30	
3	Valve	Leakage	Valve tidak tertutup rapat	Kompresi tidak maksimal, tekanan yang diinginkan tidak tercapai	5	3	2	30	66

No	Equipment	Failure Mode	Failure Cause	Effect of Failure	S	O	D	RPN	Total RPN
				Aliran gas terganggu (jika <i>stuck close</i> , maka <i>pressure</i> meningkat dan terjadi <i>shutdown</i> . Jika <i>stuck open</i> maka tekanan yang diinginkan tidak tercapai	6	2	3	36	
4	Flexible Hose	Leakage	Usia pakai, suhu ekstrim	Kebocoran fluida	7	5	2	70	70
5	Busi	Tidak menyala	kompresor tidak menyala	Karbon menumpuk, aus	6	3	2	36	78
		Elektroda retak	Tegangan berlebih	Pembakaran tidak stabil	7	3	2	42	
6	Gasket	Bocor	Gasket getas, pemasangan salah	Penurunan tekanan yang telah ditentukan	6	1	2	12	22
		Seal gagal	Seal geser/slip	Torsi mur tidak sesuai	5	1	2	10	
7	Cartridge	Robek/rusak	Partikel yang tidak sesuai masuk ke dalam mesin	Aliran gas terganggu	6	1	3	18	18

No	Equipment	Failure Mode	Failure Cause	Effect of Failure	S	O	D	RPN	Total RPN
8	Bushing	Aus	Poros longgar	Shaft tidak stabil	6	3	3	54	54
9	V-Belt	Slip	Tegangan kurang, aus	Efisiensi proses menurun	6	1	2	12	33
		Putus	Usia pakai, beban berlebih	Kompresor <i>shutdown</i>	7	1	3	21	
10	Crankcase	Retak	Tekanan internal, <i>fatigue</i>	Mesin mengalami kebocoran	7	3	3	63	63
11	VIB (Vibration)	Display rusak	Sensor rusak, <i>wiring</i> putus	Getaran berlebih yang dapat merusak mesin	4	3	2	24	24
12	Filter	Tersumbat	Penggantian/pemb ersihan tidak dilaksanakan secara rutin	<i>Flow</i> menurun dan dapat menyebabkan <i>overheat</i>	6	4	3	72	84

Berdasarkan tabel *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) yang telah dibuat, dapat diberikan penjelasan sebagai berikut:

1. Mesin yang dilakukan penelitian dengan menggunakan metode FMEA merupakan mesin gas *compressor clark*.
2. Komponen yang sering mengalami kerusakan pada mesin berdasarkan data adalah komponen *cylinder*.
3. Mode kegagalan pada komponen *cylinder* diantaranya merupakan *overheating* dan kebocoran gas.

4. Mode kegagalan *overheating* terhadap komponen *cylinder* merupakan kerusakan struktural hingga dapat menyebabkan hentinya operasi. Sedangkan, untuk kebocoran yaitu efisiensi kompresi menurun, tidak dapat melakukan kompresi secara maksimal, hingga meningkatnya resiko kebakaran atau ledakan.
5. Mode kegagalan *overheating* terhadap komponen *cylinder* disebabkan oleh pendinginan di dalam sistem mesin gas *compressor* tidak optimal sehingga memunculkan panas di atas normal. Sedangkan, untuk mode kegagalan kebocoran gas disebabkan oleh *seal* yang aus dan retakan pada dinding *cylinder*.
6. Tingkat *severity* pada komponen *cylinder* mendapatkan angka 9 untuk mode kegagalan *overheating* pada komponen *cylinder*, 9 untuk mode kegagalan kebocoran gas pada komponen *cylinder*.
7. Tingkat *occurance* dari komponen *cylinder* masing-masing mendapatkan angka 4 untuk mode kegagalan *overheating* pada komponen *cylinder*, angka 5 untuk mode kegagalan kebocoran gas pada komponen *cylinder*.
8. Tingkat *detection* dari komponen *cylinder*, *bearing*, dan *valve*, masing-masing mendapatkan angka 2 untuk mode kegagalan *overheating* pada komponen *cylinder*, 2 untuk mode kegagalan kebocoran gas pada komponen *cylinder*.
9. Dari hasil analisis FMEA pada komponen *cylinder*, didapatkan hasil RPN sebesar 162 yang artinya komponen ini menjadi prioritas utama dalam melakukan perbaikan.

4.2.3 Logic Tree Analysis (LTA)

Logic Tree Analysis merupakan suatu metode analisis yang memanfaatkan struktur diagram bercabang atau pohon logika untuk menggambarkan hubungan antara suatu peristiwa utama dengan berbagai kemungkinan penyebab yang mendasarinya secara sistematis dan logis. Berikut merupakan tabel *logic tree analysis* komponen mesin gas *compressor clark*:

Tabel 4. 4 *Logic Tree Analysis*

<i>No</i>	<i>Equipment</i>	<i>Function</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Cause</i>	<i>Critical Analysis</i>			<i>Category</i>
					<i>Evident</i>	<i>Safety</i>	<i>Outage</i>	
1	<i>Cylinder</i>	Ruang kompresi gas	Overheating	Pendinginan tidak optimal	Y	N	Y	B
			Kebocoran gas	<i>Seal</i> aus, retakan pada dinding silinder	Y	Y	Y	A
2	<i>Bearing</i>	Pendukung poros berputar	Keausan	Pelumasan tidak memadai, usia pakai habis	Y	N	Y	B
			Macet/ <i>Jamming</i>	Kontaminasi, kesalahan pemasangan	Y	Y	Y	A
3	<i>Valve</i>	Pengatur aliran masuk/keluar gas	<i>Leakage</i>	<i>Valve</i> tidak tertutup rapat	Y	N	Y	B
			<i>Stuck</i>	Endapan, korosi internal	Y	N	Y	B
4	<i>Flexible Hose</i>	Penghubung aliran fluida	Retak	Usia pakai, suhu ekstrim	Y	Y	Y	A
5	Busi	Penghasil percikan api	Tidak menyala	kompresor tidak menyala	Y	N	Y	B
			Elektroda retak	Tegangan berlebih	Y	N	Y	B
6	<i>Gasket</i>	Penyegel sambungan	Bocor	Gasket getas, pemasangan salah	Y	N	N	C
		statis	<i>Seal</i> gagal	<i>Seal</i> geser/slip	Y	N	N	C

<i>No</i>	<i>Equipment</i>	<i>Function</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Cause</i>	<i>Critical Analysis</i>			<i>Category</i>
					<i>Evident</i>	<i>Safety</i>	<i>Outage</i>	
7	<i>Cartridge</i>	Penyaring kotoran dalam fluida	Robek/rusak	Partikel yang tidak sesuai masuk ke dalam mesin	Y	N	Y	B
8	<i>Bushing</i>	Bantalan peredam gesekan	Aus	Poros longgar	Y	N	Y	B
9	<i>V-belt</i>	Pemindah daya rotasi	Slip	Tegangan kurang, aus	Y	N	Y	B
			Putus	Usia pakai, beban berlebih	Y	N	Y	B
10	<i>Crankcase</i>	Penampung pelumas & rangka mesin	Retak	Tekanan internal, <i>fatigue</i>	Y	Y	Y	A
11	<i>Vibration Sensor</i>	Pemantau getaran	Display tidak menyala	Sensor rusak, <i>wiring</i> putus	Y	Y	Y	A
12	<i>Filter</i>	Menyaring kontaminan	Tersumbat	Penggantian/pembersihan tidak dilaksanakan secara rutin	Y	N	Y	B

Dari tabel di atas, berikut merupakan contoh *logic tree analysis* terkait dengan komponen *cylinder*:

1. *Evident*, yaitu apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi pada sistem? (YES)

2. *Safety*, yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan? (**YES**)
3. *Outage*, yaitu apakah mode kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin berhenti? (**YES**)

Dari penilaian tabel *logic tree analysis* terkait dengan komponen *cylinder*, maka dapat disimpulkan bahwa kategori kegagalan bersifat A (*safety problem*) mengikuti logika analisa yang ada pada *logic tree analysis*. Artinya, kegagalan akibat komponen *cylinder* memasuki kriteria kegagalan A yang berdampak pada keselamatan bekerja.

4.2.4 Task Selection (TS)

Task Selection merupakan proses pemilihan tindakan pemeliharaan yang sesuai berdasarkan analisis terhadap kegagalan peralatan, dengan tujuan untuk menjaga keandalan dan meningkatkan efisiensi operasional sistem. Berikut merupakan tabel *task selection* komponen yang terdapat pada mesin *gas compressor clark*:

Tabel 4. 5 *Task Selection*

No	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Cause	Critical Analysis							Selection
					1	2	3	4	5	6	7	Task
1	Cylinder	Ruang kompresi gas	Overheating	Pendinginan tidak optimal	N	-	Y	Y	Y	Y	-	CD
			Kebocoran seal	Seal aus, retakan pada dinding silinder	N	-	Y	Y	Y	Y	-	CD
2	Bearing	Pendukung poros berputar	Keausan	Pelumasan tidak memadai, usia pakai habis	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD

No	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Cause	Critical Analysis							Selection Task
					1	2	3	4	5	6	7	
3	Valve	Pengatur aliran masuk/keluar gas	Macet/ <i>Jamming</i>	Kontaminasi, kesalahan pemasangan	N	-	Y	Y	Y	Y	-	CD
			<i>Leakage</i> internal (passing)	<i>Valve</i> tidak tertutup rapat	N	-	Y	Y	Y	Y	-	CD
			<i>Stuck</i>	Endapan, korosi internal	N	-	Y	Y	Y	Y	-	CD
4	<i>Flexible Hose</i>	Penghubung aliran fluida	Retak	Usia pakai, suhu ekstrim	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD
5	Busi	Penghasil percikan api	Tidak menyala	kompresor tidak menyala	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD
			Elektroda retak	Tegangan berlebih	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD
6	Gasket	Penyegel sambungan statis	Bocor	Gasket getas, pemasangan salah	N	-	Y	Y	Y	Y	-	CD
			<i>Seal</i> gagal	<i>Seal</i> geser/slip	N	-	Y	Y	Y	Y	-	CD
7	<i>Cartridge</i>	Penyaring kotoran dalam oli mesin	Robek/rusak	Partikel yang tidak sesuai masuk ke dalam mesin	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD

No	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Cause	Critical Analysis							Selection Task
					1	2	3	4	5	6	7	
8	Bushing	Bantalan bearing dan poros dari shaft	Aus	Kurang pelumasan	N	-	Y	Y	Y	Y	-	CD
9	V-belt	Pemindah daya rotasi	Slip	Tegangan kurang, aus	N	-	Y	Y	Y	Y	-	CD
			Putus	Usia pakai, beban berlebih	N	-	Y	Y	Y	Y	-	CD
10	Crankcase	Penampung pelumas & rangka mesin	Retak	Tekanan internal berlebih dari design, <i>fatigue</i>	N	-	Y	Y	Y	Y	-	CD
11	Vibration Sensor	Pemantau vibrasi pada engine	Sensor tidak bekerja sebagai alat pengaman	Sensor rusak, <i>wiring</i> putus	N	-	Y	Y	Y	Y	-	FF
12	Filter	Menyaring kontaminan	Tersumbat	Penggantian/pembersihan tidak dilaksanakan secara rutin	N	-	Y	Y	Y	Y	-	CD

Berikut merupakan pertanyaan terkait dengan tabel *task selection* pada salah satu mode kegagalan pada komponen *cylinder*, yaitu *overheating*:

1. Apakah umur kehandalan untuk kerusakan ini diketahui? (NO)

2. Apakah tindakan TD dapat digunakan? (**NO**)
3. Apakah tindakan CD dapat digunakan? (**YES**)
4. Apakah kategori termasuk dalam mode kegagalan? (**YES**)
5. Apakah tindakan FF dapat digunakan? (**YES**)
6. Apakah diantara tindakan yang dipilih efektif? (**YES**)
7. Dapatkah sebuah desain modifikasi dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya?

Selection task : Condition-Direct (CD)

4.3 Pengolahan Data Penentuan Interval Pemeriksaan dan Penggantian

4.3.1 Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis memiliki tujuan untuk mengidentifikasi komponen yang memiliki dampak terbesar terhadap *downtime* dalam proses. Berikut adalah data mengenai penentuan komponen kritis berdasarkan frekuensi kerusakan dan *downtime*:

Tabel 4. 6 *Downtime* Komponen

No	Komponen	<i>downtime</i> (menit)	% <i>downtime</i>	<i>Downtime</i> kum.
1	<i>Cylinder</i>	11514	52%	52%
2	<i>valve</i>	2766	12%	64%
3	<i>bearing</i>	2489	11%	75%
4	<i>lube oil</i>	1833	8%	84%
6	<i>v-belt</i>	1464	7%	90%
7	<i>bushing</i>	1126	5%	95%
8	<i>flex. Hose</i>	862	4%	99%
9	<i>gasket</i>	208	1%	100%
Total		22261	100%	

4.3.2 Penentuan Distribusi *Time to Failure*

Setelah mengetahui komponen kritis pada mesin *gas compressor clark*, tahap selanjutnya adalah menentukan jarak antar kerusakan pada komponen *cylinder* dan menentukan distribusi antar waktu kerusakan berdasarkan nilai *Index of Fit* dengan perhitungan distribusi eksponensial, normal, *lognormal*, dan *weibull*:

Tabel 4. 7 *Time to Failure* Komponen *Cylinder*

No	Mulai	Selesai	ti	ti urut
1	1/11/22 17:21	1/11/22 19:45	0	0
2	1/19/22 10:36	1/19/22 19:58	10971	3902
3	1/30/22 9:49	1/30/22 16:09	15231	4155
4	2/4/22 9:50	2/4/22 16:22	6821	6001
5	2/7/22 9:24	2/7/22 19:00	3902	6821
6	4/2/22 14:12	4/2/22 17:41	77472	6885
7	4/15/22 11:36	4/15/22 14:36	18355	7130

No	Mulai	Selesai	ti	tiurut
8	8/31/22 17:47	8/31/22 20:09	198911	8027
9	10/5/22 7:20	10/5/22 15:10	49631	8124
10	11/7/22 7:00	11/7/22 16:56	47029	9924
11	11/10/22 14:12	11/10/22 16:23	4155	10912
12	1/5/23 11:48	1/5/23 15:52	80365	10971
13	1/15/23 14:12	1/15/23 17:02	14300	14300
14	1/20/23 11:48	1/20/23 19:42	6885	15231
15	2/3/23 14:40	2/3/23 16:36	19858	18148
16	3/13/23 14:12	3/13/23 15:35	54576	18355
17	3/19/23 7:00	3/19/23 8:09	8124	19858
18	3/24/23 7:00	3/24/23 8:20	7130	21410
19	4/17/23 7:00	4/17/23 14:17	34480	22910
20	4/24/23 11:41	4/24/23 12:48	9924	24480
21	5/23/23 11:48	5/23/23 16:01	41700	32535
22	6/21/23 10:11	6/21/23 16:36	41410	34116
23	9/25/23 14:12	9/25/23 16:21	138096	34480
24	10/19/23 8:57	10/19/23 16:28	34116	37176
25	11/19/23 15:24	11/19/23 16:41	44576	40043
26	12/30/23 10:49	12/30/23 14:21	58689	41410
27	1/27/24 9:44	1/27/24 11:44	40043	41700
28	1/31/24 15:45	1/31/24 16:36	6001	44576
29	2/17/24 16:36	2/17/24 17:29	24480	47029
30	3/11/24 7:45	3/11/24 16:36	32535	49631
31	3/26/24 13:26	3/26/24 19:00	21410	50112
32	4/30/24 14:12	4/30/24 16:21	50112	54576
33	5/16/24 14:12	5/16/24 16:12	22910	58689
34	6/11/24 11:48	6/11/24 17:07	37176	77472
35	6/19/24 7:00	6/19/24 14:41	10912	80365
36	8/14/24 16:36	8/14/24 17:12	80755	80755
37	8/20/24 7:00	8/20/24 16:32	8027	138096
38	9/2/24 7:00	9/2/24 23:59	18148	140388

No	Mulai	Selesai	ti	ti urut
39	12/9/24 11:48	12/9/24 23:59	140388	198911

Berikut ini merupakan perhitungan distribusi dalam menentukan nilai *index of fit* terbesar dari distribusi eksponensial, *normal*, *lognormal*, dan *weibull*:

1. Distribusi Eksponensial

Berikut ini merupakan perhitungan distribusi eksponensial:

$$X_i = T_i$$

$$= 3902$$

$$x_i^2 = 3902^2$$

$$= 15225604$$

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

$$= \frac{(1-0,3)}{(38+0,4)} = 0,02991453$$

$$Y_i = \ln \left[\left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \right]$$

$$= \ln \left[\left(\frac{1}{1-0,018229167} \right) \right] = 0,018397$$

$$Y_i^2 = 0,018397^2 = 0,000338$$

$$x_i y_i = 3902 * 0,018397$$

$$= 71,78651878$$

Berikut ini merupakan perhitungan nilai r pada distribusi eksponensial:

$$\begin{aligned}
 r \text{ (Index of Fit)} &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 \right]}} \\
 &= \frac{(38 * (71,78651878)) - ((3902 * 0,018397))}{\sqrt{((38 * 15225604) - (3902)^2) * ((38 * 0,000338) - (0,018397)^2)}} \\
 &= 0.979863863
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 8 Distribusi Eksponensial *Time to Failure*

Eksponensial							
No	ti	xi=ti	xi2	f(ti)	yi	yi2	xiyi
1	3902	3902	15225604	0.01822916 7	0.01839 7	0.00033 8	71.78651878
2	4155	4155	17264441	0.04427083 3	0.04528 1	0.00205	188.1435914

Eksponensial							
No	ti	xi=ti	xi2	f(ti)	yi	yi2	xiyi
3	6001	6001	36011801	0.0703125	0.07290 7	0.00531 5	437.5123165
4	6821	6821	46526041	0.09635416 7	0.10131 8	0.01026 5	691.0885272
5	6885	6885	47403684	0.12239583 3	0.13056	0.01704 6	898.9073511
6	7130	7130	50841653	0.1484375	0.16068 2	0.02581 9	1145.718942
7	8027	8027	64434334	0.17447916 7	0.19174 1	0.03676 5	1539.122405
8	8124	8124	66002084	0.20052083 3	0.22379 5	0.05008 4	1818.146295
9	9924	9924	98478499	0.2265625	0.25691	0.06600 3	2549.484746
10	10912	10912	119079019	0.25260416 7	0.29116	0.08477 4	3177.238649
11	10971	10971	120362841	0.27864583 3	0.32662 5	0.10668 4	3583.403384
12	14300	14300	204481897	0.3046875	0.36339 4	0.13205 5	5196.429725
13	15231	15231	231983361	0.33072916 7	0.40156 6	0.16125 6	6116.258869
14	18148	18148	329349904	0.35677083 3	0.44125 4	0.19470 5	8007.881511
15	18355	18355	336906025	0.3828125	0.48258 2	0.23288 6	8857.800162
16	19858	19858	394340164	0.40885416 7	0.52569 3	0.27635 3	10439.20236
17	21410	21410	458388100	0.43489583 3	0.57074 5	0.32575	12219.65471
18	22910	22910	524888719	0.4609375	0.61792 4	0.38183	14156.91139
19	24480	24480	599270400	0.48697916 7	0.66743 9	0.44547 5	16338.90241
20	32535	32535	1058552253	0.51302083 3	0.71953 4	0.51772 9	23410.32441
21	34116	34116	1163923063	0.5390625	0.77449 3	0.59983 9	26422.8423
22	34480	34480	1188843965	0.56510416 7	0.83264 9	0.69330 4	28709.40938
23	37176	37176	1382040106	0.59114583 3	0.89439 7	0.79994 6	33249.9146
24	40043	40043	1603441849	0.6171875	0.96021	0.92200 3	38449.68766
25	41410	41410	1714788100	0.64322916 7	1.03066 2	1.06226 3	42679.69796
26	41700	41700	1738890000	0.66927083 3	1.10645 5	1.22424 4	46139.19294
27	44576	44576	1987012347	0.6953125	1.18846 9	1.41245 8	52977.07807

Eksponensial							
No	ti	xi=ti	xi2	f(ti)	yi	yi2	xiyi
28	47029	47029	2211734679	0.72135416 7	1.27781 4	1.63280 8	60094.40783
29	49631	49631	2463242778	0.74739583 3	1.37593 2	1.89318 8	68288.95168
30	50112	50112	2511212544	0.7734375	1.48473 4	2.20443 6	74403.01195
31	54576	54576	2978539776	0.79947916 7	1.60683 7	2.58192 6	87694.74325
32	58689	58689	3444355683	0.82552083 3	1.74595	3.04834 1	102467.4154
33	77472	77472	6001910784	0.8515625	1.90759 1	3.63890 5	147784.912
34	80365	80365	6458506437	0.87760416 7	2.10049 5	4.41207 9	168805.9266
35	80755	80755	6521337723	0.90364583 3	2.33972 5	5.47431 1	188943.9954
36	138096	138096	19070505216	0.9296875	2.65480 6	7.04799 3	366618.0461
37	140388	140388	19708795224	0.95572916 7	3.11742 9	9.71836 5	437649.7037
38	198911	198911	39565638964	0.98177083 3	4.00473 2	16.0378 8	796585.8611
Total	151960 4	151960 4	12653451006 1	19	37.0129	67.4775	2888808.716 2
IOF=R =				0.979863863			

2. Distribusi Normal

Berikut ini merupakan perhitungan distribusi normal:

$$Xi = Ti$$

$$= 3902$$

$$x_i^2 = 3902^2$$

$$= 15225604$$

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

$$= \frac{(1-0,3)}{(38+0,4)} = 0,018229$$

$$Y_i = zi = \phi^{-1}[F(ti)]$$

$$= zi = \phi^{-1}[F(0,018229)] = -2,09178$$

$$Y_i^2 = -2,09178^2 = 4,375537347$$

$$x_i y_i = 3902 * (-2,09178)$$

$$= -8162,12$$

Berikut ini merupakan perhitungan nilai r pada distribusi normal:

$$\begin{aligned}
 r \text{ (Index of Fit)} &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \\
 &= \frac{(38 * (-8162,12)) - ((3902 * (-2,09178)))}{\sqrt{((38 * 15225604) - (3902)^2) * ((38 * 4,375537347) - (-2,09178)^2)}} \\
 &= 0.864040919
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 9 Distribusi *Normal Time to Failure*

Normal							
No	ti	xi=ti	xi2	f(ti)	yi	yi2	xiyi
1	3902	3902	15225604	0.018229	-2.09178	4.375537347	-8162.12
2	4155	4155	17264441	0.044271	-1.70314	2.900689595	-7076.64
3	6001	6001	36011801	0.070313	-1.47347	2.171106703	-8842.25
4	6821	6821	46526041	0.096354	-1.30261	1.696789827	-8885.09
5	6885	6885	47403684	0.122396	-1.16309	1.35278593	-8007.94
6	7130	7130	50841653	0.148438	-1.04316	1.088179162	-7438.07
7	8027	8027	64434334	0.174479	-0.93661	0.87724147	-7518.28
8	8124	8124	66002084	0.200521	-0.83976	0.705200746	-6822.37
9	9924	9924	98478499	0.226563	-0.75022	0.56282311	-7444.86
10	10912	10912	119079019	0.252604	-0.66632	0.443978696	-7271.08
11	10971	10971	120362841	0.278646	-0.58687	0.344415266	-6438.54
12	14300	14300	204481897	0.304688	-0.51097	0.261086056	-7306.67
13	15231	15231	231983361	0.330729	-0.4379	0.191756944	-6669.66
14	18148	18148	329349904	0.356771	-0.3671	0.134765127	-6662.2
15	18355	18355	336906025	0.382813	-0.2981	0.088865049	-5471.67
16	19858	19858	394340164	0.408854	-0.23049	0.053127242	-4577.14
17	21410	21410	458388100	0.434896	-0.16392	0.026870789	-3509.59
18	22910	22910	524888719	0.460938	-0.09807	0.009618147	-2246.88
19	24480	24480	599270400	0.486979	-0.03264	0.001065643	-799.13
20	32535	32535	1058552253	0.513021	0.032644	0.001065643	1062.092
21	34116	34116	1163923063	0.539063	0.098072	0.009618147	3345.861
22	34480	34480	1188843965	0.565104	0.163923	0.026870789	5652.006
23	37176	37176	1382040106	0.591146	0.230493	0.053127242	8568.779
24	40043	40043	1603441849	0.617188	0.298102	0.088865049	11936.91
25	41410	41410	1714788100	0.643229	0.367104	0.134765127	15201.76
26	41700	41700	1738890000	0.669271	0.437901	0.191756944	18260.46
27	44576	44576	1987012347	0.695313	0.510966	0.261086056	22776.77
28	47029	47029	2211734679	0.721354	0.586869	0.344415266	27599.91
29	49631	49631	2463242778	0.747396	0.666317	0.443978696	33070.04
30	50112	50112	2511212544	0.773438	0.750215	0.56282311	37594.79
31	54576	54576	2978539776	0.799479	0.839762	0.705200746	45830.87

Normal							
No	ti	xi=ti	xi2	f(ti)	yi	yi2	xiyi
32	58689	58689	3444355683	0.825521	0.936612	0.87724147	54968.46
33	77472	77472	6001910784	0.851563	1.043158	1.088179162	80815.56
34	80365	80365	6458506437	0.877604	1.163093	1.35278593	93471.8
35	80755	80755	6521337723	0.903646	1.302609	1.696789827	105191.9
36	138096	138096	19070505216	0.929688	1.473468	2.171106703	203480
37	140388	140388	19708795224	0.955729	1.703141	2.900689595	239100.6
38	198911	198911	39565638964	0.981771	2.091779	4.375537347	416078
Total	1519604	1519604	126534510061	19	0	34.5718057	1302856
IOF=R=				0.864040919			

3. Distribusi Lognormal:

Berikut merupakan perhitungan distribusi lognormal:

$$X_i = \ln T_i$$

$$= \ln (3902) = 8,269244521$$

$$x_i^2 = 8,269244521^2$$

$$= 68,38040495$$

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

$$= \frac{(1-0,3)}{(38+0,4)} = 0,018229$$

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

$$= z_i = \phi^{-1}[F(0,018229)] = -2,09178$$

$$Y_i^2 = -2,09178^2 = 4,375537347$$

$$x_i y_i = 8,269244521 * (-2,09178)$$

$$= -17,2974$$

Berikut ini merupakan perhitungan nilai r pada distribusi lognormal:

$$r \text{ (Index of Fit)} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$= \frac{(38 * (-17,2974)) - ((8,269244521 * (-2,09178)))}{\sqrt{((38 * 68,38040495) - (8,269244521)^2) * ((38 * 4,375537347) - (-2,09178)^2)}}$$

$$= 0.991566675$$

Tabel 4. 10 Distribusi Lognormal Time to Failure

No	ti	LogNormal			yi	yi2	xiyi
		xi=ln ti	xi2	f(ti)			
1	3902	8.26924452 1	68.3804049 5	0.01822 9	-2.09178	4.37553734 7	-17.2974
2	4155	8.33207974 1	69.4235528 1	0.04427 1	-1.70314	2.90068959 5	-14.1907
3	6001	8.69967862 4	75.6844081 6	0.07031 3	-1.47347	2.17110670 3	-12.8187
4	6821	8.82776136 8	77.9293707 6	0.09635 4	-1.30261	1.69678982 7	-11.4991
5	6885	8.83710525 3	78.0944292 5	0.12239 6	-1.16309	1.35278593	-10.2784
6	7130	8.87211326 3	78.7143937 5	0.14843 8	-1.04316	1.08817916 2	-9.25502
7	8027	8.99057859 6	80.8305034 9	0.17447 9	-0.93661	0.87724147	-8.42068
8	8124	9.00259843 8	81.0467786 3	0.20052 1	-0.83976	0.70520074 6	-7.56004
9	9924	9.20267439 7	84.6892160 5	0.22656 3	-0.75022	0.56282311	-6.90399
10	10912	9.29764892 7	86.4462755 7	0.25260 4	-0.66632	0.44397869 6	-6.19518
11	10971	9.30301070 7	86.5460082 1	0.27864 6	-0.58687	0.34441526 6	-5.45965
12	14300	9.56799500 3	91.5465283 7	0.30468 8	-0.51097	0.26108605 6	-4.88892
13	15231	9.63108810 4	92.7578580 6	0.33072 9	-0.4379	0.19175694 4	-4.21746
14	18148	9.80631564 1	96.1638264 5	0.35677 1	-0.3671	0.13476512 7	-3.59993
15	18355	9.81765729 6	96.3863947 8	0.38281 3	-0.2981	0.08886504 9	-2.92667
16	19858	9.89636222 8	97.9379853 4	0.40885 4	-0.23049	0.05312724 2	-2.28105
17	21410	9.97161338 2	99.4330734 3	0.43489 6	-0.16392	0.02687078 9	-1.63458
18	22910	10.0393484 2	100.788516 6	0.46093 8	-0.09807	0.00961814 7	-0.98458
19	24480	10.1056117 4	102.123388 6	0.48697 9	-0.03264	0.00106564 3	-0.32989
20	32535	10.3900840 1	107.953845 7	0.51302 1	0.03264 4	0.00106564 3	0.33917 6
21	34116	10.4375310 4	108.942054 3	0.53906 3	0.09807 2	0.00961814 7	1.02363 1
22	34480	10.4481236 1	109.163286 9	0.56510 4	0.16392 3	0.02687078 9	1.71268 9
23	37176	10.5234132 9	110.742227 3	0.59114 6	0.23049 3	0.05312724 2	2.42557 8
24	40043	10.5977091 6	112.311439 3	0.61718 8	0.29810 2	0.08886504 9	3.15920 3
25	41410	10.6312776 8	113.024065	0.64322 9	0.36710 4	0.13476512 7	3.90278 1

No	ti	LogNormal					
		xi=ln ti	xi2	f(ti)	yi	yi2	xiyi
26	41700	10.6382564	113.172499	0.66927	0.43790	0.19175694	4.65849
		1	4	1	1	4	9
27	44576	10.7049490	114.595933	0.69531	0.51096	0.26108605	5.46986
		1	2	3	6	6	3
28	47029	10.7585214	115.745784	0.72135	0.58686	0.34441526	6.31384
		8	5	4	9	6	3
29	49631	10.8123722	116.907393	0.74739	0.66631	0.44397869	7.20447
		6	9	6	7	6	
30	50112	10.8220157	117.116025	0.77343	0.75021	0.56282311	8.11884
		8	5	8	5		3
31	54576	10.9073495	118.970273	0.79947	0.83976	0.70520074	9.15958
			2	9	2	6	1
32	58689	10.9800013	120.560429	0.82552	0.93661	0.87724147	10.284
		5	6	1	2		
33	77472	11.2576718	126.735175	0.85156	1.04315	1.08817916	11.7435
		6	7	3	8	2	3
34	80365	11.2943319	127.561934	0.87760	1.16309	1.35278593	13.1363
		6	5	4	3		6
35	80755	11.2991726	127.671303	0.90364	1.30260	1.69678982	14.7184
		8	3	6	9	7	
36	138096	11.8357043	140.083898	0.92968	1.47346	2.17110670	17.4395
		7		8	8	3	3
37	140388	11.8521654	140.473825	0.95572	1.70314	2.90068959	20.1859
		2		9	1	5	1
38	198911	12.2006134	148.854968	0.98177	2.09177	4.37553734	25.5209
		4	3	1	9	7	8
Total	151960						
	4	384.862	3935.509	19	0	34.5718	35.7749
IOF=R							
=		0.991566675					

4. Distribusi Weibull:

Berikut merupakan perhitungan distribusi *weibull*:

$$Xi = \ln Ti$$

$$= \ln (3902) = 8,269245$$

$$x_i^2 = 8,269245^2$$

$$= 68,3804$$

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

$$= \frac{(1-0,3)}{(38+0,4)} = 0,018229$$

$$Y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(ti)} \right) \right]$$

$$= \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-0,018229} \right) \right] = -3,99554782$$

$$Y_i^2 = -3,99554782^2 = 15,96440241$$

$$x_i y_i = 8,269245 * (-3,99554782) \\ = -33,0402$$

Berikut ini merupakan perhitungan nilai r pada distribusi *weibull*:

$$r \text{ (Index of Fit)} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \\ = \frac{(38 * (-33,0402)) - ((8,269245 * (-3,99554782)))}{\sqrt{((38 * 68,3804) - (8,269245)^2) * ((38 * 15,96440241) - (-3,99554782)^2)}} \\ = 0.967436882$$

Tabel 4. 11 Distribusi *Weibull Time to Failure*

No	ti	Weibull					
		xi=ln ti	xi2	f(ti)	yi	yi2	xiyi
1	3902	8.269245	68.3804	0.018229	-3.99554782	15.96440241	-33.0402
2	4155	8.33208	69.42355	0.044271	-3.09487429	9.578246844	-25.7867
3	6001	8.699679	75.68441	0.070313	-2.61857377	6.856928569	-22.7808
4	6821	8.827761	77.92937	0.096354	-2.28949344	5.2417802	-20.2111
5	6885	8.837105	78.09443	0.122396	-2.03592528	4.144991751	-17.9917
6	7130	8.872113	78.71439	0.148438	-1.82832565	3.342774672	-16.2211
7	8027	8.990579	80.8305	0.174479	-1.65161093	2.727818664	-14.8489
8	8124	9.002598	81.04678	0.200521	-1.4970257	2.241085935	-13.4771
9	9924	9.202674	84.68922	0.226563	-1.35902784	1.846956668	-12.5067
10	10912	9.297649	86.44628	0.252604	-1.23388118	1.522462761	-11.4722
11	10971	9.303011	86.54601	0.278646	-1.11894241	1.252032124	-10.4095
12	14300	9.567995	91.54653	0.304688	-1.01226793	1.024686352	-9.68537
13	15231	9.631088	92.75786	0.330729	-0.91238221	0.832441299	-8.78723
14	18148	9.806316	96.16383	0.356771	-0.81813412	0.669343432	-8.02288
15	18355	9.817657	96.38639	0.382813	-0.72860357	0.530863165	-7.15318
16	19858	9.896362	97.93799	0.408854	-0.64303877	0.413498861	-6.36374
17	21410	9.971613	99.43307	0.434896	-0.56081241	0.314510554	-5.5922
18	22910	10.03935	100.7885	0.460938	-0.4813902	0.231736521	-4.83284
19	24480	10.10561	102.1234	0.486979	-0.40430754	0.163464589	-4.08578
20	32535	10.39008	107.9538	0.513021	-0.32915159	0.108340768	-3.41991
21	34116	10.43753	108.9421	0.539063	-0.25554689	0.065304213	-2.66728
22	34480	10.44812	109.1633	0.565104	-0.18314341	0.033541507	-1.9135
23	37176	10.52341	110.7422	0.591146	-0.11160581	0.012455858	-1.17447
24	40043	10.59771	112.3114	0.617188	-0.0406033	0.001648628	-0.4303
25	41410	10.63128	113.0241	0.643229	0.030200952	0.000912098	0.321075
26	41700	10.63826	113.1725	0.669271	0.101161632	0.010233676	1.076183
27	44576	10.70495	114.5959	0.695313	0.172665603	0.02981341	1.848376
28	47029	10.75852	115.7458	0.721354	0.245150585	0.060098809	2.637458

No	ti	xi=ln ti	xi2	Weibull			
				f(ti)	yi	yi2	xiyi
29	49631	10.81237	116.9074	0.747396	0.31913101	0.101844602	3.450563
30	50112	10.82202	117.116	0.773438	0.395235924	0.156211436	4.277249
31	54576	10.90735	118.9703	0.799479	0.474267732	0.224929881	5.173004
32	58689	10.98	120.5604	0.825521	0.557298782	0.310581932	6.119141
33	77472	11.25767	126.7352	0.851563	0.645841339	0.417111035	7.27067
34	80365	11.29433	127.5619	0.877604	0.742173008	0.550820774	8.382348
35	80755	11.29917	127.6713	0.903646	0.850033247	0.722556521	9.604672
36	138096	11.8357	140.0839	0.929688	0.976371464	0.953301236	11.55604
37	140388	11.85217	140.4738	0.955729	1.137008691	1.292788762	13.47602
38	198911	12.20061	148.855	0.981771	1.387476763	1.925091767	16.92807
Total	1519604	384.86	3935.51	19	-21.1702	65.8776	-
IOF=R=				0.967436882			

Berikut merupakan nilai *index of fit* terhadap 4 distribusi, yaitu distribusi eksponensial, distribusi normal, distribusi *lognormal*, dan distribusi *weibull*

Tabel 4. 12 *Index Of Fit*

Distribusi	IOF
Eksponensial	0.979863863
<i>Normal</i>	0.864040919
<i>Lognormal</i>	0.991566675
<i>Weibull</i>	0.967436882

Berdasarkan hasil dari 4 distribusi tersebut, diketahui bahwa nilai dari masing-masing distribusi yaitu 0.979863863 terhadap distribusi eksponensial; 0.864040919 terhadap distribusi normal; 0.991566675 terhadap distribusi *lognormal*; dan 0.967436882 terhadap distribusi *weibull*. Dari 4 distribusi tersebut, diketahui nilai distribusi *index of fit* tertinggi berada pada distribusi *lognormal* dengan nilai sebesar **0.991566675**.

4.3.3 Penentuan Distribusi Data *Time to Repair*

Setelah melakukan perhitungan distribusi antar waktu kerusakan, selanjutnya dilakukan perhitungan distribusi antar waktu perbaikan komponen *cylinder*:

Tabel 4. 13 *Time to Repair* Komponen *Cylinder*

No	Mulai	Selesai	dt
1	1/11/22 17:21	1/11/22 19:45	143
2	1/19/22 10:36	1/19/22 19:58	562

No	Mulai	Selesai	dt
3	1/30/22 9:49	1/30/22 16:09	380
4	2/4/22 9:50	2/4/22 16:22	392
5	2/7/22 9:24	2/7/22 19:00	576
6	4/2/22 14:12	4/2/22 17:41	209
7	4/15/22 11:36	4/15/22 14:36	180
8	8/31/22 17:47	8/31/22 20:09	142
9	10/5/22 7:20	10/5/22 15:10	471
10	11/7/22 7:00	11/7/22 16:56	597
11	11/10/22 14:12	11/10/22 16:23	131
12	1/5/23 11:48	1/5/23 15:52	244
13	1/15/23 14:12	1/15/23 17:02	171
14	1/20/23 11:48	1/20/23 19:42	474
15	2/3/23 14:40	2/3/23 16:36	116
16	3/13/23 14:12	3/13/23 15:35	84
17	3/19/23 7:00	3/19/23 8:09	70
18	3/24/23 7:00	3/24/23 8:20	80
19	4/17/23 7:00	4/17/23 14:17	437
20	4/24/23 11:41	4/24/23 12:48	67
21	5/23/23 11:48	5/23/23 16:01	253
22	6/21/23 10:11	6/21/23 16:36	385
23	9/25/23 14:12	9/25/23 16:21	130
24	10/19/23 8:57	10/19/23 16:28	450
25	11/19/23 15:24	11/19/23 16:41	77
26	12/30/23 10:49	12/30/23 14:21	211
27	1/27/24 9:44	1/27/24 11:44	121
28	1/31/24 15:45	1/31/24 16:36	50
29	2/17/24 16:36	2/17/24 17:29	54
30	3/11/24 7:45	3/11/24 16:36	531
31	3/26/24 13:26	3/26/24 19:00	334
32	4/30/24 14:12	4/30/24 16:21	130
33	5/16/24 14:12	5/16/24 16:12	120

No	Mulai	Selesai	dt
34	6/11/24 11:48	6/11/24 17:07	320
35	6/19/24 7:00	6/19/24 14:41	461
36	8/14/24 16:36	8/14/24 17:12	37
37	8/20/24 7:00	8/20/24 16:32	572
38	9/2/24 7:00	9/2/24 23:59	1020
39	12/9/24 11:48	12/9/24 23:59	732

Berikut ini merupakan perhitungan distribusi dalam menentukan nilai *index of fit* terbesar dari distribusi eksponensial, *normal*, *lognormal*, dan *weibull*:

1. Distribusi Eksponensial

Berikut ini merupakan perhitungan distribusi eksponensial:

$$Xi = dti$$

$$= 37$$

$$x_i^2 = 37^2$$

$$= 1362$$

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

$$= \frac{(1-0,3)}{(39+0,4)} = 0,017766497$$

$$Y_i = \ln \left[\left(\frac{1}{1-F(ti)} \right) \right]$$

$$= \ln \left[\left(\frac{1}{1-0,017766497} \right) \right] = 0,017926$$

$$Y_i^2 = 0,017926^2 = 0,000321$$

$$x_i y_i = 37 * 0,017926$$

$$= 0,66147738$$

Berikut ini merupakan perhitungan nilai r pada distribusi eksponensial:

$$\begin{aligned}
 r \text{ (Index of Fit)} &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \\
 &= \frac{(39 * (0,66147738)) - ((37 * 0,017926))}{\sqrt{((39 * 1362) - (37)^2) * ((39 * 0,000321) - (0,017926)^2)}} \\
 &= 0.980245882
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 14 Distribusi Eksponensial *Time to Repair*

No	Eksponensial						
	dti	xi=dti	xi2	f(dti)	yi	yi2	xiyi
1	37	37	1362	0.017766497	0.017926	0.000321	0.66147738
2	50	50	2525	0.043147208	0.044106	0.001945	2.216312523
3	54	54	2873	0.068527919	0.070989	0.005039	3.805013683
4	67	67	4489	0.093908629	0.098615	0.009725	6.607213544
5	70	70	4853	0.11928934	0.127026	0.016136	8.849487012
6	77	77	5929	0.144670051	0.156268	0.02442	12.03263438
7	80	80	6461	0.170050761	0.186391	0.034742	14.98270886
8	84	84	7028	0.195431472	0.217449	0.047284	18.22948585
9	116	116	13456	0.220812183	0.249503	0.062252	28.94236676
10	120	120	14448	0.246192893	0.282619	0.079873	33.97077621
11	121	121	14585	0.271573604	0.316869	0.100406	38.26717589
12	130	130	16770	0.296954315	0.352333	0.124139	45.6271757
13	130	130	16783	0.322335025	0.389102	0.151401	50.40819661
14	131	131	17205	0.347715736	0.427275	0.182564	56.04421447
15	142	142	20126	0.373096447	0.466963	0.218054	66.24642364
16	143	143	20501	0.398477157	0.508291	0.25836	72.77876649
17	171	171	29230	0.423857868	0.551401	0.304043	94.27117247
18	180	180	32400	0.449238579	0.596454	0.355757	107.36164
19	209	209	43681	0.474619289	0.643632	0.414262	134.5191123
20	211	211	44676	0.5	0.693147	0.480453	146.5082091
21	244	244	59674	0.525380711	0.745242	0.555386	182.0502713
22	253	253	64009	0.550761421	0.800201	0.640322	202.4508977
23	320	320	102187	0.576142132	0.858357	0.736777	274.388152
24	334	334	111556	0.601522843	0.920105	0.846593	307.3151047
25	380	380	144400	0.626903553	0.985918	0.972035	374.6489626
26	385	385	148225	0.652284264	1.05637	1.115918	406.7024436
27	392	392	153664	0.677664975	1.132164	1.281795	443.8082186
28	437	437	191290	0.703045685	1.214177	1.474226	531.0405361
29	450	450	202740	0.728426396	1.303522	1.69917	586.9325396
30	461	461	212705	0.753807107	1.40164	1.964594	646.4363361
31	471	471	221700	0.779187817	1.510443	2.281437	711.191988
32	474	474	224676	0.804568528	1.632545	2.665205	773.826561

Ekspensial							
No	dti	xi=dti	xi2	f(dti)	yi	yi2	xiyi
33	531	531	281961	0.829949239	1.771658	3.138773	940.7505519
34	562	562	315844	0.855329949	1.9333	3.737648	1086.514398
35	572	572	327184	0.88071066	2.126203	4.520741	1216.188292
36	576	576	331776	0.906091371	2.365433	5.595273	1362.489406
37	597	597	356349	0.931472081	2.680514	7.185156	1600.132858
38	732	732	535800	0.956852792	3.143138	9.879314	2300.724312
39	1020	1020	1040366	0.982233503	4.030441	16.24445	4110.982401
Total	11514	11514	5345487	20	38.00773	69.40599	19000.90379
IOF=R=				0.980245882			

2. Distribusi Normal

Berikut ini merupakan perhitungan distribusi *normal*:

$$Xi = Ti$$

$$= 37$$

$$x_i^2 = 37^2$$

$$= 1362$$

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

$$= \frac{(1-0,3)}{(39+0,4)} = 0,017766497$$

$$Y_i = z_i = \phi^{-1}[F(ti)]$$

$$= z_i = \phi^{-1}[F(0,017766497)] = -2,10223$$

$$Y_i^2 = -2,10223^2 = 4,419377606$$

$$x_i y_i = 37 * (-2,10223)$$

$$= -77,5723$$

Berikut ini merupakan perhitungan nilai r pada distribusi normal:

$$\begin{aligned}
 r \text{ (Index of Fit)} &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \\
 &= \frac{(39 * (-77,5723)) - ((37 * (-2,10223)))}{\sqrt{((39 * 1362) - (37^2)) * ((39 * 4,419377606) - 2,10223^2)}} \\
 &= 0.942859077
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 15 Distribusi *Normal Time to Repair*

No	Normal						
	dti	xi=dti	xi2	f(ti)	yi	yi2	xiyi
1	37	37	1362	0.017766	-2.10223	4.419377606	-77.5723
2	50	50	2525	0.043147	-1.71528	2.942175881	-86.1927
3	54	54	2873	0.068528	-1.48684	2.210707105	-79.6949
4	67	67	4489	0.093909	-1.31706	1.734656904	-88.2433
5	70	70	4853	0.119289	-1.17855	1.388972596	-82.1054
6	77	77	5929	0.14467	-1.05957	1.122689359	-81.5869
7	80	80	6461	0.170051	-0.95396	0.910048605	-76.6829
8	84	84	7028	0.195431	-0.85805	0.736255741	-71.9335
9	116	116	13456	0.220812	-0.76945	0.592058101	-89.2566
10	120	120	14448	0.246193	-0.68652	0.471308556	-82.5196
11	121	121	14585	0.271574	-0.60806	0.36973783	-73.4335
12	130	130	16770	0.296954	-0.53318	0.28428146	-69.0469
13	130	130	16783	0.322335	-0.46118	0.212686245	-59.7458
14	131	131	17205	0.347716	-0.39149	0.153268241	-51.3511
15	142	142	20126	0.373096	-0.32366	0.104757988	-45.917
16	143	143	20501	0.398477	-0.25729	0.066198542	-36.8398
17	171	171	29230	0.423858	-0.19203	0.036876977	-32.8314
18	180	180	32400	0.449239	-0.12759	0.016278011	-22.9654
19	209	209	43681	0.474619	-0.06366	0.004052976	-13.3056
20	211	211	44676	0.5	0	0	0
21	244	244	59674	0.525381	0.063663	0.004052976	15.55181
22	253	253	64009	0.550761	0.127585	0.016278011	32.27908
23	320	320	102187	0.576142	0.192034	0.036876977	61.3868
24	334	334	111556	0.601523	0.257291	0.066198542	85.93512
25	380	380	144400	0.626904	0.323663	0.104757988	122.9921
26	385	385	148225	0.652284	0.391495	0.153268241	150.7255
27	392	392	153664	0.677665	0.461179	0.212686245	180.7822
28	437	437	191290	0.703046	0.533181	0.28428146	233.1954
29	450	450	202740	0.728426	0.608061	0.36973783	273.7895

Normal							
No	dti	xi=dti	xi2	f(ti)	yi	yi2	xiyi
30	461	461	212705	0.753807	0.686519	0.471308556	316.6226
31	471	471	221700	0.779188	0.769453	0.592058101	362.297
32	474	474	224676	0.804569	0.858053	0.736255741	406.7173
33	531	531	281961	0.829949	0.953965	0.910048605	506.5552
34	562	562	315844	0.85533	1.05957	1.122689359	595.4785
35	572	572	327184	0.880711	1.178547	1.388972596	674.1288
36	576	576	331776	0.906091	1.317064	1.734656904	758.6287
37	597	597	356349	0.931472	1.486845	2.210707105	887.5719
38	732	732	535800	0.956853	1.715277	2.942175881	1255.554
39	1020	1020	1040366	0.982234	2.102232	4.419377606	2144.241
Total	11514	11514	5345487	20	0	36	7843
IOF=R=				0.942859077			

3. Distribusi *Lognormal*

Berikut ini merupakan perhitungan distribusi *lognormal*:

$$X_i = \ln T_i$$

$$= \ln (37) = 3,608212$$

$$x_i^2 = 3,608212^2$$

$$= 13,01919$$

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

$$= \frac{(1-0,3)}{(39+0,4)} = 0,017766497$$

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

$$= z_i = \phi^{-1}[F(0,017766497)] = -2,10223$$

$$Y_i^2 = -2,10223^2 = 4,419377606$$

$$x_i y_i = 3,608212 * (-2,10223)$$

$$= -7,5853$$

Berikut ini merupakan perhitungan nilai r pada distribusi *lognormal*:

$$r \text{ (Index of Fit)} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$= \frac{(39*(-7,5853)) - ((3,608212*(-2,10223)))}{\sqrt{((39*13,01919) - (3,608212)^2) * ((39*4,419377606) - 2,10223^2)}} \\ = 0.983863379$$

Tabel 4. 16 Distribusi *Lognormal Time to Repair*

LogNormal							
No	dti	xi=ln dti	xi2	f(ti)	yi	yi2	xiyi
1	37	3.608212	13.01919	0.017766	-2.10223	4.419377606	-7.5853
2	50	3.917011	15.34297	0.043147	-1.71528	2.942175881	-6.71876
3	54	3.981549	15.85273	0.068528	-1.48684	2.210707105	-5.91995
4	67	4.204693	17.67944	0.093909	-1.31706	1.734656904	-5.53785
5	70	4.243722	18.00918	0.119289	-1.17855	1.388972596	-5.00143
6	77	4.343805	18.86865	0.14467	-1.05957	1.122689359	-4.60257
7	80	4.386807	19.24407	0.170051	-0.95396	0.910048605	-4.18486
8	84	4.428831	19.61454	0.195431	-0.85805	0.736255741	-3.80017
9	116	4.753590	22.59662	0.220812	-0.76945	0.592058101	-3.65766
10	120	4.789157	22.93602	0.246193	-0.68652	0.471308556	-3.28785
11	121	4.793860	22.98110	0.271574	-0.60806	0.36973783	-2.91496
12	130	4.863681	23.65539	0.296954	-0.53318	0.28428146	-2.59322
13	130	4.864067	23.65915	0.322335	-0.46118	0.212686245	-2.24321
14	131	4.876469	23.77995	0.347716	-0.39149	0.153268241	-1.90911
15	142	4.954888	24.55091	0.373096	-0.32366	0.104757988	-1.60372
16	143	4.964126	24.64255	0.398477	-0.25729	0.066198542	-1.27722
17	171	5.141469	26.43470	0.423858	-0.19203	0.036876977	-0.98734
18	180	5.192957	26.96680	0.449239	-0.12759	0.016278011	-0.66255
19	209	5.342334	28.54054	0.474619	-0.06366	0.004052976	-0.34011
20	211	5.353594	28.66097	0.5	0	0	0
21	244	5.498329	30.23162	0.525381	0.063663	0.004052976	0.35004
22	253	5.533389	30.61840	0.550761	0.127585	0.016278011	0.705979
23	320	5.767279	33.26150	0.576142	0.192034	0.036876977	1.107512
24	334	5.811141	33.76936	0.601523	0.257291	0.066198542	1.495153
25	380	5.940171	35.28563	0.626904	0.323663	0.104757988	1.922616
26	385	5.953243	35.44111	0.652284	0.391495	0.153268241	2.330664
27	392	5.971262	35.65597	0.677665	0.461179	0.212686245	2.753822
28	437	6.080772	36.97579	0.703046	0.533181	0.28428146	3.242149
29	450	6.109840	37.33014	0.728426	0.608061	0.36973783	3.715154
30	461	6.133832	37.62389	0.753807	0.686519	0.471308556	4.210993
31	471	6.154540	37.87836	0.779188	0.769453	0.592058101	4.73563
32	474	6.161207	37.96048	0.804569	0.858053	0.736255741	5.286645
33	531	6.274762	39.37264	0.829949	0.953965	0.910048605	5.985901

LogNormal							
No	dti	xi=ln dti	xi2	f(ti)	yi	yi2	xiyi
34	562	6.331502	40.08792	0.85533	1.05957	1.122689359	6.708672
35	572	6.349139	40.31157	0.880711	1.178547	1.388972596	7.482758
36	576	6.356108	40.40010	0.906091	1.317064	1.734656904	8.371399
37	597	6.391833	40.85553	0.931472	1.486845	2.210707105	9.503663
38	732	6.595758	43.50402	0.956853	1.715277	2.942175881	11.31355
39	1020	6.927542	47.99083	0.982234	2.102232	4.419377606	14.5633
Total	11514	209.34647	1151.59032	20	0	35.55278	30.95779
IOF=R=				0.983863379			

4. Distribusi Weibull

Berikut merupakan perhitungan distribusi *weibull*:

$$Xi = \ln Ti$$

$$= \ln (37) = 3,608212$$

$$x_i^2 = 3,608212^2$$

$$= 13,01919$$

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

$$= \frac{(1-0,3)}{(39+0,4)} = 0,017766497$$

$$Y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(ti)} \right) \right]$$

$$= \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-0,017766497} \right) \right] = -4,02149104$$

$$Y_i^2 = -4,02149104^2 = 16,1723902$$

$$x_i y_i = 3,608212 * (-4,02149104)$$

$$= -14,5104$$

Berikut ini merupakan perhitungan nilai r pada distribusi *weibull*:

$$\begin{aligned}
 r \text{ (Index of Fit)} &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 \right]}} \\
 &= \frac{(39 * (-14,5104)) - ((3,608212 * (-4,02149104)))}{\sqrt{((39 * 13,01919) - (3,608212)^2) * ((39 * 16,1723902) - 4,02149104^2)}} \\
 &= 0.973512563
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 17 Distribusi *Weibull Time to Repair*

Weibull							
No	dti	xi=ln dti	xi2	f(ti)	yi	yi2	xiyi
1	37	3.608212	13.01919	0.017766	-4.02149104	16.1723902	-14.5104
2	50	3.917011	15.34297	0.043147	-3.12116576	9.741675688	-12.2256
3	54	3.981549	15.85273	0.068528	-2.64522948	6.997239006	-10.5321
4	67	4.204693	17.67944	0.093909	-2.31653061	5.366314049	-9.7403
5	70	4.243722	18.00918	0.119289	-2.06336247	4.257464686	-8.75634
6	77	4.343805	18.86865	0.14467	-1.85618293	3.445415076	-8.0629
7	80	4.386807	19.24407	0.170051	-1.67991006	2.822097825	-7.36944
8	84	4.428831	19.61454	0.195431	-1.52579032	2.328036088	-6.75747
9	116	4.753590	22.59662	0.220812	-1.38828369	1.927331609	-6.59933
10	120	4.789157	22.93602	0.246193	-1.26365639	1.596827473	-6.05185
11	121	4.793860	22.98110	0.271574	-1.14926781	1.320816492	-5.50943
12	130	4.863681	23.65539	0.296954	-1.04317738	1.088219054	-5.07368
13	130	4.864067	23.65915	0.322335	-0.94391311	0.890971967	-4.59126
14	131	4.876469	23.77995	0.347716	-0.85032786	0.723057463	-4.1466
15	142	4.954888	24.55091	0.373096	-0.76150617	0.579891645	-3.77318
16	143	4.964126	24.64255	0.398477	-0.67670162	0.457925078	-3.35923
17	171	5.141469	26.43470	0.423858	-0.59529316	0.35437395	-3.06068
18	180	5.192957	26.96680	0.449239	-0.5167539	0.267034595	-2.68348
19	209	5.342334	28.54054	0.474619	-0.44062796	0.194153003	-2.35398
20	211	5.353594	28.66097	0.5	-0.36651292	0.134331721	-1.96216
21	244	5.498329	30.23162	0.525381	-0.29404589	0.086462985	-1.61676
22	253	5.533389	30.61840	0.550761	-0.22289211	0.049680894	-1.23335
23	320	5.767279	33.26150	0.576142	-0.15273507	0.023328001	-0.88087
24	334	5.811141	33.76936	0.601523	-0.08326737	0.006933455	-0.48388
25	380	5.940171	35.28563	0.626904	-0.01418177	0.000201122	-0.08424
26	385	5.953243	35.44111	0.652284	0.054838487	0.00300726	0.326467
27	392	5.971262	35.65597	0.677665	0.124130689	0.015408428	0.741217
28	437	6.080772	36.97579	0.703046	0.19406646	0.037661791	1.180074
29	450	6.109840	37.33014	0.728426	0.265069889	0.070262046	1.619535
30	461	6.133832	37.62389	0.753807	0.33764293	0.114002748	2.071045
31	471	6.154540	37.87836	0.779188	0.412402847	0.170076108	2.53815
32	474	6.161207	37.96048	0.804569	0.490140445	0.240237656	3.019857
33	531	6.274762	39.37264	0.829949	0.571915995	0.327087905	3.588637

Weibull							
No	dti	xi=ln dti	xi2	f(ti)	yi	yi2	xiyi
34	562	6.331502	40.08792	0.85533	0.659228202	0.434581822	4.173905
35	572	6.349139	40.31157	0.880711	0.754337905	0.569025674	4.789396
36	576	6.356108	40.40010	0.906091	0.86096109	0.741253999	5.472361
37	597	6.391833	40.85553	0.931472	0.986008583	0.972212926	6.302403
38	732	6.595758	43.50402	0.956853	1.145221526	1.311532343	7.553604
39	1020	6.927542	47.99083	0.982234	1.39387574	1.942889578	9.656132
Total	11514	209.34647	1151.59032	20	-21.74297	68	-
IOF=R=				0.973512563			

Berikut merupakan nilai *index of fit* terhadap 4 distribusi, yaitu distribusi eksponensial, distribusi normal, distribusi *lognormal*, dan distribusi *weibull*

Tabel 4. 18 *Index Of Fit*

Distribusi	IOF
Ekspensial	0.980245882
<i>Normal</i>	0.942859077
<i>Lognormal</i>	0.983863379
<i>Weibull</i>	0.973512563

Berdasarkan hasil dari 4 distribusi tersebut, diketahui bahwa nilai dari masing-masing distribusi yaitu 0.980245882 terhadap distribusi eksponensial; 0.942859077 terhadap distribusi normal; 0.983863379 terhadap distribusi *lognormal*; dan 0.973512563 terhadap distribusi *weibull*. Dari 4 distribusi tersebut, diketahui nilai distribusi *index of fit* tertinggi berada pada distribusi *lognormal* dengan nilai sebesar **0.983863379**.

4.3.4 Uji *Goodness of Fit* pada Distribusi *Time to Failure*

Uji *goodness of fit* merupakan model statistik untuk melakukan pengujian terhadap distribusi terpilih. Pada perhitungan sebelumnya, distribusi *lognormal* terpilih karena memiliki nilai *index of fit* tertinggi dan akan memasuki pengujian menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Berikut merupakan pengujian distribusi antar waktu kerusakan:

Tabel 4. 19 *Kolmogorov-Smirnov Time to Failure*

No	ln(dti)	[ln (dti) –				
		xbar ln (dti)	Zdti	Fdti	D1	D2
		j ²				
1	8.269245	3.45475181	-1.86726	0.0309327	0.0309327	-0.004617
2	8.33208	3.22511690	-1.804135	0.0356051	0.0092893	0.0170265
3	8.699679	2.03993281	-1.434842	0.075666	0.0230344	0.0032814
4	8.827761	1.69046653	-1.30617	0.0957475	0.0168001	0.0095157
5	8.837105	1.66625638	-1.296783	0.097353	-0.00791	0.034226
6	8.872113	1.57710277	-1.261613	0.103544	-0.028035	0.0543508
7	8.990579	1.29359276	-1.142602	0.1266019	-0.031293	0.0576086
8	9.002598	1.26639540	-1.130527	0.1291271	-0.055083	0.0813992
9	9.202674	0.85611789	-0.929529	0.1763074	-0.034219	0.0605347
10	9.297649	0.68938457	-0.834117	0.2021075	-0.034735	0.0610504
11	9.303011	0.68050964	-0.828731	0.2036284	-0.059529	0.0858453
12	9.567995	0.31353928	-0.562526	0.286879	-0.002595	0.0289105
13	9.631088	0.24686259	-0.499142	0.3088398	-0.00695	0.0332655
14	9.806316	0.10344274	-0.323107	0.3733071	0.0312019	-0.004886
15	9.817657	0.09627585	-0.311713	0.3776293	0.0092083	0.0171075
16	9.896362	0.05362863	-0.232645	0.4080184	0.0132815	0.0130343
17	9.971613	0.02443826	-0.157048	0.4376037	0.016551	0.0097648
18	10.03935	0.00784861	-0.089001	0.4645407	0.0171723	0.0091435
19	10.10561	0.00049859	-0.022432	0.4910517	0.0173675	0.0089483
20	10.39008	0.06871907	0.263351	0.60386	0.10386	-0.077544
21	10.43753	0.09584613	0.3110166	0.622106	0.0957902	-0.069474
22	10.44812	0.10251704	0.321658	0.6261441	0.0735125	-0.047197
23	10.52341	0.15639850	0.3972945	0.6544249	0.0754775	-0.049162
24	10.59771	0.22068232	0.4719327	0.6815126	0.0762494	-0.049934
25	10.63128	0.25334802	0.5056558	0.6934509	0.0618719	-0.035556
26	10.63826	0.26042203	0.5126667	0.6959078	0.038013	-0.011697
27	10.70495	0.33293848	0.5796666	0.7189303	0.0347197	-0.008404
28	10.75852	0.39763201	0.6334859	0.7367918	0.0262655	5.03E-05
29	10.81237	0.46844644	0.6875848	0.7541428	0.0173007	0.0090151

No	ln(dti)	[ln (dti) – xbar ln (dti)] ²				
		Zdti	Fdti	D1	D2	
30	10.82202	0.48174009	0.6972727	0.7571839	-0.005974	0.0322898
31	10.90735	0.60747795	0.7829996	0.7831863	-0.006287	0.0326032
32	10.98	0.72600720	0.8559861	0.8039973	-0.011792	0.038108
33	11.25767	1.27629229	1.1349359	0.8717989	0.0296937	-0.003378
34	11.29433	1.36046837	1.1717649	0.8793543	0.0109332	0.0153826
35	11.29917	1.37178415	1.1766279	0.880328	-0.014409	0.0407247
36	11.8357	2.91645647	1.7156315	0.9568852	0.0358326	-0.009517
37	11.85217	2.97295057	1.7321684	0.9583782	0.0110098	0.015306
38	12.20061	4.29597191	2.0822218	0.9813389	0.0076547	0.0186611
Jumlah	384.86175	37.65226105		Dn Max	0.0358326	0.0407247

Dari hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa:

Ditung didapatkan dari nilai terbesar D1 dan D2, dimana dhitng didapatkan sebesar = 0,0407247.

Hipotesa untuk melakukan Uji *Kolmogorov-Smirnov* adalah:

H0 : Data *Time to Failure* berdistribusi *Lognormal*

H1 : Data *Time to Failure* tidak berdistribusi *Lognormal*

α : 0,05

Dtable : Dapat dilihat pada tabel d *Kolmogorov-Smirnov*, dengan Dcrit 38 ; 0,05 = 0,21544

Wilayah Kritis: Apabila $D_n < D_{crit}$, maka H0 diterima. Jadi, nilai D_n yang didapatkan sebesar $0,0407247 < 0,21544$ maka H0 diterima

4.3.5 Uji *Goodness of Fit* pada Distribusi *Time to Repair*

Uji *goodness of fit* merupakan model statistik untuk melakukan pengujian terhadap distribusi terpilih. Pada perhitungan sebelumnya, distribusi *lognormal* terpilih karena memiliki nilai *index of fit* tertinggi dan akan memasuki pengujian menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Berikut merupakan pengujian distribusi antar waktu perbaikan:

Tabel 4. 20 *Kolmogorov-Smirnov Time to Repair*

No	ln(dti)	[ln (dti) –				
		xbar ln (dti)	Zdti	Fdti	D1	D2
		$\bar{I}^2$				
1	3.608212	3.09635622	-2.179756	0.0146378	0.0146378	0.0110033
2	3.917011	2.10495883	-1.797232	0.0361494	0.0105083	0.0151327
3	3.981549	1.92185293	-1.717286	0.0429635	-0.008319	0.0339596
4	4.204693	1.35295410	-1.440867	0.0748111	-0.002112	0.027753
5	4.243722	1.26368221	-1.39252	0.0818825	-0.020682	0.0463226
6	4.343805	1.04868403	-1.268542	0.1023023	-0.025903	0.0515439
7	4.386807	0.96246168	-1.215274	0.1121308	-0.041715	0.0673564
8	4.428831	0.88177259	-1.163217	0.1223707	-0.057116	0.0827575
9	4.753590	0.37732515	-0.760922	0.2233517	0.0182235	0.0074175
10	4.789157	0.33489502	-0.716864	0.236729	0.0059598	0.0196813
11	4.793860	0.32947354	-0.711038	0.2385304	-0.01788	0.0435209
12	4.863681	0.25419474	-0.624548	0.2661339	-0.015917	0.0415584
13	4.864067	0.25380564	-0.62407	0.2662909	-0.041401	0.0670424
14	4.876469	0.24146353	-0.608707	0.2713594	-0.061974	0.087615
15	4.954888	0.17054465	-0.511566	0.3044775	-0.054497	0.0801379
16	4.964126	0.16299978	-0.500122	0.3084946	-0.076121	0.1017618
17	5.141469	0.05125223	-0.280439	0.3895702	-0.020686	0.0463272
18	5.192957	0.03059047	-0.216658	0.4142373	-0.02166	0.0473012
19	5.342334	0.00065147	-0.031618	0.4873885	0.02585	-0.000209
20	5.353594	0.00020346	-0.017669	0.4929514	0.0057719	0.0198691
21	5.498329	0.01702257	0.16162	0.5641974	0.0513769	-0.025736
22	5.533389	0.02740062	0.2050513	0.581234	0.0427725	-0.017131
23	5.767279	0.15953683	0.4947809	0.6896226	0.12552	-0.099879
24	5.811141	0.19649966	0.5491151	0.7085368	0.1187932	-0.093152
25	5.940171	0.32754226	0.7089509	0.7608225	0.1454379	-0.119797
26	5.953243	0.34267579	0.7251439	0.7658181	0.1247925	-0.099151
27	5.971262	0.36409599	0.7474642	0.7726083	0.1059416	-0.080301
28	6.080772	0.50824598	0.8831194	0.8114141	0.1191064	-0.093465
29	6.109840	0.55053704	0.9191274	0.8209855	0.1030368	-0.077396

No	ln(dti)	[ln (dti) –				
		xbar ln (dti)	Zdti	Fdti	D1	D2
30	6.133832	0.58671558	0.9488472	0.8286508	0.0850611	-0.05942
31	6.154540	0.61886763	0.9744989	0.8350956	0.0658648	-0.040224
32	6.161207	0.62940288	0.9827585	0.8371369	0.0422651	-0.016624
33	6.274762	0.82247459	1.123424	0.8693713	0.0488585	-0.023217
34	6.331502	0.92860914	1.1937103	0.8837043	0.0375505	-0.011909
35	6.349139	0.96291205	1.2155582	0.8879234	0.0161285	0.0095125
36	6.356108	0.97663706	1.2241906	0.8895598	-0.007876	0.0335171
37	6.391833	1.04852518	1.2684457	0.8976806	-0.025396	0.0510374
38	6.595758	1.50773737	1.5210564	0.9358772	-0.012841	0.0384818
39	6.927542	2.43261230	1.9320524	0.9733235	-0.001035	0.0266765
Jumlah	209.346469	25.41556049		Dn Max	0.1191064	0.0510374

Dari hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa:

Ditung didapatkan dari nilai terbesar D1 dan D2, dimana dhitng didapatkan sebesar = 0,0407247.

Hipotesa untuk melakukan Uji *Kolmogorov-Smirnov* adalah:

H0 : Data *Time to Failure* berdistribusi *Lognormal*

H1 : Data *Time to Failure* tidak berdistribusi *Lognormal*

α : 0,05

Dtable : Dapat dilihat pada tabel d *Kolmogorov-Smirnov*, dengan Dcrit 39 ; 0,05 = 0,21273

Wilayah Kritis: Apabila Dn < Dcrit, maka H0 diterima. Jadi, nilai Dn yang didapatkan sebesar 0,1191 < 0,21273 maka H0 diterima

4.3.6 Perhitungan Parameter dari Distribusi *Time to Failure*

Perhitungan selanjutnya merupakan perhitungan parameter dari distribusi data waktu kerusakan. Parameter yang digunakan merupakan parameter Tmed dan parameter S. Berikut merupakan perhitungan dari parameter tersebut:

1. Tmed (Parameter Lokasi)

$$N = 38$$

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

$$\mu = \frac{384,862}{38}$$

$$\mu = 10,1279$$

$$T_{med} = e^{\mu}$$

$$T_{med} = e^{10,1279}$$

$$= 25032,76355$$

2. S (Parameter Bentuk)

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n [\ln(ti) - \mu]^2}}{n}$$

$$S = \frac{\sqrt{384,862}}{38}$$

$$S = 0,995414$$

4.3.7 Perhitungan Parameter dari Distribusi *Time to Repair*

Parameter yang digunakan dalam menghitung dari distribusi data waktu perbaikan adalah parameter Tmed (parameter lokasi) dan s (parameter bentuk). Berikut merupakan perhitungan dari parameter tersebut:

1. Tmed (Parameter Lokasi)

$$N = 39$$

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

$$\mu = \frac{209.3465}{39}$$

$$\mu = 5,3679$$

$$T_{med} = e^{\mu}$$

$$T_{med} = e^{5,3679}$$

$$= 214,40316$$

2. S (Parameter Bentuk)

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n [\ln(ti) - \mu]^2}}{n}$$

$$S = \frac{\sqrt{209.3465}}{39}$$

$$S = 0,807268$$

4.3.8 Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi *Mean Time to Failure*

Berikut ini merupakan nilai *Mean Time To Failure* dari distribusi waktu antar kerusakan komponen *cylinder* untuk distribusi *lognormal*:

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= t_{med.e} \frac{s^2}{2} \\ &= 25032,76355 \cdot e^{\frac{0,995414^2}{2}} \\ &= 41083,64032 \end{aligned}$$

4.3.9 Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi *Mean Time to Repair*

Berikut ini merupakan nilai *Mean Time To Repair* dari distribusi waktu antar perbaikan komponen *cylinder* untuk distribusi *lognormal*:

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= t_{med.e} \frac{s^2}{2} \\ &= 214,40316 \cdot e^{\frac{0,807268^2}{2}} \\ &= 296,9901 \end{aligned}$$

4.3.10 Perhitungan Interval Waktu Penggantian

Perhitungan interval penggantian preventif dengan metode *Age Replacement* bertujuan untuk meminimalkan downtime yang terjadi pada peralatan. Dalam analisis ini, beberapa data utama perlu diketahui, seperti *Mean Time to Failure* (MTTF), lama waktu perbaikan, waktu yang dibutuhkan untuk penggantian preventif, serta distribusi waktu kegagalan komponen. Berdasarkan data tersebut, interval antar kerusakan (tp) dihitung untuk menentukan periode penggantian yang mampu memberikan downtime paling rendah. Dengan demikian, hasil analisis keandalan dan simulasi downtime dapat digunakan sebagai acuan dalam menetapkan interval penggantian preventif yang optimal. Berikut merupakan data-data yang diperlukan untuk melakukan analisis interval waktu penggantian:

1. Data waktu kerusakan (*time to failure*) berdasarkan distribusi *lognormal*:

$$\text{MTTF} = 41083,64032$$

$$\text{Tmed} = 13505,951$$

$$S = 1,2698786$$

2. Waktu yang digunakan untuk melakukan penggantian kerusakan komponen

$$t_f = 296,99007$$

3. Waktu yang digunakan untuk melakukan kegiatan penggantian *preventive*

$$t_p = 296,99007$$

Langkah selanjutnya merupakan perhitungan interval penggantian menggunakan pendekatan metode *Age Replacement*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan simulasi waktu sebesar 260.000 menit yang setara dengan 6 bulan operasional. Hal ini dikarenakan perusahaan memiliki PM Task untuk mesin *gas compressor clark* selama 6 bulan. Berikut merupakan hasil perhitungan menggunakan ARP:

Tabel 4. 21 Interval Penggantian Komponen Menggunakan ARP

tp	R(tp)	F(tp)	tp+Tp	(MTTF/F(tp))+Tf	D(tp)
1	1	3.454E-14	297.99007	1189406576183180000	0.00717686
1000	0.9798131	0.0201869	1296.9901	2035465	0.00701102
10000	0.5935446	0.4064554	10296.99	101375	0.00627673
20000	0.3785981	0.6214019	20296.99	66411	0.00606689
30000	0.2648516	0.7351484	30296.99	56182	0.00602094
40000	0.196275	0.803725	40296.99	51414	0.00603251
50000	0.1513355	0.8486645	50296.99	48707	0.00606753
60000	0.1201381	0.8798619	60296.99	46990	0.00611230
70000	0.0975417	0.9024583	70296.99	45821	0.00616053
80000	0.080631	0.919369	80296.99	44984	0.00620914
90000	0.0676413	0.9323587	90296.99	44361	0.00625659
100000	0.0574484	0.9425516	100296.99	43885	0.00630211
110000	0.0493066	0.9506934	110296.99	43511	0.00634535
120000	0.042704	0.957296	120296.99	43213	0.00638618
130000	0.0372797	0.9627203	130296.99	42972	0.00642460
140000	0.0327724	0.9672276	140296.99	42773	0.00646069
150000	0.0289897	0.9710103	150296.99	42607	0.00649456
160000	0.0257867	0.9742133	160296.99	42468	0.00652632
170000	0.0230532	0.9769468	170296.99	42350	0.00655612
180000	0.0207036	0.9792964	180296.99	42249	0.00658408
190000	0.018671	0.981329	190296.99	42162	0.00661034

tp	R(tp)	F(tp)	tp+Tp	(MTTF/F(tp))+Tf	D(tp)
200000	0.0169022	0.9830978	200296.99	42087	0.00663501
210000	0.0153547	0.9846453	210296.99	42021	0.00665821
220000	0.0139941	0.9860059	220296.99	41964	0.00668004
230000	0.0127924	0.9872076	230296.99	41913	0.00670060
240000	0.0117266	0.9882734	240296.99	41868	0.00671999
250000	0.0107775	0.9892225	250296.99	41828	0.00673829
260000	0.0099294	0.9900706	260296.99	41793	0.00675556
D(tp) Terkecil					0.00602094

Berikut ini merupakan perhitungan yang dilakukan untuk interval waktu penggantian dengan menggunakan $T_p = 30000$:

$$\begin{aligned}
 1. \quad F(tp) &= \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \\
 &= 0,7351484 \\
 2. \quad R(tp) &= 1-F(t) \\
 &= 1 - 0.7351484 \\
 &= 0,2648516 \\
 3. \quad (tp+Tp) \times R(tp) &= 30296,99 \times 0,2648516 \\
 &= 8024,206 \\
 4. \quad D(tp) &= \frac{T_p \cdot R(tp) + T_f \cdot (1-R(tp))}{(tp+Tp) \cdot R(t) + (M(tp)+T_f) \cdot (1-R(tp))} \\
 &= 0.00602094
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai $D(tp)$ paling minimum pada $tp = 30000$. Artinya, interval waktu penggantian paling minimum pada komponen *cylinder* berdasarkan kriteria minimasi *downtime* adalah setiap 30000 menit atau setara dengan 21 hari.

4.3.11 Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan

Langkah selanjutnya melakukan perhitungan interval waktu pemeriksaan. Langkah ini dilakukan untuk menentukan waktu pemeriksaan agar kegagalannya dapat dideteksi lebih awal dan meminimalisir tingkat *downtime*. Berikut merupakan hasil perhitungan interval waktu pemeriksaan:

1. Jumlah Pemeriksaan (K)
 - a. 1 Bulan = 30 hari kerja; 1 hari 24 jam kerja
 - b. $T = 30 \text{ hari/bulan} \times 24 \text{ jam/hari} = 720 \text{ jam/bulan}$

c. Total jumlah kerusakan komponen *cylinder* 2021-2024 = 39 kali

$$d. K = \frac{39}{48 \text{ bulan}} = 0,8125$$

2. Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan

a. MTTR = 296,99007

b. T = 720 jam/bulan

$$c. \frac{1}{\mu} = \frac{MTTR}{t} \\ = \frac{4,950}{720} \\ = 0,006875$$

$$\mu = 145,4594$$

3. Waktu rata-rata melakukan pemeriksaan

a. Waktu untuk melakukan pemeriksaan (t_i) = 5 jam

b. T = 720 jam/bulan

$$c. \frac{1}{i} = \frac{t_i}{t} \\ = \frac{5}{720} = 0,00556$$

4. Perhitungan frekuensi pemeriksaan

$$n = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}} \\ = \sqrt{\frac{0,8125 \times 720}{145,4594}} \\ = 2,0054 \text{ kali pemeriksaan/bulan}$$

5. Interval waktu pemeriksaan

$$\frac{t}{n} = \frac{720}{2,0054} \\ = 349,0256 \text{ jam} \\ = 15 \text{ hari}$$

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Analisis *Functional Block Diagram* (FBD)

Functional Block Diagram (FBD) merupakan sebuah diagram untuk menjelaskan bagaimana keterkaitan antar bagian sistem serta memperlihatkan fungsi utama maupun pendukung dari suatu peralatan. Pada proses kompresi gas dalam mesin gas *compressor*, terdapat diagram aliran gas, komponen penggerak utama dalam mesin *compressor*, sistem pelumasan agar mendukung kinerja mesin, dan sistem monitoring. Untuk aliran gas, gas masuk ke dalam komponen *cylinder* untuk meningkatkan tekanan lalu keluar sebagai gas yang memiliki tekanan yang tinggi. Komponen *cylinder* didukung oleh komponen mekanis utama dalam melakukan proses kompresi agar gas dapat memiliki tekanan yang diharapkan. Terdapat komponen piston rod yang berada di dalam komponen *cylinder*. Komponen ini berguna sebagai penggerak utama dalam melakukan kompresi gas. Komponen *bearing* berguna untuk mendukung piston rod agar dapat bergerak dengan gesekan yang minimum dan stabil. Hal ini juga mendukung piston rod agar dapat melakukan kompresi secara maksimal. Komponen *bushing* berguna untuk mendukung poros yang juga membantu mengurangi gesekan selama proses kompresi. Komponen *valve* berguna untuk mengatur aliran gas masuk dan keluar di dalam *cylinder* yang bekerja seperti katup satu arah. Selanjutnya, terdapat sistem pelumasan yang terdapat pada mesin gas *compressor* untuk mendukung kinerja mesin *compressor*. Sistem pelumasan terdapat dua elemen utama yaitu *lube oil* dan *lubrication filter*. Elemen *lube oil* berguna untuk melumasi komponen dan mengurangi gesekan antar komponen yang bergerak. Elemen ini juga berguna untuk mengurangi panas selama proses gesekan terjadi pada mesin. Selanjutnya, terdapat komponen *lubrication filter* yang berguna untuk menyaring oli pelumas agar tetap bersih dan terhindar dari partikel yang bisa merusak komponen lainnya. Sistem monitoring dalam mesin ini terdapat *display vibration* yang berguna untuk memantau getaran mesin. Komponen ini juga dapat melihat apakah terjadi kerusakan atau ketidakseimbangan pada komponen mesin seperti *bearing*, piston, dan lain-lain. Sedangkan, komponen *cover* berguna untuk melindungi bentuk fisik mesin dari potensi gangguan eksternal dan menampung sensor atau instrumen monitoring lainnya.

5.2 Analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi, menilai, dan memprioritaskan potensi kegagalan yang mungkin terjadi pada suatu sistem. FMEA berfokus pada mode kegagalan, efek kegagalan, dan penyebab kegagalan. FMEA juga digunakan untuk mencari nilai RPN (*Risk Priority Number*) untuk mencari prioritas perbaikan dalam pemeliharaan dan perbaikan. Penilaian FMEA untuk mencari nilai RPN tertinggi dilakukan berdasarkan wawancara dengan *Assisten Manager* Ibu Deasy, *Senior Supervisor* Bapak Rifat, dan *Senior Engineer* Bapak Sahban. Hasil wawancara yang telah dilakukan, didapatkan nilai *Risk Priority Number* tertinggi terdapat pada komponen *Cylinder* sebesar 162 yang berfungsi sebagai ruang utama tempat terjadinya proses kompresi gas. *Failure mode* pada komponen ini terdapat *overheating* dan kebocoran gas dengan penyebab utama seperti pendinginan tidak optimal pada komponen sehingga menyebabkan *overheating* dan retakan pada dinding silinder sehingga menyebabkan kebocoran gas. Akibat dari kegagalan ini sangat berdampak pada keberlangsungan proses, seperti kerusakan struktural hingga henti operasi dan efisiensi kompresi menurun hingga memunculkan resiko kebakaran suatu *gathering station*.

Pada mode kegagalan *overheating*, didapatkan nilai *Severity* (S) sebesar 9 karena dapat membuat proses terhenti dan kerusakan struktural, *Occurance* (O) sebesar 4 karena mode kegagalan ini sedikit terjadi, dan *Detection* (D) sebesar 2 karena kerusakan mudah dideteksi dengan sistem monitoring pada *gathering station*. Pada mode kegagalan kebocoran gas, didapatkan nilai *Severity* (S) sebesar 9 karena dapat mempengaruhi sistem kompresi, *Occurance* (O) sebesar 5 karena kerusakan mesin terjadi di tingkat rendah, dan *Detection* (D) sebesar 2 karena kerusakan mudah untuk dideteksi dengan visual.

5.3 Analisis *Logic Tree Analysis* (LTA)

Logic Tree Analysis (LTA) merupakan suatu metode analisis yang digunakan untuk mencari penyebab kegagalan suatu sistem atau peralatan dengan memanfaatkan struktur diagram bercabang. Hal ini bertujuan untuk menentukan tindakan perawatan yang efektif. Berikut merupakan pengelompokkan komponen berdasarkan kegagalan yang terjadi:

1. Kategori A (*Safety Problem*) : Jika terjadi kegagalan dapat menyebabkan risiko kecelakaan dan berdampak pada karyawan hingga mengakibatkan kematian. Berikut merupakan komponen yang termasuk dalam kategori A:

- a. *Cylinder* dengan mode kegagalan kebocoran gas yang berpotensi menyebabkan karyawan terpapar bahan kimia berbahaya dan dapat meningkatkan risiko kebakaran.
 - b. *Bearing* dengan mode kegagalan macet atau *jamming* yang dapat menyebabkan kerusakan mendadak hingga kebakaran akibat gesekan yang terlalu berlebihan.
 - c. *Flexible Hose* dengan mode kegagalan retak dapat menyebabkan kebocoran fluida dan gas bertekanan yang dapat menimbulkan masalah pada keselamatan karyawan.
 - d. *Crankcase* dengan mode kegagalan retak dapat menyebabkan kebocoran pelumas sehingga meningkatkan risiko kebakaran.
 - e. *Vibration Sensor* dengan mode kegagalan display tidak menyala dapat menyebabkan potensi kerusakan besar tidak dapat dideteksi, sehingga risiko keselamatan meningkat
2. Kategori B (*Outage Problem*) : Jika terjadi kegagalan komponen mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin terhenti sehingga mengganggu proses produksi. Berikut merupakan komponen yang termasuk dalam kategori B:
- a. *Cylinder* dengan mode kegagalan *overheating* dapat menyebabkan kerusakan struktural pada sistem atau mesin hingga dapat menghentikan seluruh mesin.
 - b. *Bearing* dengan mode kegagalan aus yang dapat menyebabkan performa sistem atau mesin menurun dan bisa membuat mesin berhenti.
 - c. *Valve* dengan mode kegagalan *leakage* yang dapat menyebabkan proses kompresi tidak maksimal dan tekanan yang diinginkan tidak tercapai.
 - d. *Valve* dengan mode kegagalan *stuck* yang dapat menyebabkan aliran gas pada proses kompresi terganggu. Terdapat 2 jenis *stuck* yaitu *stuck close* dan *stuck open*. Apabila terjadi *stuck close*, maka *pressure* akan meningkat dan terjadi *shutdown* pada *gathering station*. Jika terjadi *stuck open*, maka tekanan gas yang diinginkan tidak tercapai.
 - e. Busi dengan mode kegagalan tidak menyala yang dapat menyebabkan mesin gagal menyala sehingga proses kompresi tidak berjalan.
 - f. Busi dengan mode kegagalan elektroda retak yang dapat menyebabkan mesin gas kompresor tidak beroperasi dengan baik akibat pembakaran yang tidak stabil.
 - g. *Cartridge* dengan mode kegagalan robek atau rusak yang dapat menyebabkan masuknya partikel yang tidak diinginkan ke dalam mesin gas kompresor, sehingga dapat mempercepat keausan komponen internal hingga kerusakan mesin.

- h. *Bushing* dengan mode kegagalan aus yang dapat menyebabkan longgarnya poros dan timbulnya getaran pada mesin yang berlebih, sehingga mesin berpotensi berhenti beroperasi.
 - i. *V-belt* dengan mode kegagalan slip dan putus yang dapat menyebabkan efisiensi proses kompresi menurun karena kegagalan transmisi daya sehingga menghentikan operasi mesin.
 - j. *Filter* dengan mode kegagalan tersumbat yang dapat menyebabkan turunnya performa sistem akibat tersumbatnya aliran filterisasi gas.
3. Kategori C (*Economic Problem*) : Jika terjadi kegagalan komponen, tidak mempengaruhi keselamatan dan kegiatan operasional. Namun, mempengaruhi ekonomi perusahaan. Berikut merupakan komponen yang termasuk pada kategori C:
- a. *Gasket* dengan mode kegagalan bocor dan *seal* gagal yang dapat mengakibatkan kebocoran minor. Tidak menyebabkan kegagalan secara signifikan, namun meningkatkan biaya perawatan yang berdampak pada ekonomi perusahaan.

5.4 Analisis Task Selection (TS)

Task Selection merupakan proses pemilihan tindakan pemeliharaan yang sesuai berdasarkan analisis terhadap kegagalan peralatan yang bertujuan untuk menjaga keandalan dan meningkatkan efisiensi operasional sistem. Berikut pengelompokkan komponen berdasarkan tindakan pemeliharaan yang dibagi menjadi tiga kategori utama:

1. Time Directed (TD)

Pemeliharaan ini didasarkan pada interval waktu tertentu, baik berupa penggantian atau perombakan komponen sebelum mencapai usia pakai maksimalnya. Pemilihan strategi ini biasanya diterapkan pada komponen yang memiliki pola aus dan umur pakai yang sudah dapat diprediksi, sehingga risiko kegagalan dapat dihindari dengan melakukan penggantian secara teratur. Berikut merupakan komponen yang memiliki kategori *Time Directed* (TD) pada tahapan *task selection*:

- a. *Bearing* dengan mode kegagalan aus.
- b. *Flexible Hose* dengan mode kegagalan retak.
- c. Busi dengan mode kegagalan tidak menyala dan elektroda rusak.
- d. *Cartridge* dengan mode kegagalan robek atau rusak.

2. Condition Directed (CD)

Pemeliharaan ini didasarkan kondisi aktual dari komponen atau peralatan. Strategi pemeliharaan ini tidak didasarkan diganti dalam interval tertentu, melainkan dipantau melalui inspeksi, pengukuran, dan pemantauan mengenai tanda-tanda awal kerusakan agar dapat terdeteksi lebih dini. Berikut merupakan komponen yang terdapat pada strategi berdasarkan wawancara yang telah dilakukan:

- a. *Cylinder* dengan mode kerusakan *overheating* dan kebocoran *seal*.
- b. *Bearing* dengan mode kerusakan macet atau *jamming*.
- c. *Valve* dengan mode kegagalan
- d. *Gasket* dengan mode kerusakan bocor dan *seal* gagal.
- e. *Bushing* dengan mode kerusakan aus.
- f. *V-belt* dengan mode kerusakan slip atau putus.
- g. *Crankcase* dengan mode kerusakan retak.
- h. *Filter* dengan mode kerusakan tersumbat

3. *Finding-Failure* (FF)

- a. *Vibration Sensor* dengan mode kegagalan sensor tidak bekerja.

Berdasarkan analisis *task selection* yang telah dilakukan, kerusakan komponen *cylinder* dengan mode kegagalan *overheating* dan kebocoran *seal* termasuk dalam strategi CD (*Condition Direct*). Pendekatan melalui strategi ini terbilang efektif karena kerusakan pada komponen tersebut didasarkan pada pengecekan secara berkala untuk mencegah kerusakan yang terjadi dan tidak memiliki hubungan langsung dengan umur komponen.

5.5 Analisis Penentuan Mesin dan Komponen Kritis

Penelitian dilakukan pada satu *gathering station* yang menjadi tempat proses minyak dan gas diolah sebelum dikirim ke *subholding downstream*. Terdapat 8 jenis mesin yang digunakan pada satu *gathering station* untuk mendukung proses pengolahan. Berdasarkan hasil perhitungan data *downtime*, mesin yang mengalami kerusakan tertinggi adalah mesin *gas compressor clark* dengan frekuensi kerusakan sebanyak 78 kali dengan total *downtime* sebesar 23111 menit dan menyumbang total *downtime* sebesar 59%.

Selain itu, dilakukan juga analisis perhitungan data *downtime* komponen pada mesin dengan total *downtime* terbesar. Berdasarkan perhitungan data *downtime* yang telah dilakukan, diketahui bahwa komponen *cylinder* adalah komponen dengan *downtime* terbesar sebanyak 11514 menit dengan frekuensi kejadian sebanyak 39 kali dan menyumbang total *downtime*

sebesar 52%. Berdasarkan perhitungan kualitatif FMEA dengan *output* akhir nilai *Risk Priority Number* (RPN), didapatkan komponen *cylinder* menjadi prioritas tertinggi untuk dilakukan perbaikan. Berdasarkan perhitungan kuantitatif, didapatkan juga bahwa komponen *cylinder* memiliki nilai tertinggi. Hal ini menggambarkan bahwa komponen *cylinder* menjadi prioritas utama komponen yang harus segera ditangani.

5.6 Analisis Distribusi *Time to Failure* dan *Time to Repair*

Selanjutnya dilakukan analisis distribusi *time to failure* dan *time to repair* dengan menggunakan 4 distribusi, yaitu distribusi eksponensial, distribusi *normal*, distribusi *lognormal*, dan distribusi *weibull*. Pengujian ini didasarkan pada distribusi *time to failure* dan *time to repair* pada komponen *cylinder*. Berikut merupakan hasil pengolahan data distribusi yang telah dilakukan:

Tabel 5. 1 Hasil Distribusi *Time to Failure*

Distribusi	Index Of Fit
Eksponensial	97.99%
<i>Normal</i>	86.40%
<i>Lognormal</i>	99.16%
<i>Weibull</i>	96.74%

Berdasarkan hasil perhitungan *Index of Fit* terhadap beberapa jenis distribusi, diketahui bahwa distribusi *lognormal* memiliki nilai kecocokan distribusi tertinggi sebesar 0,991566675 dan 99,16%. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi *lognormal* paling sesuai dalam merepresentasikan data yang ada pada *time to failure*. Selanjutnya, dilakukan analisis pengolahan data berdasarkan distribusi *time to repair*:

Tabel 5. 2 Hasil Distribusi *Time to Repair*

Distribusi	Index Of Fit
Eksponensial	98.02%
<i>Normal</i>	94.29%
<i>Lognormal</i>	98.39%
<i>Weibull</i>	97.35%

Berdasarkan hasil pengujian *Index of Fit* dengan menggunakan 4 distribusi, distribusi *lognormal* memiliki nilai tertinggi sebesar 0,983863379 atau sebesar 98,39%. Artinya, distribusi *lognormal* merupakan distribusi yang paling sesuai dalam merepresentasikan atau

menggambarkan pola data dibanding distribusi lainnya. Hal ini juga membuat distribusi ini digunakan untuk melakukan uji selanjutnya.

5.7 Analisis Uji Kecocokan *Goodness of Fit*

Setelah melakukan analisis dalam mencari nilai *Index of Fit* tertinggi pada 4 distribusi, selanjutnya dilakukan uji *goodness of fit* untuk melihat kecocokan data yang digunakan berdasarkan distribusi yang dipilih. Hasil distribusi *Index of Fit* yang telah dilakukan, ditemukan bahwa distribusi *lognormal* menjadi distribusi yang dipilih karena memiliki nilai *Index of Fit* tertinggi sebesar 98,39%. Sehingga, uji yang akan digunakan merupakan uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk distribusi *lognormal*. Tujuan utama dari uji kecocokan (*goodness-of-fit*) adalah untuk membuktikan secara ilmiah apakah data yang kita miliki benar-benar cocok dengan model distribusi yang diusulkan. Proses ini dimulai dengan menetapkan H_0 , yang menyatakan bahwa data kita berasal dari distribusi tersebut. Hasil pengujian ini dilakukan untuk menentukan apakah distribusi *lognormal* dapat secara valid mewakili data yang sudah ada. Jika hasil pengujian menunjukkan nilai D_n lebih kecil dari D_{crit} yang ditetapkan, maka kita dapat menerima H_0 . Artinya, distribusi *lognormal* bisa digunakan. Sebaliknya, jika D_n lebih besar dari D_{crit} , kita menolak H_0 karena data tidak cocok dengan distribusi yang dipilih.

Pada data *time to failure*, Dhitung didapatkan dari nilai terbesar yang berasal dari D1 dan D2. Didapatkan nilai terbesar Dhitung adalah $D_n = 0,040725$ dan nilai $D_{crit} 38;0,05 = 0,21544$. Sehingga, nilai $D_n < D_{crit}$, $D_n = 0,040725 < 0,21544$ sehingga kesimpulannya H_0 diterima dan data berdistribusi *lognormal*.

Pada data *time to repair*, Dhitung didapatkan dari nilai terbesar yang berasal dari D1 dan D2. Didapatkan nilai terbesar Dhitung adalah $D_n = 0,1191$ dan nilai $D_{crit} 39;0,05 = 0,21017$. Sehingga, nilai $D_n < D_{crit}$, $D_n = 0,1191 < 0,21273$ sehingga kesimpulannya H_0 diterima dan data berdistribusi *lognormal*.

5.8 Analisis Parameter Distribusi TTF dan MTTF

Setelah melakukan analisis uji *goodness of fit*, selanjutnya dilakukan analisis parameter untuk mencari nilai *Mean Time To Failure*. *Mean Time To Failure* merupakan nilai rata-rata waktu setelah selesai perbaikan hingga kegagalan terjadi pada sistem. Perhitungan ini didasarkan pada distribusi yang telah dipilih sebelumnya yaitu distribusi *lognormal*. Berikut merupakan parameter distribusi dan nilai *Mean Time To Failure* yang telah dihitung:

Tabel 5. 3 Nilai Parameter MTTF

Hasil	Nilai
Tmed (Parameter Lokasi)	25032.76355
s (Parameter Bentuk)	0.995413972
MTTF	41083.64032

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai Tmed (Parameter Lokasi) sebesar 25032,76355; nilai s (Parameter Bentuk) sebesar 0,995413972; nilai MTTF didapatkan sebesar 41083,64032 menit atau sebesar 29 hari. Nilai Tmed menunjukkan nilai median antar waktu kegagalan sebelum dan sesudahnya sehingga berguna sebagai ukuran umur. Nilai s menunjukkan lebar sebaran umur yang apabila semakin kecil nilai s dan berkaitan langsung dengan simpangan data. Nilai MTTF merupakan rata-rata waktu hingga gagal untuk komponen diteliti dengan nilai yang cukup tinggi dan merepresentasikan keandalan sistem.

5.9 Analisis Parameter Distribusi TTR dan MTTR

Setelah melakukan analisis parameter distribusi untuk mencari nilai *Mean Time To Failure*, selanjutnya dilakukan analisis parameter distribusi untuk mencari nilai *Mean Time To Repair*. Analisis *Mean Time To Repair* dilakukan dengan menghitung estimasi dari data yang digunakan pada distribusi yang dipilih. Distribusi yang digunakan pada hitungan ini adalah distribusi *lognormal*. Berikut merupakan hasil analisis parameter:

Tabel 5. 4 Nilai Parameter MTTR

Nilai	Hasil
Tmed (Parameter Lokasi)	214.4031605
s (Parameter Bentuk)	0.807267637
MTTR	296.9900657

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai Tmed (Parameter Lokasi) sebesar 214,4031605; nilai s (Parameter Bentuk) sebesar 0,807267637; nilai MTTR didapatkan sebesar 296,9900657 menit atau sebesar 5 jam. *Mean Time To Repair* (MTTR) menunjukkan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk suatu perbaikan komponen hingga komponen tersebut selesai diperbaiki.

5.10 Analisis Interval Waktu Penggantian dan Pemeriksaan Komponen

Berdasarkan analisis interval waktu pemeriksaan komponen *cylinder*, diketahui bahwa data diambil dengan rentang waktu 2021 – 2024 dan mencapai frekuensi kerusakan sebanyak 39 kali

dengan rata-rata kerusakan atau nilai K didapatkan sebesar 0,8125. Hal ini menunjukkan bahwa kerusakan terjadi cukup sering dan diperlukan tindakan perawatan untuk mencegah seringnya kerusakan yang akan terjadi kedepannya.

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai pada tp 30000 menit dengan nilai $D(tp)$ terkecil sebesar 0,00602094. Artinya, waktu penggantian yang efisien ditemukan pada 30000 menit waktu operasi atau sekitar 21 hari menurut perhitungan yang telah dilakukan.

Berdasarkan hasil perhitungan, ditemukan nilai rata-rata perbaikan (MTTR) sebesar 4,950 jam. Hasil perhitungan frekuensi pemeriksaan didapatkan nilai sebesar 2,00543 kali pemeriksaan. Dengan begitu, didapatkan interval waktu pemeriksaan sebesar 359,0256 jam atau sekitar 15 hari.

Dengan demikian, industri migas seharusnya melakukan pemeliharaan preventif setiap 15 hari, namun perusahaan hanya menggunakan *trial and error* untuk mendapatkan waktu yang sesuai untuk melakukan pemeliharaan. Hal ini menyebabkan mesin tidak dapat bertahan lama dan tidak bekerja secara optimal apabila digunakan secara terus-menerus. Oleh karena itu, diberikan saran agar pemeriksaan dilakukan setiap 15 hari dan penggantian setiap 21 hari untuk mencegah kegagalan, memperkecil tingkat *downtime*, memastikan keandalan komponen, serta mengurangi tingkat kerugian yang didapatkan selama *downtime*. Apabila interval pemeriksaan setiap 15 hari dan jadwal penggantian komponen setiap 21 hari diterapkan, maka peluang terjadinya kegagalan dapat ditekan secara signifikan. Dengan pengaturan tersebut, rata-rata kejadian kerusakan bulanan yang semula mencapai sekitar 0,81 kali dapat berkurang menjadi 0,464 kali, sehingga estimasi *downtime* juga menurun dari 5 jam menjadi 2 jam. Konsekuensinya, kehilangan produksi gas yang sebelumnya diperkirakan mencapai lebih dari 200 ribu meter kubik per bulan, dapat ditekan hingga sekitar 80 ribu meter kubik per bulan. Jika dikonversikan pada asumsi harga Rp4.000 per meter kubik, maka potensi kerugian finansial turun hampir separuh. Hal ini menunjukkan bahwa strategi penetapan interval perawatan yang lebih optimal mampu memberikan dampak nyata dalam mengurangi risiko *downtime* dan meningkatkan keandalan mesin gas *compressor Clark*.

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut merupakan kesimpulan yang didapatkan:

1. Komponen kritis yang terdapat pada mesin *gas compressor clark* merupakan komponen *cylinder* dengan nilai *downtime* sebesar 11514 menit dengan nilai RPN (*Risk Priority Number*) pada analisis *Failure Mode and Effect Analysis* sebesar 162 yang menjadikan komponen ini prioritas dalam melakukan pemeliharaan. Dalam analisis *Logic Tree Analysis*, ditemukan komponen *cylinder* dengan mode kegagalan kebocoran gas pada kategori A karena berpotensi menyebabkan karyawan terpapar bahan kimia berbahaya dan dapat meningkatkan risiko kebakaran. Sementara itu, untuk komponen *cylinder* dengan mode kegagalan *overheating* pada kategori B karena dapat menyebabkan kerusakan struktural pada sistem atau mesin hingga dapat menghentikan seluruh mesin.
2. Dalam analisis *Task Selection*, komponen *cylinder* mendapatkan kategori CD (*Condition Directed*) yang artinya pemeliharaan ini didasarkan pada kondisi aktual dari komponen atau peralatan. Hal ini karena mode kegagalan *overheating* dan kebocoran gas didasarkan pada kondisi operasional yang dilakukan pada saat melakukan proses kompresi gas, seperti contoh terjadinya *overheating* apabila tekanan dalam melakukan proses kompresi berada pada tingkat *abnormal* (di atas suhu wajar).
3. Pada analisis interval waktu pemeriksaan, ditemukan bahwa nilai MTTF (*Mean Time To Failure*) sebesar 41083,64032 dan nilai MTTR (*Mean Time To Repair*) sebesar 296,9900657. Berdasarkan hasil perhitungan, ditemukan interval waktu pemeriksaan sebesar 359,0256 jam atau sekitar 15 hari dengan interval waktu penggantian didapatkan nilai pada tp 30000 menit atau sekitar 21 hari.
4. Apabila interval pemeriksaan setiap 15 hari dan jadwal penggantian komponen setiap 21 hari diterapkan, maka peluang terjadinya kegagalan dapat ditekan secara signifikan. Dengan pengaturan tersebut, rata-rata kejadian kerusakan bulanan yang semula mencapai sekitar 0,81 kali dapat berkurang menjadi 0,464 kali, sehingga estimasi downtime juga menurun dari 5 jam menjadi 2 jam. Konsekuensinya, kehilangan produksi gas yang sebelumnya diperkirakan mencapai lebih dari 200 ribu meter kubik per bulan, dapat ditekan hingga sekitar 80 ribu meter kubik per bulan. Jika dikonversikan pada asumsi harga Rp4.000 per

meter kubik, maka potensi kerugian finansial turun hampir separuh. Hal ini menunjukkan bahwa strategi penetapan interval perawatan yang lebih optimal mampu memberikan dampak nyata dalam mengurangi risiko downtime dan meningkatkan keandalan mesin gas *compressor Clark*.

6.2 Saran

6.2.1 Saran Untuk Perusahaan

Adapun saran yang dapat diberikan kepada perusahaan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, perusahaan sebaiknya melakukan penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* dan *Age Replacement* dalam melakukan tindakan perawatan mesin. Hal ini dilakukan agar perusahaan dapat menekan tingkat *downtime* yang kemungkinan terjadi di masa mendatang. Hal ini juga dapat meningkatkan keandalan pada mesin sehingga mesin dapat bekerja secara optimal.
2. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, peneliti menyarankan perusahaan untuk melakukan pemeriksaan dengan interval waktu 15 hari dan penggantian dengan interval waktu 21 hari untuk mencegah *downtime*.

6.2.2 Saran Untuk Peneliti

Adapun saran untuk penelitian kedepannya adalah sebagai berikut:

1. Peneliti menyarankan untuk kedepannya mengambil rentang waktu yang lebih jauh seperti 10-15 tahun sebelumnya agar data kerusakan yang didapatkan lebih banyak.
2. Peneliti menyarankan untuk kedepannya menggabungkan metode dengan analisis biaya agar dapat mengetahui berapa biaya yang dihabiskan untuk melakukan perbaikan sebelum dan sesudah metode diterapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahadi, G. D., & Zain, N. N. L. E. (2023). Pemeriksaan Uji Kenormalan dengan Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling dan Shapiro-Wilk. *EIGEN MATHEMATICS JOURNAL*, 11–19. <https://doi.org/10.29303/emj.v6i1.131>
- Ahmad, R., Nuranto, P., Tatas, F., Atmaji, D., & Budiasih, E. (2022). Component Replacement Interval Policy based on Downtime Minimization using Age Repacement Method: A Case Study of Autoclave-035 Machine. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(15), 630–648. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7084106>
- Amelia, D., & Kholijah, G. (2023). Analisis Cluster Pengelompokan Provinsi di Indonesia Berdasarkan Sub Sektor Nilai Tukar Petani Cluster Analysis of Provincial Grouping in Indonesia Based on Farmer Exchange Rate Sub-Sectors. *Journal Of Demography, Etnography And Social Transformation*, 3(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.30631/demos.v3i1.1812>
- Anthony, M. B. (2021). *Analisis Penyebab Kerusakan Unit Pompa Pendingin AC dan Kompresor Menggunakan Metode FMEA*. 11, 5–13. <https://jitekin-upiptyk.org/ojs>
- Anuar, K., Herisiswanto, H., & Fahrizqa, A. (2022). Study of Vibrating Screen Machine Damage in Stone Crusher and Its Effect on Production Loss in Cement Factory. *MOTIVECTION : Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 5(1), 75–84. <https://doi.org/10.46574/motivection.v5i1.133>
- Ardyansyah, M. I., & Purnomo, A. (2024). *Analisa Perbandingan Metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) dengan Quality Control Circle (QCC)*.
- Azmi, L., Ari Saputra, D., & Jenita Marbun, N. (2022). Penentuan Tingkat Kritikal Pompa Reciprocating pada Plant Fatty Acid Menggunakan Metode RCM di PT Kuala Lumpur Kepong Dumai. *Jurnal Aplikasi Rancangan Teknik Industri*.
- Basuki Nanda, & Valentino Roni. (2023). Cake Breaker Conveyor Machine Maintenance System Analysis Using the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Method. *Jurnal Riset Ilmu Teknik*, 1(3), 151–162. <https://doi.org/10.59976/jurit.v1i3.34>
- Birahi, M., Wattimena, A. Z., Lewaherilla, N., & Latupeirissa, S. J. (2022). ANALISIS PENGARUH MODEL PEMBELAJARAN CONTEXTUAL TEACHING AND LEARNING (CTL) TERHADAP HASIL BELAJAR SISWA DENGAN MENGGUNAKAN UJI MANN WHITNEY DAN WALD WOLFOWITS. *PARAMETER: Jurnal Matematika, Statistika Dan Terapannya*, 1(1), 59–68. <https://doi.org/10.30598/parameterv1i1pp59-68>
- Bourne, L. E., Kole, J. A., & Healy, A. F. (2014). Expertise: Defined, described, explained. *Frontiers in Psychology*, 5(MAR). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00186>

- Dewi, E. S., & Prasanti, N. (2022). *Analisis Kerusakan Mesin Pada Stasiun Pemurnian Yang Mempengaruhi Kadar Air Dari Kualitas Cpo Menggunakan Metode FMEA Di PT. Ujong Neubok Dalam*. 19(2), 270–276.
- Diocta, A., & Bangun, T. (2024). *Penerapan Preventive Maintenance pada Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Reliability Centered Maintenance (RCM)*. <https://doi.org/10.32734/ee.v7i1.2269>
- Dzuliyadain, H., Budiasih, E., & Dwi Atmaji, F. T. (2021). Proposed maintenance policy using reliability centered maintenance (RCM) method with FMECA analysis: A case study of automotive industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1034(1), 012111. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1034/1/012111>
- Edy Soesanto, Aly Rasyid, & Bobby Devagan. (2024). Peningkatan Peluang Bisnis Strategi Industri Migas Terhadap Pengaruh Pandemi Covid-19 Di Indonesia. *Jurnal Bhara Petro Energi*, 29–33. <https://doi.org/10.31599/thvm7v32>
- Fani, K., & Nuriyanto, Y. (2024). *Analisis Pengendalian Kualitas Batako di CV. Berkah Pandaan dengan Menggunakan Metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)*. 5, 5008.
- Fikri, N. A., & Widjajati, E. P. (2020). PENENTUAN INTERVAL PERAWATAN MESIN AIR SEPARATION PLANT SECARA PREVENTIVE DOWNTIME MAINTENANCE DENGAN MENGGUNAKAN METODE AGE REPLACEMENTPADA PT. XYZ. *Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi*, 1, 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.33005/juminten.v1i3.114>
- Gapura Bhagya, T., & Prakarsa, G. (2020). MODEL KEPUTUSAN PENENTUAN JENIS DISTRIBUSI DARI KERUSAKAN BEARING PADA MESIN TFO DI PT XYZ. *Jurnal Sistem Informasi Dan Informatika*, 2.
- Gilbert Wohon, K., Anestesia Purba, A., & Fitria Endrawati, B. (2023). Penjadwalan Perawatan Sparepart Mesin dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance dan Failure Mode Effect Analysis di PT ABC. *Jurnal Teknik Industri*, 13(3), 1–6. <https://doi.org/https://doi.org/10.25105/jti.v13i3.19139>
- Hakim, L., Sunaryo, Japri, & Yuhelson. (2021). Implementasi RCM pada mesin diesel Deutz 20 kVA. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, 10(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.24127/TRB.V10I1.1451>
- Haming, P., Arminas, A., Fajri, N., & Efendi, D. (2023). THE MAINTENANCE INTERVAL OF PREBREAKER CRITICAL COMPONENTS USING RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE IN PT XYZ. *Journal of Industrial Engineering Management*, 8(1), 50–54. <https://doi.org/10.33536/jiem.v8i1.1268>
- Hardiyanti, A., Sodikin, I., & Khasanah, R. (2022). USULAN PERSEDIAAN SPARE PART MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED SPARES DAN INVENTORY ANALYSIS DI CV. SELOREJO BANTUL. *Jurnal REKAVASI*, 10(2), 47–55. <https://doi.org/https://doi.org/10.34151/REKAVASI.V10I2.4246>

- Hidayat, Jufriyanto, M., & Rizqi, A. W. (2021). *Perancangan RCM (Reliability Centered Maintenance) Untuk Mengurangi Downtime Mesin Pembuat Botol (Studi Kasus PT IGLAS (Persero), Gresik)*. <https://doi.org/10.350587/Matrik>
- Ilahy Rosihan, R., Adi Sastra, F., Delano Regent Montororing, Y., & Widyantoro, M. (2022). Analisa Perawatan Mesin Inffassion dengan Metode Reliability Centered Maintenance. *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 8(2), 225. <https://doi.org/https://doi.org/10.35308/jmkn.v8i2.6245>
- Indra Nuryanneti, Suwendy Paku Sadewo, & Erwin. (2023). Analisis Waktu Maintenance Terhadap Efektivitas Kerja Wheel Loader WA-200 Pabrik Briket Tanjung Enim. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Sains*, 1(1), 29–33. <https://doi.org/10.62278/jits.v1i1.6>
- Mardiyah, R., Somayasa, W., Budiman, H., Kabil Djafar, M., & Rahmalia, S. (2022). UJI GOODNESS OF FIT DISTRIBUSI GAMMA TERBOBOTI DENGAN STATISTIK KOLMOGOROV-SMIRNOV UNTUK PARAMETER TERESTIMASI. *Jurnal Matematika Komputasi dan Statistika*, 2(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.33772/jmks.v2i2.13>
- Mohammad Faisal Nurfaizi, M. F. N., & Widya Setiafindari. (2024). Upaya Perbaikan Kualitas Produk Dengan Metode Six Sigma dan FMEA di PT Yogya Presisi Tehnikatama Industri. *JURNAL ILMIAH TEKNIK INDUSTRI DAN INOVASI*, 2(4), 1–16. <https://doi.org/10.59024/jisi.v2i4.803>
- Muhaemin, G., & Nugraha, A. E. (2022). Penerapan Total Productive Maintenance (TPM) Pada Perawatan Mesin Cutter di PT. XYZ. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(9), 205–219. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6645451>
- Nico Pranata Mulya. (2023). Machine Maintenance Scheduling Design Using Reability Centered Maintenance (RCM) method and Maintenance Value Stream Mapping (MVSM) at XYZ. *International Journal of Economics (IJE)*, 2(1), 87–101. <https://doi.org/10.55299/ijec.v2i1.430>
- Nowlan, F. S., & Heap, H. F. (1978). *Reliability-Centered Maintenance*. Dolby Access Press.
- Oktaviani, R., & Singgih, M. (2024). Analisis Perawatan Grinding Ball Guna Meminimalisasi Kerugian Akibat Recycle Produksi Semen. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(9), 558–566. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11180903>
- Padhil, A., & Mail, A. (2022). Planning of Preventive Maintenance Time Interval on Rubber Tyred Gantry Unit Using Reliability Centered Maintenance (RCM) II. *Industrial Engineering*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/10.11648/j.ie.20220601.11>
- Prabowo, B. (2021). PERAWATAN MESIN SUCKER MULLER DI PT. DLH. In *Indonesian Journal of Mechanical Engineering* (Vol. 1). <https://doi.org/https://doi.org/10.58466/injection.v1i1.1348>

- Pradipta Haris, S. T., As'Adi, M., & Montreano, D. (2021). Machine Maintenance Planning in Manufacturing Company using RCM II Methods. *Journal of Physics: Conference Series*, 1899(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1899/1/012085>
- Purnomo, J., Affandi, N., Rahmatullah, A., Manajemen, J., & Bina Bangsa, U. (2021). ANALISIS PENERAPAN PERAWATAN MOTOR KONVEYOR MESIN XRAY DENGAN MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) PADA PT. TRISTAN ENGINEERING. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri Jurnal Taguchi*, 1(2), 134–270. <https://doi.org/10.46306/tgc.v1i2>
- Ramadani, A. R., Saifuddin, J. A., & Ernawati, D. (2022). Alternative Centrifugal Pump Maintenance Systems Using Reliability Centered Maintenance (RCM II) and Life Cycle Cost (LCC) Methods in PDAM Surya Sembada Surabaya. *Budapest International Research in Exact Sciences*, 4(4), 1–18. <https://doi.org/10.33258/birex.v4i4.7369>
- Ramadhan, I., & Widiasih, W. (2023). Analisis Penggantian dan Perawatan pada Papermachine Bagian Wire dan Dryer Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance dan Age replacement Pada PT. X. *Jurnal Tekstil (JUTE)*, 6(Vol. 6, No. 1, 2023), 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.59432/jute.v6i1.60>
- Rijal, M. I., Yhuto, A., Putra, W., & Raihan, R. A. (2022). ANALISIS PERAWATAN MESIN CHAIN SCRAPER CONVEYOR DI PT. CEMINDO GEMILANG BAYAH. 2022–2191.
- Samharil, F., Ismiyah, E., & Priyana, E. D. (2022). Perancangan Pemeliharaan Mesin Filter Press dengan metode FMECA dan Reliability Centered Maintenance (RCM) (Studi Kasus PT. XYZ). In *Jurnal Teknik Industri* (Vol. 8, Issue 2).
- Saputra, Y., Widyantoro, M., & Rosihan, R. I. (2024). Perencanaan Perawatan Mesin dengan Metode Reliability Centered Maintenance dan Age Replacement. *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 10(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.35308/jmkn.v10i2.10429>
- Setiawan, A., & Windyatri, H. (2024). PENERAPAN PREVENTIVE MAINTENANCE MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) UNTUK MEMINIMASI DOWNTIME MESIN CNC DI PT MTAT. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 12(2), p.
- Shesfi Nur Hidayah, & Endang Pudji Widjajati. (2023). Penentuan Interval Perawatan Mesin Wood Pallet Secara Preventif Dengan Metode Modularity Design Dan Age Repalcement Pada PT Yale Woodpallet Indonesia. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, 2(2), 93–107. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v2i2.1666>
- Siagian, I. I., Ginting, P. J., & Sembiring, A. C. (2024). Analisis Perawatan Mesin Kritis Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance di Manufaktur Kelapa Sawit. In *Junal Ilmiah Teknik Industri Prima* (Vol. 7, Issue 2).
- Silaen, R. A., & Ferida Yuamita. (2024a). Analysis of Weaving Department Shuttle Machine Maintenance Planning to Improve Machine Reliability Using RCM Method at PT

- Primissima. *JURNAL ILMIAH TEKNIK INDUSTRI DAN INOVASI*, 2(2), 13–25.
<https://doi.org/10.59024/jisi.v2i2.615>
- Silaen, R. A., & Ferida Yuamita. (2024b). Analysis of Weaving Department Shuttle Machine Maintenance Planning to Improve Machine Reliability Using RCM Method at PT Primissima. *JURNAL ILMIAH TEKNIK INDUSTRI DAN INOVASI*, 2(2), 13–25.
<https://doi.org/10.59024/jisi.v2i2.615>
- Sinaga, Z., & Ardan, M. (2021). Perencanaan Perawatan Mesin Welding Mig Pada Produksi Sub Frame Di PT. XYZ Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM). In *Jurnal Kajian Teknik Mesin* (Vol. 6, Issue 1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.52447/jktm.v6i1.4328>
- Sitinjak, F. R., & Silalahi, F. T. R. (2023). Analisis Strategi Pemeliharaan Preventive Maintenance Excavator Menggunakan Pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Analisis Sensitivitas. *Journal of Integrated System*, 6(2), 226–242.
<https://doi.org/10.28932/jis.v6i2.7633>
- Sodikin, I., Parwati, C. I., Fayzi, F., & Indrayana, M. (2024). *Penjadwalan Perawatan Mesin Dengan Metode Preventive Maintenance & Predictive Maintenance* (Vol. 7, Issue 1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.59432/jute.v7i1.88>
- Sukmawati, S., Rini, A. S., Canisius, P., & Saputra, A. (2024). ANALISIS PERAWATAN SISTEM COAL PULVERIZER MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) DI PLTU BANTEN 1 SURALAYA 8. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri Jurnal Taguchi*, 4(2), 415–428.
<https://doi.org/10.46306/tgc.v4i2>
- Tamba, I. A., Suryatman Margana, A., & Prasetyo, B. Y. (2023). Analisis Manajemen Perawatan Menggunakan Perhitungan Distribusi Weibull Dan Metode Fmea Pada Ac Package Di Gerbang PT. KCI Juanda. *Industrial Research Workshop and National Seminar*, 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.35313/irwns.v14i1.5392>
- Timothy Anugrah Sugiarto, & Endang Pudji W. (2023). Analisa Pemeliharaan Mesin Printer Dengan Reliability Centred Maintenance (RCM) II Dan Life Cycle Cost (LCC) Di CV. XYZ. *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika Dan Komunikasi*, 3(2), 144–158.
<https://doi.org/10.55606/juitik.v3i2.509>
- Wardana, A. J., & Abdulrahim, M. (2024). Strategi Meningkatkan Keandalan Mesin Reader untuk Memperpendek Antrian Pada Gate 7 Gerbang Waru Ramp. *Innovative : Journal of Social Science Research*, 4, 1–20.
<https://doi.org/https://doi.org/10.31004/innovative.v4i3.11079>
- Wibowo, T. J., Syarif Hidayatullah, T., Nalhadi, A., & Teknik, F. (2021). Analisa Perawatan pada Mesin Bubut dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM). *Jurnal Rekayasa Industri (JRI)*, 3(2).
- Yonathan, T., Kusuma, T., Assagaf, M. K., Deny, F., & Amijaya, T. (2021). *Planning Activities and Maintenance Time Intervals of Induction Machines using The Reliability Centered*

Maintenance (RCM) II and Age Replacement Method Case Study: CV. Sumber Baja Perkasa. <https://doi.org/https://doi.org/10.2991/aer.k.211222.030>

Yonathan Teja Kusuma, T., & Aldi Pratama, Y. (2020). JOINTING MACHINE MAINTENANCE ANALYSIS USING RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) METHOD. *JIEHIS*, 1(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.14421/jiehis.2224>

Yusuf, Y., Djamal, N., & Cahyadi, D. (2024). Forming machine maintenance planning using the reliability centered maintenance (RCM) method at PT. KHI Pipe Industries. *TEKNIKA : Jurnal Sains Dan Teknologi*, 20, 105–110. <https://doi.org/10.62870/tjst.v20i1.24215>

LAMPIRAN

Test de Kolmogorov-Smirnov								
Nivel de significación α								
n	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
1	0.90000	0.95000	0.97500	0.99000	0.99500	0.99750	0.99900	0.99950
2	0.68337	0.77639	0.84189	0.90000	0.92929	0.95000	0.96838	0.97764
3	0.56481	0.63604	0.70760	0.78456	0.82900	0.86428	0.90000	0.92065
4	0.49265	0.56522	0.62394	0.68887	0.73424	0.77639	0.82217	0.85047
5	0.44698	0.50945	0.56328	0.62718	0.66853	0.70543	0.75000	0.78137
6	0.41037	0.46799	0.51926	0.57741	0.61661	0.65287	0.69571	0.72479
7	0.38148	0.43607	0.48342	0.53844	0.57581	0.60975	0.65071	0.67930
8	0.35831	0.40962	0.45427	0.50654	0.54179	0.57429	0.61368	0.64098
9	0.33910	0.38746	0.43001	0.47960	0.51332	0.54443	0.58210	0.60846
10	0.32260	0.36866	0.40925	0.45562	0.48893	0.51872	0.55500	0.58042
11	0.30829	0.35242	0.39122	0.43670	0.46770	0.49539	0.53135	0.55588
12	0.29577	0.33815	0.37543	0.41918	0.44905	0.47672	0.51047	0.53422
13	0.28470	0.32549	0.36143	0.40362	0.43247	0.45921	0.49189	0.51490
14	0.27481	0.31417	0.34890	0.38970	0.41762	0.44352	0.47520	0.49753
15	0.26589	0.30397	0.33750	0.37713	0.40420	0.42934	0.45611	0.48182
16	0.25778	0.29472	0.32733	0.36571	0.39201	0.41644	0.44637	0.46750
17	0.25039	0.28627	0.31796	0.35528	0.38086	0.40464	0.43380	0.45540
18	0.24360	0.27851	0.30936	0.34569	0.37062	0.39380	0.42224	0.44234
19	0.23735	0.27136	0.30143	0.33685	0.36117	0.38379	0.41156	0.43119
20	0.23156	0.26473	0.29408	0.32866	0.35241	0.37451	0.40165	0.42085
21	0.22517	0.25858	0.28724	0.32104	0.34426	0.36588	0.39243	0.41122
22	0.22115	0.25283	0.28087	0.31394	0.33666	0.35782	0.38382	0.40223
23	0.21646	0.24746	0.27491	0.30728	0.32954	0.35027	0.37575	0.39380
24	0.21205	0.24242	0.26931	0.30104	0.32286	0.34318	0.36787	0.38588
25	0.20790	0.23768	0.26404	0.29518	0.31657	0.33651	0.36104	0.37743
26	0.20399	0.23320	0.25908	0.28962	0.30963	0.33022	0.35431	0.37139
27	0.20030	0.22898	0.25438	0.28438	0.30502	0.32425	0.34794	0.36473
28	0.19680	0.22497	0.24993	0.27942	0.29971	0.31862	0.34190	0.35842
29	0.19348	0.22117	0.24571	0.27471	0.29466	0.31327	0.33617	0.35242
30	0.19032	0.21756	0.24170	0.27023	0.28986	0.30818	0.33072	0.34672
31	0.18732	0.21412	0.23788	0.26596	0.28529	0.30333	0.32553	0.34129
32	0.18445	0.21085	0.23424	0.26189	0.28094	0.29870	0.32058	0.33611
33	0.18171	0.20771	0.23076	0.25801	0.27577	0.29428	0.31584	0.33115
34	0.17909	0.21472	0.22743	0.25429	0.27271	0.29005	0.31131	0.32641
35	0.17659	0.20185	0.22425	0.25073	0.26897	0.28600	0.30597	0.32187
36	0.17418	0.19910	0.22119	0.24732	0.26532	0.28211	0.30281	0.31751
37	0.17188	0.19646	0.21826	0.24404	0.26180	0.27838	0.29882	0.31333
38	0.16966	0.19392	0.21544	0.24089	0.25843	0.27483	0.29498	0.30931
39	0.16753	0.19148	0.21273	0.23785	0.25518	0.27135	0.29125	0.30544
40	0.16547	0.18913	0.21012	0.23494	0.25205	0.26803	0.28772	0.30171
41	0.16349	0.18687	0.20760	0.23213	0.24904	0.26482	0.28429	0.29811
42	0.16158	0.18468	0.20517	0.22941	0.24613	0.26173	0.28097	0.29465
43	0.15974	0.18257	0.20283	0.22679	0.24332	0.25875	0.27778	0.29130
44	0.15795	0.18051	0.20056	0.22426	0.24060	0.25587	0.27468	0.28806
45	0.15623	0.17856	0.19837	0.22181	0.23798	0.25308	0.27169	0.28493
46	0.15457	0.17665	0.19625	0.21944	0.23544	0.25038	0.26880	0.28190
47	0.15295	0.17481	0.19420	0.21715	0.23298	0.24776	0.26600	0.27896
48	0.15139	0.17301	0.19221	0.21493	0.23059	0.24523	0.26328	0.27611
49	0.14987	0.17128	0.19028	0.21281	0.22832	0.24281	0.26069	0.27339
50	0.14840	0.16959	0.18841	0.21068	0.22604	0.24039	0.25809	0.27067
n>50	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.52}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.73}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.85}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.95}{\sqrt{n}}$